

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**COMPORTAMENTO DE PRATELEIRA DE LUZ EM  
MODELO FÍSICO SOB CÉU REAL NA CIDADE DE  
CAMPINAS, SP**

**CAMILA ALDRIGUETTI ROSIM**

**Campinas, SP  
2008**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**Camila Aldrigueti Rosim**

**COMPORTAMENTO DE PRATELEIRA DE LUZ EM  
MODELO FÍSICO SOB CÉU REAL NA CIDADE DE  
CAMPINAS, SP**

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em Arquitetura e Construção.

**Orientador: Prof. Dr. Maurício Roriz  
Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Scarazzato**

**Campinas, SP  
2008**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

R73c Rosim, Camila Aldrigueti  
Comportamento de prateleira de luz em modelo físico  
sob céu real na cidade de Campinas, SP / Camila  
Aldrigueti Rosim. --Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientadores: Maurício Roriz, Paulo Sérgio  
Scarazzato.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura.

1. Iluminação Natural. I. Roriz, Maurício. II.  
Scarazzato, Paulo Sérgio. III. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura.  
IV. Título.

Titulo em Inglês: Behavior of light shelf in physical model under real sky in the  
city of Campinas, SP

Palavras-chave em Inglês: Natural illumination, Light Shelf

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Anésia Barros Frota, Rosana Maria Caram

Data da defesa: 22/10/2008

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

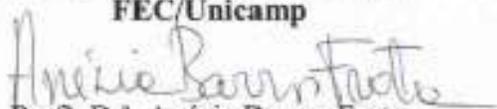
**COMPORTAMENTO DE PRATELEIRA DE LUZ EM MODELO  
FÍSICO SOB CÉU REAL NA CIDADE DE CAMPINAS, SP**

**CAMILA ALDRIGUETTI ROSIM**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

  
Prof. Dr. Mauricio Roriz  
**Presidente e Orientador/FEC/Unicamp**

  
Profa. Dr. Rosana Maria Caram  
**FEC/Unicamp**

  
Prof. Dr. Anésia Barros Frota  
**FAU-USP**

Campinas, 22 de outubro de 2008

*Aos meus pais, Jarbas e Sonia e às minhas  
irmãs, Carolina e Carina.*

## **AGRADECIMENTOS**

Principalmente aos meus pais, Jarbas e Sonia, às minhas irmãs, Carolina e Carina e à minha avó Maria, por terem sempre me compreendido, me incentivado e me apoiado em todas as decisões, além de estarem sempre ao meu lado, em todos os momentos.

Ao Professor Maurício Roriz, por sua orientação em todos os passos do Curso e no desenvolvimento deste Trabalho.

Ao Professor Paulo Sérgio Scarazzato, pela sua disponibilidade e participação no desenvolvimento desta Dissertação.

Aos técnicos do Laboratório de Conforto Ambiental, do Departamento de Engenharia Civil, Obadias Pereira da Silva Junior e Daniel Celente, pelo fornecimento de equipamentos, materiais e espaço físico, além do constante apoio, essencial para elaboração deste Trabalho.

## RESUMO

ROSIM, Camila Aldriguetti. **Comportamento da prateleira de luz em modelo físico sob céu real na cidade de Campinas, SP**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2008. Dissertação.

A utilização de iluminação natural, por meio de aberturas laterais é quase inevitável nas edificações. No entanto, da forma convencional como vêm sendo projetadas e construídas, estas aberturas podem apresentar desempenho bastante insatisfatório, particularmente em relação à má distribuição das iluminâncias internas e aos significativos níveis de ganhos térmicos. Esta Dissertação de Mestrado apresenta uma pesquisa que, através da análise de dados medidos em modelo físico, montado na cidade Campinas, Estado de São Paulo, objetivou identificar os parâmetros principais que interferem no comportamento de prateleiras de luz. Essas são elementos que redirecionam a luz solar para o interior dos ambientes, especialmente para as regiões mais distantes das janelas, muitas vezes insuficientemente iluminadas e que, ao mesmo tempo, atenuam o excesso de radiação nas regiões mais próximas das fachadas, reduzindo, assim, os contrastes entre áreas mais claras e mais escuras. O experimento foi realizado com monitoramento simultâneo de iluminâncias externas e internas ao modelo em escala, sob as condições reais do céu local. Foram estudados seis sistemas de prateleiras: branca horizontal, branca com quatro diferentes inclinações e espelhada horizontal. Foram elaboradas comparações entre os desempenhos apresentados por estas seis tipologias, bem como entre seus resultados e aqueles observados em sistemas tradicionais de aberturas laterais, sem qualquer elemento de redirecionamento da luz. Adicionalmente, os valores medidos foram também comparados com outros dados experimentais, disponíveis no software DLN - Disponibilidade de Luz Natural.

**Palavras Chave:** Iluminação Natural; Redirecionamento da luz natural; Prateleira de Luz.

## **ABSTRACT**

ROSIM, Camila Aldriguetti. **Comportamento da prateleira de luz em modelo físico sob céu real na cidade de Campinas, SP.** Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2008. Dissertação.

The use of day lighting through lateral openings is almost inevitable in the constructions. However, in the conventional form as they come being projected and constructed, these openings present sufficiently unsatisfactory performance, particularly in relation to bad distribution of the internal luminance and to the significant levels of thermal profits. This work of graduate presents a research that, through the analysis of measured data in physical model mounted in the Campinas city, state of São Paulo, it objectified to identify the main parameters that intervene with the behavior of light shelves. These are elements that redirect the solar light for the interior of environments, especially for the regions most distant of the windows, many times insufficiently illuminated and that, in the same time, attenuate the excess of radiation in the regions next to the feats, thus reducing the contrasts between clearer and darker areas. The experiment was carried through with simultaneous watching of external and internal luminance to the model in scale, under the real conditions of the local sky. Six systems of shelves, horizontal white, white with four different inclinations and horizontal mirror surface had been studied. Had been elaborated comparisons between the performances presented for these six typologies, as well as between its results and the observed ones in traditional systems of lateral openings, without any element of redirectioning of the light. Additionally, the measured values also had been compared with other experimental data, available in software “DLN” - Availability of Natural Light.

**Words Key: Natural illumination; Redirection of the natural light; Light Shelf.**

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> - Gráfico com a relação do número de trabalhos aceitos nos ENCACs.....	03
<b>FIGURA 2</b> - Porcentagem de trabalhos direcionados ao tema Iluminação Natural aceitos nos ENCACs.....	04
<b>FIGURA 3</b> - Oferta interna de energia por fonte.....	18
<b>FIGURA 4</b> - Prateleira de Luz inclinada.....	20
<b>FIGURA 5</b> - Variação do gradiente de luz com a PL.....	20
<b>FIGURA 6</b> - Esquema desenvolvido por Greg Molero.....	23
<b>FIGURA 7</b> - Esquema Dutos de Luz horizontais.....	24
<b>FIGURA 8</b> - Posicionamento de bracelete solar no hemisfério sul.....	26
<b>FIGURA 9</b> - Modelo físico sem função pré-definida.....	30
<b>FIGURA 10</b> - BABUC-M código BSA-010.....	31
<b>FIGURA 11</b> - (A, B) - Montagem das placas de Duratex no modelo físico.....	38
<b>FIGURA 11</b> - (C, D) - Fixação de canaletas em perfil L.....	39
<b>FIGURA 12</b> - (A, B,) - Pintura das superfícies internas do modelo físico.....	39
<b>FIGURA 12</b> - (C, D) - Pintura das superfícies internas do modelo físico.....	40
<b>FIGURA 13</b> - (A, B) - Pintura com Polisten – Stain Impregnante Transparente – Sayerlack.....	40
<b>FIGURA 14</b> - - (A, B) - Pintura com esmalte sintético branco – Glasurit (linha imobiliária).....	41
<b>FIGURA 15</b> - (A, B) - Construção da prateleira com material refletor.....	42
<b>FIGURA 16</b> - (A, B) - Prateleira branca.....	43
<b>FIGURA 17</b> - (A, B) - Prateleira branca inclinada.....	43
<b>FIGURA 17</b> - (C, D) - Prateleira branca inclinada.....	44
<b>FIGURA 18</b> - Local de instalação do modelo físico, fachada Norte.....	45
<b>FIGURA 19</b> - Software Declinação Magnética 2.0.....	46
<b>FIGURA 20</b> - Medição simultânea dos sensores do Luxímetro Minolta T-10 e BABUC-M.....	47
<b>FIGURA 21</b> - (A, B) - Calibração dos sensores 1º método.....	48

<b>FIGURA 21 - (C) -</b> Calibração dos sensores 1º método.....	49
<b>FIGURA 22 - (A, B) -</b> Elevação dos sensores, BABUC-M e Luxímetro até a fonte luminosa.....	50
<b>FIGURA 23 -</b> Posicionamento dos sensores.....	51
<b>FIGURA 24 - (A, B) -</b> Filtro Solar.....	52
<b>FIGURA 25 - (A, B) -</b> Calibração do sensor com filtro solar.....	53
<b>FIGURA 26 -</b> Proteção do aparelho registrador, posicionado no interior de uma caixa isolante.....	54
<b>FIGURA 27 -</b> No Break.....	55
<b>FIGURA 28 - (A, B, C e D) -</b> Circuito com bateria.....	56
<b>FIGURA 29 -</b> Sensor nº. 7 desconectado.....	57
<b>FIGURA 30 - (A e B) -</b> Sensor vertical faceando o protótipo na direção Norte.....	58
<b>FIGURA 31 - (A) -</b> Elevação dos sensores, BABUC-M e Luxímetro até a fonte luminosa.....	61
<b>FIGURA 31 - (B) -</b> Elevação dos sensores, BABUC-M e Luxímetro até a fonte luminosa.....	62
<b>FIGURA 32 -</b> Gráfico de Iluminância x Distância.....	63
<b>FIGURA 33 -</b> Posicionamento dos sensores.....	65
<b>FIGURA 34 - (A, B) -</b> Filtro Solar.....	66
<b>FIGURA 35 - (A, B) -</b> Calibração do sensor com filtro solar.....	66
<b>FIGURA 36 -</b> Gráfico de Iluminância x Distância.....	67
<b>FIGURA 37 -</b> Gráfico de Iluminância x Distância.....	69
<b>FIGURA 38 -</b> Proteção do aparelho registrador, posicionado no interior de uma caixa isolante.....	72
<b>FIGURA 39 -</b> No Break.....	74
<b>FIGURA 40 - (A, B, C e D) -</b> Circuito com bateria.....	75
<b>FIGURA 41 -</b> Sensor nº7 desconectado.....	76
<b>FIGURA 42 - (A e B):</b> Sensor vertical faceando o protótipo na direção Norte.....	77

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> - Fator de Luz Diurna em edifícios: níveis gerais ou mínimos recomendados.....	13
<b>TABELA 2</b> - Consumo Final energético por fonte.....	18
<b>TABELA 3</b> - Valores obtidos no sensor nº. 1.....	50
<b>TABELA 4</b> - Valores obtidos no sensor nº.2.....	51
<b>TABELA 5</b> - Valores obtidos no sensor nº.3.....	52
<b>TABELA 6</b> - Valores obtidos no sensor nº.4.....	53
<b>TABELA 7</b> - Valores obtidos no sensor nº.5.....	54
<b>TABELA 8</b> - Valores obtidos no sensor nº.6.....	55
<b>TABELA 9</b> - Valores obtidos no sensor nº.7.....	56
<b>TABELA 10</b> - Valores obtidos no sensor nº.8.....	57
<b>TABELA 11</b> - Valores obtidos no sensor nº.9.....	58
<b>TABELA 12</b> - Valores obtidos nos sensores de nº.1 a 9.....	62
<b>TABELA 13</b> - Valores obtidos nos sensores de 100 Klux.....	67
<b>TABELA 14</b> - Valores obtidos nos sensores de 100 Klux.....	68

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1	Objetivo.....	04
1.2	Justificativa.....	05
1.3	Organização do Texto.....	06
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>07</b>
2.1	Iluminação natural.....	07
2.1.1	Composição da luz natural.....	11
2.1.2	Quantificação da iluminação natural.....	11
2.1.2.1	Fator de Luz Diurna (FLD).....	11
2.1.3	Padrões de iluminação natural.....	13
2.1.4	Fontes de luz e de iluminação natural.....	14
2.1.5	Fatores que influenciam na quantidade de luz interior.....	14
2.1.5.1	Cor.....	14
2.1.5.2	Reflexão.....	15
2.1.6	Orientação de edifícios.....	15
2.1.7	Controle da luz solar.....	16
2.1.8	Iluminação natural em climas tropicais.....	16
2.2	Crise energética.....	17
2.3	Sistemas que utilizam a luz solar como fonte de iluminação natural..	19
2.3.1	Prateleiras de luz.....	20
2.3.2	Dutos de luz.....	22
2.3.3	Pesquisas com outros elementos de controle.....	25
2.3.3.1	Anel solar.....	25
2.3.3.2	Crise-soleil.....	26
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1	Primeira Parte.....	27
3.2	Segunda Parte.....	32
3.2.1	Programa DLN (Disponibilidade de luz natural) – Versão 2.06.....	33
3.2.1.1	Dados obtidos em janeiro de 2006.....	34

3.2.1.2	Dados obtidos em fevereiro de 2006.....	36
3.3	<b>Modelo físico / célula experimental.....</b>	<b>37</b>
3.4	<b>Prateleiras de luz.....</b>	<b>41</b>
3.5	<b>Localização dos modelos.....</b>	<b>44</b>
3.6	<b>Orientação geográfica.....</b>	<b>45</b>
3.7	<b>Medição dos níveis de iluminância.....</b>	<b>46</b>
3.8	<b>Calibração dos sensores.....</b>	<b>47</b>
3.8.1	<b>1º Método.....</b>	<b>47</b>
3.8.2.1	Fontes de erros.....	59
3.8.2	<b>2º Método.....</b>	<b>60</b>
3.8.1.2	Gráfico da curva de correção.....	62
3.9	<b>Descrição da rotina de observação.....</b>	<b>64</b>
3.10	<b>Posicionamento dos sensores.....</b>	<b>64</b>
3.11	<b>Filtro solar.....</b>	<b>65</b>
4	<b>PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>71</b>
4.1	Dificuldades encontradas.....	71
4.2	Análise dos dados experimentais.....	77
4.2.1	Introdução.....	77
4.2.2	Desempenho luminoso do sistema de abertura lateral com PL.....	78
4.2.3	Análise do desempenho dos sistemas que utilizam a luz natural como fonte luminosa.....	110
4.2.4	Entrada de luz através dos sistemas que utilizam a luz do sol como fonte de iluminação natural.....	132
4.2.5	Distribuição da luz no interior do ambiente.....	146
4.2.6	Comparação dos resultados experimentais com os valores disponíveis no software DLN.....	155
5	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>157</b>
5.1	Introdução.....	157
5.2	Citações do trabalho.....	158
5.3	Trabalhos futuros.....	159
5.4	Conclusão.....	159
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>161</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A invenção da lâmpada, no século XIX, revolucionou a vida das pessoas. Ela permitiu o desenvolvimento de sistemas que tornaram a utilização da luz prática e segura. Todavia, a disponibilidade de energia elétrica tem atravessado algumas crises nos últimos anos, como o caso do racionamento de energia ocorrido em 2001, que criou a necessidade de desenvolver formas sustentáveis de utilização de recursos naturais, para tentar reduzir esse problema. Um desses recursos é o aproveitamento da luz natural, uma vez que esta pode ser encontrada em grande quantidade, é gratuita e não causa danos à saúde das pessoas.

A luz natural, quando comparada com as lâmpadas elétricas, destaca-se por apresentar alto índice de reprodução de cores e elevada eficiência luminosa.

Pôde ser observado que, entre o ano de 1970 e 1996, houve um aumento maior que cinco vezes na produção de energia em nosso país, o que gerou reserva energética (Brasil, 2000). Porém, com o passar dos anos, os investimentos nesse setor foram se reduzindo.

No início da década de 80, com a criação do Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - começaram a aparecer as primeiras tentativas de uso mais adequado de energia. O programa incentivou a utilização de aparelhos eletrodomésticos mais eficientes (selo Procel) e lâmpadas que economizam até 75% de energia, quando comparadas com as de uso comum (Magalhães, 2002). Essa última

medida tem sido muito adotada, pois o sistema de iluminação de ambientes internos representa uma quantidade significativa da energia consumida nas edificações. Em função disso, promoveu-se um estudo que objetivou medir a eficiência luminosa de um sistema que utiliza a luz solar para a iluminação interna de ambientes.

As aberturas laterais são elementos que proporcionam ligação para luz, ar, calor, chuva, neve, poeira, pessoas, entre o ambiente externo e interno. Porém, esses componentes, tradicionalmente encontrados na arquitetura, apresentam níveis de iluminação que decrescem com o aumento da distância da janela, resultando em uma distribuição não uniforme da iluminação interna. Áreas próximas às aberturas apresentam alto nível de luminosidade, ocorrendo um decréscimo em direção ao interior. Essa variação de luz, quando o sistema é mal dimensionado, exige a utilização da luz artificial na maior parte do dia.

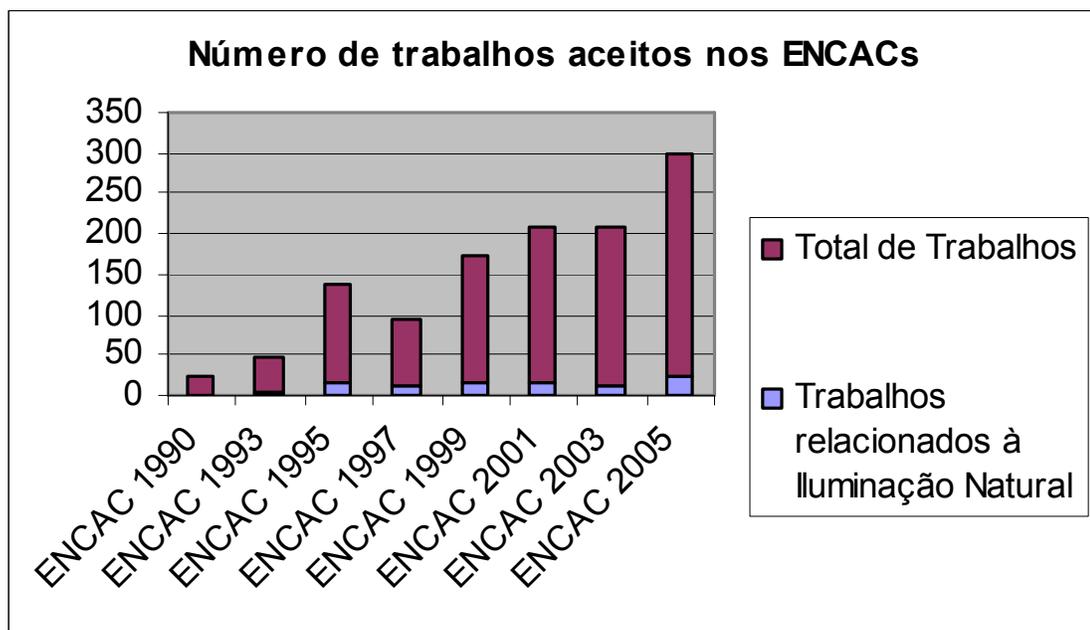
Pesquisando sobre o assunto e tentando produzir um ambiente interno mais confortável e produtivo e ainda, com a intenção de economizar energia elétrica nas edificações, propôs-se a Prateleira de Luz (PL), um mecanismo que permite a introdução da luz natural em ambientes profundos através de dispositivos de controle da luz direta do sol. Essa técnica de redirecionamento da luz solar começou a ser desenvolvida na década de 60, ganhando força na década seguinte com a crise energética mundial. (ROSENFELD; SELKOWITZ, 1977).

As PLs são refletores horizontais instalados nas janelas, capazes de aumentar a distribuição de luz no espaço interno reduzindo o ofuscamento. Essas prateleiras refletem a luz em superfícies internas, redirecionando-a para áreas mais profundas dos ambientes.

Na maioria dos edifícios, as superfícies internas refletoras utilizadas são o teto e as paredes, que devem apresentar refletâncias elevadas e pinturas de coloração clara, visando à máxima distribuição de luz no ambiente.

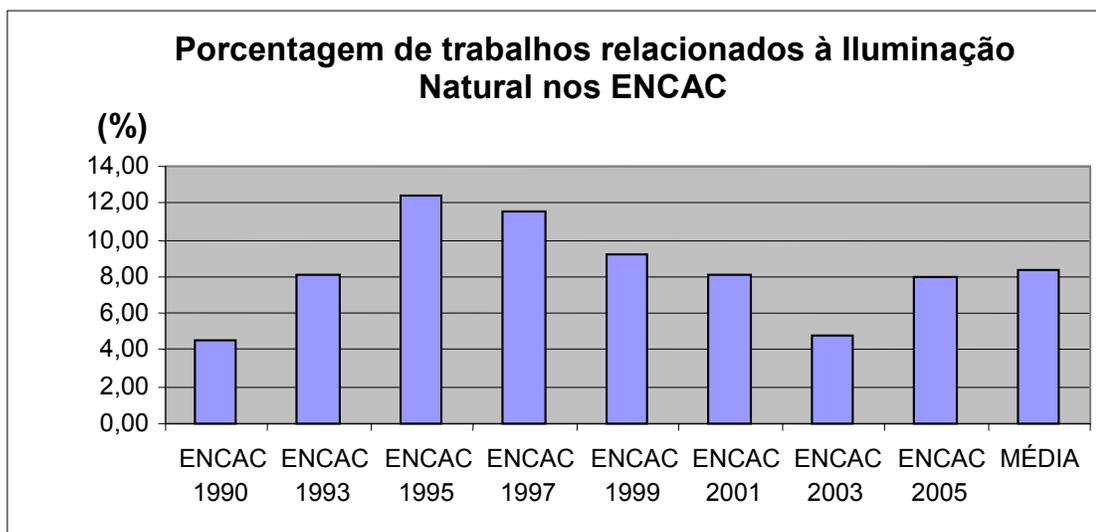
Por meio de uma pesquisa de caráter experimental, realizada sob condições de céu real, no município de Campinas/SP, pretendeu-se verificar a contribuição dos dispositivos de redirecionamento da luz natural na elevação da razão entre iluminâncias horizontais, interna e externa (FLD\*), em um ambiente, para uma determinada latitude ou condição climática.

O ramo de pesquisa, que verifica o ganho luminoso de técnicas que utilizam a luz solar direta, apresenta-se em número reduzido, como pôde ser verificado nos ENCACs - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – (figura 1). A média de trabalhos direcionados à utilização da luz natural encontra-se em 8,35% do total de trabalhos (figura 2). Essa estatística deveria ser ampliada, já que o Brasil apresenta condições imensamente favoráveis ao uso da iluminação natural.



**Figura 1** - Gráfico com a relação do número de trabalhos aceitos nos ENCACs.

**Fonte:** Anais do ENCAC 2005.



**Figura 2** - Porcentagem de trabalhos direcionados ao tema Iluminação Natural aceitos nos ENCACs.

**Fonte:** Anais do ENCAC 2005.

## 1.1 Objetivo

Qual a contribuição da PL na elevação da razão entre a iluminância horizontal interna e a iluminância simultaneamente disponível sobre o plano horizontal externo (FLD\*), sob condições de céu real, em ambientes profundos? A PL foi proposta, visando verificar a contribuição do sistema para elevação da razão entre as iluminâncias horizontais, interna e externa, em um ambiente, de forma geométrica simples, sem função pré-definida.

Essa contribuição foi obtida a partir de comparações entre os valores encontrados nas medições de iluminância, em uma célula com diferentes variações do ângulo de inclinação das prateleiras, assim como do material utilizado na PL, e os valores obtidos nessa mesma célula, com sistema de iluminação natural tradicional, apenas com abertura lateral.

Essas prateleiras bloqueiam parte considerável da insolação, redirecionando o fluxo luminoso para o teto, que redistribui a luz para as áreas mais profundas e

distantes da janela, de maneira uniforme, reduzindo o grau de contraste entre áreas mais ou menos claras.

Com os resultados dessa pesquisa, foi possível avaliar, através das PLs, propostas do aproveitamento da luz do céu, como fonte de iluminação por meio de um dispositivo inovador de reflexão da luz solar, sob condições de céu real.

O conceito desenvolvido para obtenção e compreensão dos resultados nesta pesquisa manifesta relação com o conceito de Fator de Luz Diurna (FLD). O FLD é a razão entre a iluminância horizontal interna e a iluminância simultânea, sobre o plano horizontal externo, iluminado pelo total desobstruído da abóbada celeste.

A diferença entre o FLD e a variável que será analisada na pesquisa FLD\* encontra-se relacionada à consideração ou exclusão da luz solar direta nos valores de iluminância externa.

Além disso, para verificar a qualidade dos resultados experimentais, os valores obtidos nas medições foram comparados com os disponíveis no software DLN – Disponibilidade de Luz Natural - Versão 2.06.

## **1.2 Justificativa**

Foi estudado o redirecionamento da luz natural para ambientes internos através de PL, para que essa técnica seja desenvolvida e se torne acessível para a comunidade, diminuindo, assim, a utilização dos sistemas de iluminação artificial em construções.

Essa iluminação natural, se utilizada adequadamente, oferece maior conforto visual aos seus usuários, além de boa iluminação e maior fidelidade das cores.

Outra justificativa do projeto proposto foi que, como a pesquisa foi realizada em condições de céu real, os estudos não podem ser generalizados, adequando-se os resultados às características da cidade de Campinas, com conseqüente elevação do conhecimento sobre céu brasileiro, que é pouco explorado. Além disso, por melhor que seja o céu artificial, este agrega algumas incertezas aos resultados encontrados.

Somado a isso, o estudo proposto conduziu ao conhecimento aprofundado de técnicas que fornecerão alternativas mais eficientes e econômicas nos sistemas de iluminação dos edifícios. Segundo Silva (2005), a utilização da iluminação natural objetiva uma forma de energia mais sustentável, que contribui para uma economia de energia elétrica, trazendo benefícios irreplicáveis à sociedade.

### **1.3 Organização do texto**

No Trabalho foi adotada a seguinte composição de capítulos: no Capítulo 1 encontra-se a Introdução, na qual são apresentadas hipóteses sobre o estudo das PLs, a formulação da questão a ser respondida no decorrer do projeto e a justificativa para escolha do projeto proposto; o Capítulo 2 é composto pela revisão bibliográfica que deu sustentação teórica à pesquisa sobre PL; o Capítulo 3 apresenta o desenvolvimento da pesquisa de caráter experimental, contendo os materiais e métodos utilizados; no Capítulo 4, encontra-se a parte experimental da pesquisa e o Capítulo 5 apresenta as Conclusões deste Trabalho.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Desenvolve-se, nesse Capítulo, uma revisão da literatura sobre o tema “Iluminação Natural”, destacando sua importância, alguns sistemas da sua utilização e estudos desenvolvidos nessa área.

### **2.1 Iluminação Natural**

Tentando aumentar a sustentabilidade dos centros urbanos, engenheiros e arquitetos têm o dever de produzir espaços onde haja uma harmonia entre suas necessidades de utilização e o meio ambiente. Para que ocorra essa perfeita harmonia, faz-se necessário um estudo das variáveis climáticas que caracterizam cada região.

“O generalizado desconhecimento das condições climáticas por parte dos projetistas e o baixo prestígio das soluções de condicionamento natural ficam evidenciados pelos grandes e freqüentes erros de projetos encontrados” (BRASIL, 1984).

Muitas tarefas não podem ser realizadas confortavelmente ao ar livre ou sob a luz total do sol e do céu, havendo a existência de um nível cômodo de iluminação, relacionado com a natureza da tarefa visual.

No caso da iluminação de ambientes internos, quando realizada de forma adequada, poderá auxiliar no desenvolvimento de tarefas e no bem-estar das pessoas, tornando as informações mais claras.

Cada ambiente possui necessidade distinta de iluminação, variando de acordo com as atividades que serão desenvolvidas no local. Essa iluminância é um compromisso entre o aumento do desempenho nas tarefas e a redução dos custos com luz elétrica. O Objetivo dos padrões de iluminação é garantir a segurança das pessoas num edifício, em termos visuais, e lhes possibilitar viver e trabalhar eficientemente.

Para adquirir esses valores, foram realizadas análises com um número significativo de diferentes tarefas visuais e foram estabelecidas tabelas de iluminação recomendada, obtendo-se o nível de iluminação mais indicado para um trabalho específico. Estes níveis são oriundos do conceito de eficiência visual.

Porém, segundo LAM (1986), os dados disponíveis em normas que estabelecem graus de iluminação para diferentes ambientes são errôneos, pois estabelecem grande importância para atividades desenvolvidas com pouca frequência dos indivíduos ao local de trabalho.

Esse mesmo autor cita, ainda, os conflitos causados pela variação de quantidade e qualidade luminosa necessárias ao desenvolvimento de diferentes tarefas, em um mesmo ambiente. Essa diferença resulta em aproximações responsáveis pela maioria dos maus aspectos dos ambientes construídos.

Quando se fala em conservação de energia, busca-se racionalizar a maneira de utilização da mesma, não desconsiderando o conforto e as vantagens que ela proporciona. Significa diminuir o consumo, com a conseqüente redução de custos, sem perder a eficiência energética e a qualidade dos serviços (PROCEL, 2005).

Considerando-se que a energia elétrica representa uma quantidade significativa da energia produzida no país, a utilização de luz solar para iluminação de espaços internos reduziria sensivelmente o consumo dessa energia, tendo-se em mente que a utilização da luz natural deve ser realizada adequadamente, para que não ocorra aumento de calor no ambiente.

Algumas alternativas de utilização de iluminação natural já são tradicionais e obrigatórias nas construções, como é o caso das aberturas laterais, que proporcionam

os intercâmbios luminoso, térmico e acústico, fluxo de ar e visão entre o ambiente interno e externo.

Segundo Hopkinson (1980), a principal função dessas aberturas é proporcionar a vista externa e permitir a penetração da luz no interior de um ambiente. Ele defende que as pessoas têm preferência em desenvolver seus trabalhos em ambientes onde haja janelas, evitando os locais em que a ausência da luz do dia possa transmitir sensações de carência e mal-estar.

Porém, esses componentes básicos, janelas, apresentam zonas com iluminação extremamente diferentes. As aberturas permitem alto nível de luminosidade, com rápido decréscimo em direção ao interior. Assim, com grande entrada de luz localizada somente em uma zona, o ambiente passa a maior parte do dia iluminado artificialmente. As aberturas laterais proporcionam também grande ofuscamento e, conseqüentemente, desconforto aos usuários localizados nas áreas mais próximas à sua incidência.

Outro problema encontrado na abertura lateral deriva do seu tamanho. Grandes janelas aumentam a luz do dia e reduzem o consumo de luz artificial, resultando em extensas áreas de ofuscamento e calor excessivo, provocando o uso de ar condicionado. Com aberturas menores o calor diminui, mas aumenta o consumo de luz artificial. A área da janela deve ser limitada, evitando desconforto causado pelo excesso de ruído que atinge o ambiente.

Tentando solucionar essa questão Ghisi e Thinker (2001), desenvolveram uma metodologia para prever uma área ideal para janela de típicos escritórios, usando simulação computacional em sete cidades no Brasil e uma cidade do Reino Unido. Para realização da pesquisa, foram considerados os seguintes aspectos: foram empregadas cinco salas em diferentes escalas, sendo a parede com abertura considerada a única parede externa; cada sala possuía uma área de sombreamento; foram considerados apenas vidros incolores na simulação, não sendo utilizados protetores solares; cada modelo foi simulado nas quatro direções (Leste, Oeste, Norte e Sul); utilizou-se o programa VisualDOE versão 2.6; e realizou-se medição durante todo o ano, sob condições de clima local.

O resultado da pesquisa mencionada no parágrafo anterior, confirmou que as salas com pequenas proporções de fachada têm menor consumo de energia; salas grandes têm consumo de energia por área de piso; a proporção da área da fachada e o volume do espaço podem ser usados como índice para comparar consumo de energia em salas de diferentes tamanhos; a área da janela tende a ser grande nas orientações cujo consumo de energia é menor, devido à redução do alcance da radiação solar; as grandes salas de pequenas fachadas têm área de janela maior; e a área ideal de janela pode ser usada como guia para aumentar a eficiência energética em edificações.

A vista, através da janela, fornece informação sobre o tempo (clima), a hora do dia e significa uma pausa para os trabalhadores de ambientes fechados. A janela está associada a “status” e ao incremento da produção, com aumento também da motivação e do bem-estar, no ambiente de trabalho.

Segundo Leslie (2002), alguns métodos podem beneficiar o uso de luz natural, justificando a construção de edifícios com elevado custo inicial. Nesse caso, a luz do dia é utilizada como estratégia para reduzir custos de energia na construção e diminuir gastos com implantações de novas soluções para esse fim.

A luz solar direta nos locais de trabalho pode ser extremamente indesejável, sendo a repressão da melatonina (hormônio responsável pela regulação do relógio interno do corpo) influenciada pela exposição a níveis típicos de luz direta. Essa luz deve ser projetada de modo a evitar efeitos negativos às pessoas. Para isso são instalados protetores para combater o aquecimento solar, controlar e distribuir a luz e evitar o ofuscamento.

Segundo Hopkinson, um bom projeto de iluminação consiste na colocação da janela, de modo que a luz penetre onde ela é desejada e de maneira a proporcionar uma distribuição de luminância em todos os planos interiores. Ele ainda afirma que, ao se projetar uma janela desse tipo, deve-se considerar a ventilação, a proteção contra intempéries e o isolamento com relação ao ruído exterior.

### **2.1.1 Composição da luz natural**

De acordo com a NBR 15215 - 4 /2005 - Iluminação Natural (Parte 4: Verificação Experimental das Condições de Iluminação Interna de Edificações – Método de Medição), a luz natural que incide no ambiente construído é composta basicamente pela luz direta do sol e pela luz difundida na atmosfera (abóbada celeste). Com isso, o primeiro passo no desenvolvimento do projeto de sistemas de iluminação natural consiste no conhecimento da disponibilidade de luz proporcionada por essas fontes.

### **2.1.2 Quantificação da Iluminação Natural**

As primeiras tentativas de medição da luz do dia datam de 1895. A partir de seus resultados, criou-se o conceito de um Coeficiente de Luz Natural, também conhecido como Fator de Luz Diurna.

#### **2.1.2.1 Fator de Luz Diurna (FLD)**

Representa a razão entre a iluminação interior e a iluminação simultaneamente disponível no exterior, estimada em porcentagem, em condições de céu encoberto, desobstruído.

A principal vantagem do FLD é a constância. Embora a luz do dia, no exterior, possa aumentar ou diminuir, o FLD permanece constante, modificando a iluminação interior simultaneamente com a luz do dia exterior.

Conforme estabelece Hopkinson, existem diversas maneiras para obtenção do FLD. Uma delas vem do “quociente entre a iluminação natural num ponto de um plano devido à luz recebida, direta ou indiretamente, de um céu com uma distribuição de

luminâncias, suposta e conhecida, e a iluminação num plano horizontal devido a um hemisfério não obstruído do mesmo céu. A luz solar direta exclui-se de ambos os referidos valores de iluminação”.

Cálculos do FLD:

- **Por soma**

A luz natural total, que atinge um ponto interior tido como referência, é resultado da soma da luz do céu direta e da luz refletida exterior, no solo ou nos edifícios, servindo de fonte indireta de iluminação interior.

- **Cálculos de Iluminação Natural imediatos**

Por intermédio do Diagrama de Projeto estudado por Dresler e publicado pelo Australian Department of Labour and National Service (DLNS), no qual gráficos exprimem relação entre os níveis de iluminação natural com as dimensões das aberturas e do ambiente interior (HOPKINSON).

Outra alternativa disponível é o Calculador BRS. Trata-se de um instrumento que auxilia na obtenção de valores de iluminação natural total, para diferentes distâncias da janela. Este método apresenta resultados relacionados às refletâncias das superfícies do ambiente em estudo.

- **Cálculo imediato baseado nos métodos de transferência de fluxo**

Estes cálculos são baseados no método de Lúmens e obtidos a partir de fórmulas que estabelecem um FLD médio em um plano horizontal, como a Fórmula de Frühling e de Biesele – Aner – Conover.

A utilização do FLD, para quantificar a iluminação natural em um ambiente, pode acarretar diversos problemas, como o fato de a iluminação ser projetada com base em condições médias do céu, ou seja, sempre que essa iluminação for inferior, o nível de iluminação aconselhado não será atingido.

### 2.1.3 Padrões de Iluminação Natural

Os níveis de iluminação natural recomendados, na prática, encontram-se baseados em dois conceitos: visão e conforto.

Como estabelece Hopkinson, recomenda-se geralmente um nível de FLD variando entre 1% e 2% em todas as áreas onde é necessária uma visão razoavelmente crítica. Em algumas áreas, como quartos de dormir, corredores e zonas de circulação, o padrão de luz natural pode ser inferior, podendo um nível de 0,5% ser considerado satisfatório. Em casos em que sejam desenvolvidas atividades que exijam maior acuidade visual, recomenda-se um nível mínimo de 5%, conforme demonstrado na tabela a seguir.

**Tabela 1** - Fator de Luz Diurna em edifícios: níveis gerais ou mínimos recomendados.

Tipos de edifício	FLD recomendado não menor que (%)	Qualificações e recomendações
Habitacões Cozinhas	2	Em pelo menos 50% da área de pavimento (mínimo de 5,0m <sup>2</sup> )
Salas de estar	1	Em pelo menos 50% da área de pavimento (mínimo de 7,5m <sup>2</sup> )
Quartos	0,5	Em pelo menos 75% da área de pavimento (mínimo de 6,0m <sup>2</sup> )
Edifícios escolares	2	Em todas as áreas de ensino e nas cozinhas
Hospitais	1	Em toda a área de enfermarias
Escritórios	1	Com iluminação lateral a uma Distância das janelas de 3,50m
Salas de desenho	6	Nos planos de trabalho (pranchetas)
Datilografia e Cálculo	4	Em toda a área de trabalho
Laboratórios	3-6	Dependendo da predominância de iluminação lateral ou zenital
Fábricas	5	Recomendação genérica

Edifícios públicos	1	O padrão de 1% pode ser excedido em função do destino do edifício ou de partes do edifício, mas o nível mínimo de 1 é geralmente desejável na maior parte das situações encontradas em edifícios públicos.
--------------------	---	--

Fonte: Hopkinson, 1975.

## 2.1.4 Fontes de Luz e de iluminação Interior

O Sol e o Céu são considerados fontes de luz, uma vez que a luz do céu (luz do Sol difundida na atmosfera) é considerada uma fonte de luz primária (emissora de luz própria) na iluminação de ambientes interiores. Essa iluminação depende do tamanho e da disposição das aberturas, além de sofrer influência da luminância do céu.

## 2.1.5 Fatores que influenciam na quantidade de luz interior

### 2.1.5.1 Cor

A cor desperta reações emocionais nas pessoas, podendo receber classificações relacionadas a três atributos: tom, claridade e força.

Em grande parte dos cálculos e desenvolvimento de projetos de iluminação, não há necessidade do conhecimento das cores, podendo ser dada uma maior importância a elas, quando houver necessidade de uma fonte artificial simuladora de luz natural, como na calibração de equipamentos fotométricos que serão utilizados sob condições de luz natural.

### **2.1.5.2 Reflexão**

A iluminação interior, tanto em quantidade como em qualidade, é função não apenas do tamanho, formato e colocação das janelas, mas também das propriedades refletoras das superfícies interiores.

A luz, que penetra no interior de um ambiente, apresenta grau de reflexão dependente das propriedades refletoras das superfícies interiores: paredes, piso e teto. Em locais onde essas superfícies são escuras, pouca será a luz que atingirá qualquer ponto, com exceção das áreas onde é possível obter uma visão direta do céu.

Em contraposição, se as superfícies do ambiente forem claras, a luz direta do sol, após ter incidido nas superfícies interiores, será refletida em direção a outras superfícies e, assim, sucessivamente.

A reflexão, assim como a temperatura e a absorção das superfícies, são propriedades das cores. Um alto nível de reflexão melhora a iluminação do ambiente, entretanto pode causar desconforto (Ex. branco teórico 100% de refletância e preto teórico 0%).

### **2.1.6 Orientação de edifícios**

Para conseguir soluções, para diversos problemas da utilização da luz solar como fonte de iluminação (sombras de edifícios obstrutivos ou produzidas por dispositivos de proteção solar), são necessários conhecimentos da posição e movimentação do Sol, ao longo de todo ano, na localidade específica.

No Hemisfério Sul, Brasil, onde os céus são considerados mais brilhantes, os edifícios devem apresentar suas principais aberturas orientadas na direção Norte, para que ocorra um aproveitamento máximo da luz natural disponível.

Nesse caso, se as aberturas laterais, direcionadas para o Norte, não apresentarem dimensões reduzidas, há a necessidade de se planejar o meio de proteção.

### **2.1.7 Controle da luz solar**

A luz solar é bem-vinda quando desejada, mas é essencial dispor de controles apropriados de proteção para situações em que não é almejada, caso contrário, ela pode causar sensações de desconforto.

As pessoas não desejam a luz solar em toda parte, nem durante todo tempo. O Sol é muito apreciado no inverno pela maioria da população, porém no verão ele não possui tanta receptividade.

Por isso, o projeto de luz solar desenvolveu-se em duas tecnologias distintas, com a finalidade de controlar a sua admissão, visando satisfazer as exigências dos moradores e prever métodos de sua exclusão de locais em que ela não é desejada. A luz solar em excesso pode causar desconforto térmico, quer pelo aumento da temperatura no interior, quer pela radiação direta sobre as pessoas.

Porém, como documenta Lam (1986), as estruturas de controle da luz solar podem acarretar ruídos visuais, atraindo a atenção dos observadores e inibindo o sentimento de prazer causado pela visão exterior.

### **2.1.8 Iluminação natural em climas tropicais**

O Brasil possui um clima predominantemente tropical. Este pode ser dividido em dois tipos: muito quente e seco, em algumas regiões, e quente e úmido em outras. Este último, típico da região de Campinas, local de desenvolvimento desta pesquisa, é

caracterizado por um céu encoberto, acarretando uma boa iluminação natural interior, proporcionada por uma quantidade de luz adequada para as tarefas propostas.

## **2.2 Crise Energética**

A partir da década de 70, a Eletrobrás criou uma nova política energética, impulsionada por mudanças significativas no setor energético, em todo mundo, geradas como consequência dos choques mundiais devidos ao petróleo.

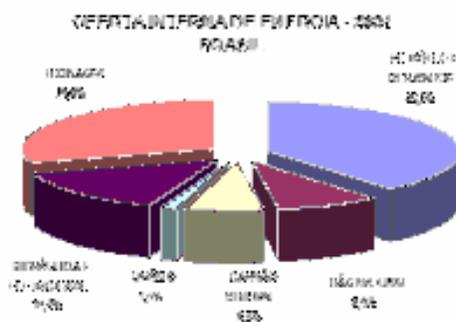
O primeiro choque, ocorrido em 1973, não afetou drasticamente a economia brasileira e o segundo choque, ocorrido em 1979, causou reflexos importantes na economia nacional, incluindo taxas declinantes no setor energético.

Segundo Gilberto De Martino Jannuzzi, professor da Unicamp, essa crise do petróleo determinou maiores esforços do Brasil, em termos da redução de dependência externa desse combustível, desviando interesse para o maior uso de hidrelétricas. Além disso, foram criados programas de substituição de combustíveis, como o Proálcool (Programa Nacional do Álcool).

No ano de 2001, o país sofreu uma crise no setor energético, derivada da falta de planejamento, de utilização e de distribuição da energia. A partir daquele ano, houve um crescimento em relação ao uso racional dos recursos energéticos, além de uma conscientização voltada para esse setor, passando a ocorrer, finalmente, uma economia de energia elétrica.

Nesse período, houve um aumento das campanhas de conservação de energia (apagão) e utilização de alguns elementos construtivos que proporcionassem maior desempenho energético nas edificações de uma maneira geral, como é o caso das cores, aberturas e disposições dos ambientes (MAGALHÃES, 2002).

Como fonte geradora de energia no país, encontra-se disponível carvão mineral, urânio, energia hidráulica, energia elétrica, biomassa, derivados do petróleo e um último, que vem ganhando espaço no cenário brasileiro atual, o gás natural, combustível menos poluente (figura 3).



**Figura 3** - Oferta interna de energia por fonte.

Fonte: BEN, 2005.

Apesar de todas essas fontes produtoras de energia e das campanhas de conscientização, o Brasil atinge, atualmente, um consumo de energia de 95% de sua capacidade de produção disponível, deixando o sistema energético em uma situação crítica. Como consequência da necessidade de uma maior economia de energia, houve incentivo ao uso de aparelhos mais eficientes (selo Procel) e lâmpadas mais econômicas.

Pode ser observado que 17% de toda energia produzida no país é consumida pela eletricidade (tabela 2), sendo os principais consumidores a iluminação artificial e o ar condicionado. Essa estatística serve para justificar a utilização da luz do dia para iluminação de espaços internos, pois seria uma medida que eliminaria parte significativa da carga elétrica, se utilizada adequadamente.

**Tabela 2** - Consumo Final energético por fonte.

CONSUMO FINAL ENERGÉTICO POR FONTE	UNIDADE: 10 <sup>3</sup> tep	UNIDADE: %
IDENTIFICAÇÃO	2004	2004
GÁS NATURAL	11448	6
CARVÃO MINERAL	3594	2
LENHA	15752	9

BAGAÇO DE CANA	20273	11
LIXÍVIA	3144	2
OUTRAS RECUPERAÇÕES	874	0
GÁS DE COQUERIA	1342	1
COQUE DE CARVÃO MINERAL	6817	4
ELETRICIDADE	30923	17
CARVÃO VEGETAL	6353	4
ÁLCOOL ETÍLICO	6445	4
OUTRAS SECUNDÁRIAS - ALCATRÃO	50	0
DERIVADOS DE PETRÓLEO	71140	40
<b>TOTAL</b>	<b>178152</b>	<b>100</b>

Fonte: BEN, 2005.

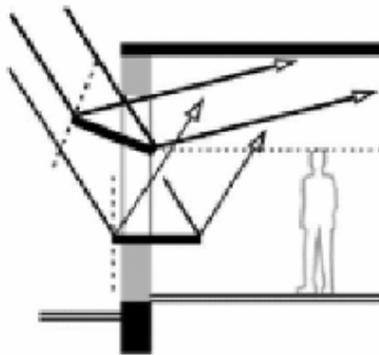
### 2.3 Sistemas que utilizam a luz solar como fonte de iluminação natural

Existem alguns sistemas, utilizados por arquitetos e engenheiros, que têm o intuito de aumentar o aproveitamento da luz natural e controlar o aquecimento. Esses sistemas podem ser a solução de diversos problemas relacionados ao uso da luz natural, como fonte de iluminação interna (Macedo, 2002). Dentre os principais, podem ser citados a distribuição uniforme da luz natural e o alcance da luz em espaços internos profundos.

Para utilização dos sistemas de redirecionamento da luz natural, deve-se entender o comportamento físico da luz, através da Lei da Reflexão Luminosa, descoberta no século I por Heron de Alexandria, que determina igualdade dos ângulos de incidência e reflexão de raio de luz.

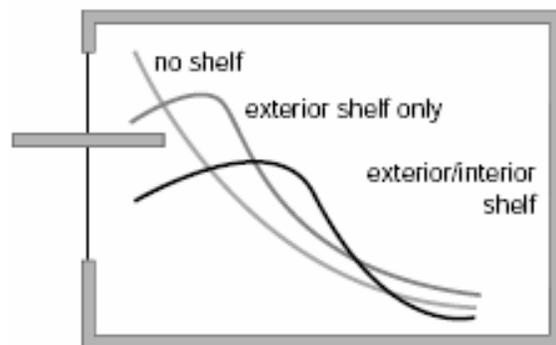
### 2.3.1. Prateleiras de Luz

As PLs são elementos redirecionadores da luz solar capazes de diminuir o ofuscamento e controlar o aquecimento. Trata-se de um projetor horizontal ou inclinado (figura 4), que divide a janela em duas partes: superior responsável pela iluminação e inferior responsável pela ventilação e integração visual do interior com o exterior. Esse projetor reflete a luz do sol em direção ao teto de cor clara, aumentando a zona de iluminação natural (figura 5).



**Figura 4** - Prateleira de Luz inclinada.

Fonte: O'Connor, J.



**Figura 5** - Variação do gradiente de luz com a PL

Fonte: O'Connor, J.

Estudos desenvolvidos por Macedo (2002) confirmaram que esses elementos de controle da radiação solar distribuem, com maior uniformidade, a iluminância interna e balanceiam a luz e o aquecimento no interior. Além disso, são capazes de lançar a luz do dia em locais onde não há acesso às janelas, explorando potenciais para economizar energia.

Algumas características do sistema de PL são consideradas parâmetros de projetos importantes, podendo apresentar modificações em seu desempenho luminoso, como é o caso da geometria e da refletividade das superfícies internas e a direção do ângulo de radiação solar incidente. Porém, quando balanceado adequadamente, esse

sistema deve reduzir a necessidade de consumo de energia elétrica e produzir um ambiente em harmonia com a natureza.

Conforme descrevem Yamamoto, Krüger e Dumke (2003), um projeto arquitetônico será considerado adequado quando levar em consideração os gastos energéticos envolvidos na fase de sua utilização. Tentando obter um aumento no aproveitamento da luz natural, esses propuseram a utilização de PL, quando serão realizadas medições com o auxílio de luxímetro digital em maquetes, e simulações em um helioscópio, em diversos períodos do dia e épocas do ano.

Nos últimos anos, algumas pesquisas direcionadas ao tema de PL foram desenvolvidas. O trabalho de Lee, Westphal e Lamberts (2001), por exemplo, analisou o desempenho de ambientes, por meio de simulações no programa computacional VisualDoe. Na pesquisa, as janelas possuem proteções solares integradas às PLs.

Segundo os pesquisadores, as prateleiras reduzem o ganho de carga térmica no interior da edificação, permitindo maior aproveitamento da iluminação natural e dispensando o uso da luz artificial em grande parte do dia. Nessa pesquisa pode-se verificar o aumento de 29% no consumo de energia, em situações sem proteção solar, indicando que decisões simples podem apresentar marcantes colaborações para o uso racional de energia elétrica.

As necessidades de iluminação num ambiente estão relacionadas a uma percepção visual adequada, a qual será conseguida se houver luz em quantidade e qualidade suficientes (Mascaró e Mascaró, 1989). Esses mesmos autores salientaram que “os elementos (como as PLs) colocados na parte superior das janelas, favorecem a distribuição da luz diurna e também o controle da luminância excessiva”.

Macedo (2002), em pesquisa desenvolvida em Florianópolis, analisou o desempenho térmico e luminoso de quatro sistemas de utilização da luz solar direta. Dentre esses, o sistema formado por aberturas laterais com PL direcionada para o Norte. A pesquisa foi desenvolvida em modelo de escala reduzida e condições de céu real, realizando-se medições simultâneas da luminância interna e externa. Como grupo de controle, foi utilizado um sistema tradicional de abertura lateral com vidros simples. Pode-se concluir que esses elementos de controle são capazes de distribuir a luz com maior uniformidade.

### 2.3.2 Dutos de Luz

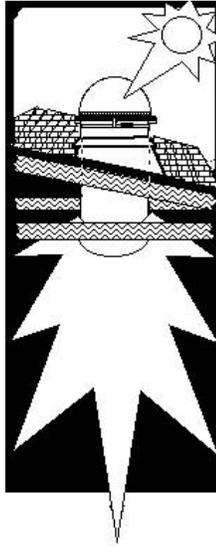
As patentes dos Estados Unidos nas tubulações que captam a luz do dia datam de 1890, entretanto, essa idéia tem sido desenvolvida desde os egípcios antigos. Esses últimos tiveram a idéia de alinhar eixos verticais, feitos com a folha de ouro, com a finalidade de refletir a luz do dia no interior de suas estruturas de pedra maciça.

Porém, até que houvesse um avanço na tecnologia reflexiva dos materiais, nenhum projeto prático da tubulação da luz do dia foi desenvolvido.

Em 1880, Willian Wheeler de Concord, Massachussets, teve a idéia de usar dutos com superfície interna refletiva, para conduzir a luz do dia para dentro das construções; porém, seu protótipo não era muito eficiente e os espelhos absorviam a maior parte da energia.

Na década de 1980, surgiram novos estudos nessa área, apresentando elevada eficiência, se comparado ao primeiro modelo de 1880. No ano de 1987, um instituto argentino apresentou estudo sobre Duto de Luz Solar Passivo (URRIOL *et al.*, 1987), no qual foi utilizado um duto cilíndrico e reflexão especular, além disso foram apresentados modelos para o cálculo da transmitância do duto.

Com o passar dos anos, novas pesquisas foram desenvolvidas nessa área, entre elas a realizada entre o ano de 1989 e 1993, pelo nativo do norte de Chicago, Greg Molero. Esse desenvolveu pesquisas para tentar trazer a luz do dia, através do telhado, para iluminar espaços internos sem a luz elétrica. A tubulação de luz solar foi desenvolvida com prata, que banhava a tubulação de alumínio internamente e o captador e o difusor de luz apresentavam-se em forma de abóbadas, aumentando a eficiência da técnica (figura 6).



**Figura 6** - Esquema desenvolvido por Greg Molero.

Fonte: [www.epa.gov/globalwarming/emissions/individual/index.html](http://www.epa.gov/globalwarming/emissions/individual/index.html)

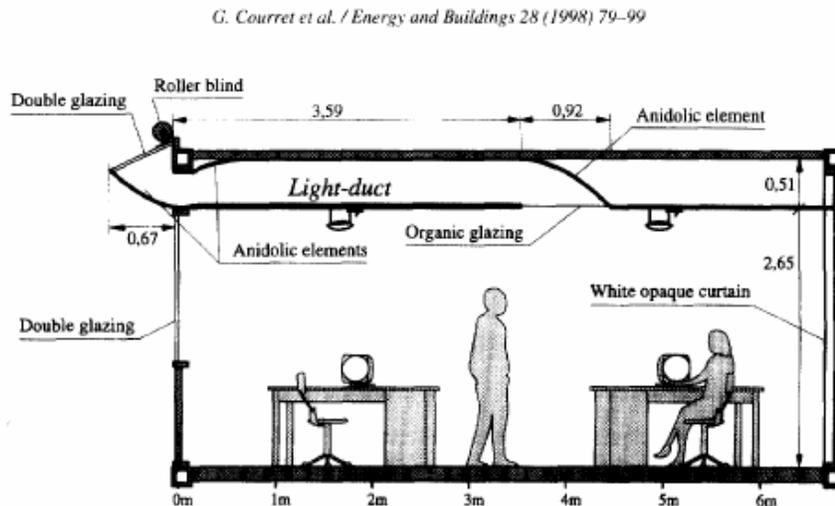
A partir da década de 90, os estudos nessa área ganharam força, com o intuito de buscar economia de energia e diminuir os danos ao meio ambiente, causados pela poluição gerada na produção de energia.

Edmonds *et al.* analisaram, em um trabalho desenvolvido em 1995, um sistema que associa o Duto de Luz a um painel cortado a laser, melhorando a reflexão de luz para baixas elevações do sol.

Em 1995, Swift e Smith realizaram estudos com um duto bi-dimensional, no qual eram refletidos os raios de luz. O duto apresentava comprimento “l” e largura “s”. Pela integral da equação para transmitância bi-dimensional, obteve-se a transmitância tri-dimensional, cujos parâmetros utilizados foram: T (transmitância do duto), R (refletividade do duto),  $\theta$  (ângulo de incidência da luz sobre o eixo do duto), s (largura do duto) e  $p = l/d$  (relação entre comprimento e diâmetro).

$$T = \frac{4}{\pi} \int_{s=0}^1 \frac{s^2}{\sqrt{1-s^2}} R^{\text{int}[p \tan \theta / s]} (1 - (1 - R)(p \tan \theta / s - \text{int}[p \tan \theta / s])) ds$$

No ano de 1998, na Suíça, Courret *et al.* utilizavam dutos com seção retangular e diferentes formas no captador e difusor de luz (figura 7). Nesse estudo, ele observou dois fatores: o conforto visual e a eficiência energética.



**Figura 7** - Esquema Dutos de Luz horizontais.

Fonte: COURRET *et al.*, 1998.

Elmualim *et al.*, em 1999, desenvolveram estudos com a utilização de material seletivo nas paredes internas do Duto (reflete a luz visível e permite a passagem de infravermelho). Este duto era envolvido por outro duto, de diâmetro maior, por onde o calor saía da edificação.

Zhang *et al.*, no ano de 2000, desenvolveram estudos para um caso mais específico com um duto de luz de diâmetro de 33cm e comprimento de 121cm. Seus estudos tiveram início com base no trabalho de Zastrow e Wittwer e introduziram o conceito de Fator de Luz do Dia do Duto de Luz, para relacionar a iluminação interna com a externa. Percebeu-se que, para um dado modelo de Duto de Luz, o Fator da Luz do Dia varia em função da altitude solar, nível de claridade do céu e distância entre o ponto de medida da iluminância e do difusor do duto.

No ano de 2005, Silva desenvolveu medições, por meio de modelos físicos em escala reduzida. Trata-se de um ambiente representando uma sala de aula, onde são

utilizados dutos espelhados internamente e, através de medições experimentais da iluminância dentro e fora do ambiente, tenta-se verificar a eficiência do sistema.

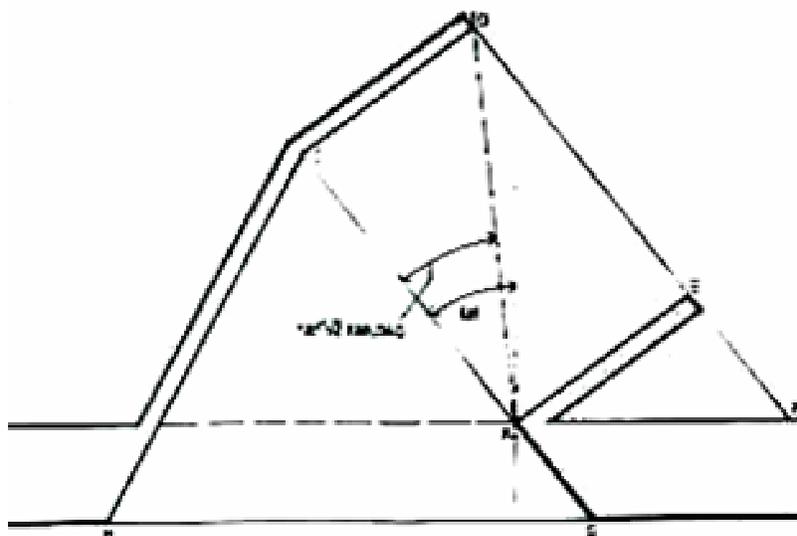
Para utilização desse sistema de dutos, deve-se entender o comportamento da luz no interior da tubulação, mediante conceitos físicos e matemáticos, além do auxílio de dados experimentais, além de verificar a interferência causada pelas variáveis (raio, diâmetro e comprimento do duto, altitude do sol etc) na transmissão de luz.

### **2.3.3 Pesquisas com outros elementos de controle**

#### **2.3.3.1 Anel Solar**

Trata-se de um elemento que fornece total sombreamento, possibilita que a luz difusa, vinda de toda parte do céu, seja transmitida sem a luz solar direta. O anel apresenta três formas: eles podem ser cilíndricos, quadrados ou hexagonais.

Segundo Lynes *et al.* (1988), para utilização do anel solar no hemisfério sul, deve-se posicionar o elemento quadrado faceando a superfície sul do telhado, conforme a figura 8. Para elevar o desempenho do sistema, as faces internas apresentam coloração branca (reflexão da luz solar).



**Figura 8** - Posicionamento do anel solar no hemisfério sul.

Fonte: LYNES et al., 1988.

### 2.3.3.2 “Brise-soleil”

Os quebra-sóis convencionais, “brise-soleil”, apresentam redundâncias, se obstruírem totalmente a luz naquela direção, impossibilitando o brilho do sol em qualquer época do ano.

Cysneiros (2004) desenvolveu medições com luxímetro digital, em salas de aula da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, nos períodos de junho e julho, visando a uma análise do sistema de iluminação utilizado. Na sala de aula orientada para oeste, o fechamento com grandes “Brises”, de piso a teto, prejudicou a iluminação das salas, estando os valores de iluminância muito abaixo do recomendado pela Norma de Níveis de Iluminância para interiores NBR 5413.

O edifício projetado para American Academy of Sciences, em Washington, utiliza um sistema de persianas verticais (similar ao sistema de “brises” verticais), acionadas por um motor, para variação de seu ângulo em conformidade com a posição do sol. O fator impeditivo seria o custo do sistema, o que o tornaria totalmente inviável para um edifício comum.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Primeira Parte**

A pesquisa desenvolvida é de caráter experimental, sendo seu plano composto de uma única variável dependente, razão entre iluminâncias horizontais, interna e externa, sob condições de céu real (FLD\*), e sete condições experimentais, em que as PLs foram confeccionadas por dois materiais, pintura branca e material refletor, sendo a primeira submetida a medições, variando o ângulo de inclinação das prateleiras, que se encontram anexadas à abertura lateral.

Para tornar a pesquisa viável, fez-se necessária a fixação das demais variáveis – altura (90 cm) e largura (45 cm) da abertura, dimensões do ambiente em estudo (90 x 45 x 270 cm), espaçamento entre as PLs (5 cm), assim como sua largura (7 cm) e comprimento (45 cm) – considerando-as variáveis independentes.

Razão entre a iluminância horizontal interna e a iluminância simultaneamente disponível sobre o plano horizontal externo, sob condições de céu real (FLD*).	
Abertura Lateral sem prateleira	Abertura Lateral + PL espelhada horizontal
Avaliação dos resultados obtidos em célula experimental.	

Razão entre a iluminância horizontal interna e a iluminância simultaneamente disponível sobre o plano horizontal externo, sob condições de céu real (FLD*).	
Abertura Lateral sem prateleira	Abertura Lateral + PL branca horizontal
Avaliação dos resultados obtidos em célula experimental.	

Razão entre a iluminância horizontal interna e a iluminância simultaneamente disponível sobre o plano horizontal externo, sob condições de céu real (FLD*).	
Abertura Lateral sem prateleira	Abertura Lateral + PL branca inclinada 10°
Avaliação dos resultados obtidos em célula experimental.	

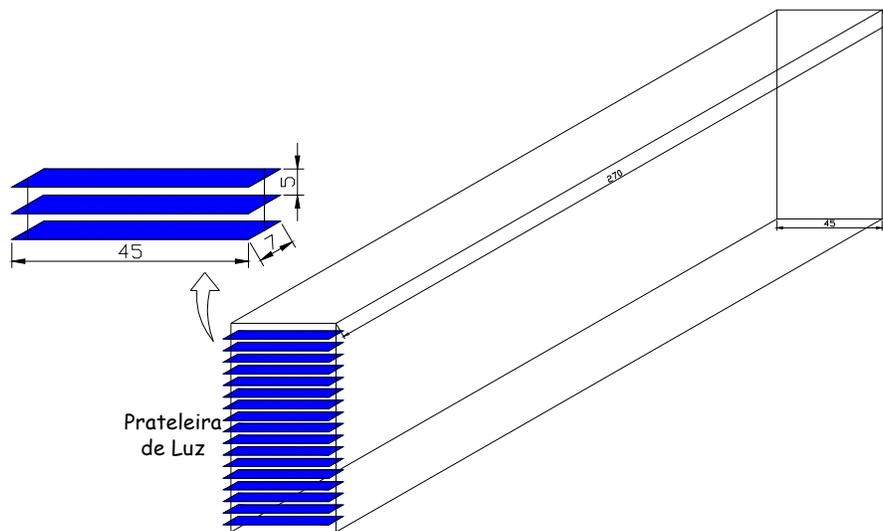
Razão entre a iluminância horizontal interna e a iluminância simultaneamente disponível sobre o plano horizontal externo, sob condições de céu real (FLD*).	
Abertura Lateral sem prateleira	Abertura Lateral + PL branca inclinada 20°
Avaliação dos resultados obtidos em célula experimental.	

Razão entre a iluminância horizontal interna e a iluminância simultaneamente disponível sobre o plano horizontal externo, sob condições de céu real (FLD*).	
Abertura Lateral sem prateleira	Abertura Lateral + PL branca inclinada 30°
Avaliação dos resultados obtidos em célula experimental.	

Razão entre a iluminância horizontal interna e a iluminância simultaneamente disponível sobre o plano horizontal externo, sob condições de céu real (FLD*).	
Abertura Lateral sem prateleira	Abertura Lateral + PL branca inclinada 10° 20° 30°
Avaliação dos resultados obtidos em célula experimental.	

Os testes foram realizados em modelo físico, o que permitiu identificar as influências da variação do ângulo de inclinação da PL em um sistema de aproveitamento de luz solar e em condições de céu real.

O modelo (figura 9) é de um espaço de formas geométricas simples, sem função pré-definida, com largura de 45 cm, comprimento de 270 cm e pé-direito de 90 cm, representando ambientes com sistema de iluminação natural, composto por abertura lateral (90 x 45 cm) + PL (17 prateleiras de 7 x 45 cm, posicionadas paralelamente), com ângulo de inclinação variando entre 0° (horizontal) e 30° - grupo experimental.



**Figura 9** - Modelo físico sem função pré-definida.

**Fonte:** Autor, 2006

Pretendeu-se, com isso, avaliar, além do desempenho da PL, a influência do posicionamento angular das PLs, no sistema de redirecionamento da luz solar.

Existem diversos aparelhos para a medição de iluminância. Dentre os aparelhos disponíveis na Unicamp, optou-se em desenvolver a pesquisa com BABUC-M código BSA-010.

O aparelho BABUC-M código BSA-010 (figura 10) é uma linha de sensores, acessórios e softwares, que possibilita a aquisição, o armazenamento e o processamento de uma grande variedade de parâmetros físicos e químicos, entre os quais podem ser destacados: temperatura, umidade, velocidade do ar, pressão, ruído entre outras, além da luz (iluminância) de principal interesse nesta pesquisa.



**Figura 10** - BABUC-M código BSA-010.

**Fonte:** Autor, 2006.

De acordo com a aplicação, o BABUC-M possibilita a aquisição de informações em tempo real. O aparelho pode ser programado para operações de monitoramento breve ou ser instalado permanentemente para aquisição de dados em longo prazo. Ele possui memória de 64Kb, sendo possível armazenar 20.000 amostras. Também é composto por oito sensores, com capacidade de 25.000 lux, e um sensor, com capacidade de 100.000 lux.

Os sensores foram distribuídos no número de sete, no interior do modelo físico, cujo ambiente foi dividido em uma malha com áreas iguais e formato próximo a um quadrado, evitando a locação dos pontos próximos à parede e um sensor no exterior do ambiente.

A medição da iluminância externa ocorreu de forma simultânea, em condições de céu o mais desobstruído possível, com o sensor do BABUC-M protegido por um filtro (capítulo 3.10) para que sua capacidade máxima, 100 Klux, não fosse alcançada, evitando, assim, problemas no seu desempenho.

Como proposto anteriormente, não houve proteção do sensor contra raios solares diretos. Essa proteção é exigida para cálculos tradicionais de Fator de Luz

Diurna (FLD), porém pretendeu-se, com o experimento, avaliar a eficiência do sistema de reaproveitamento da luz natural, para condições de céu da região de Campinas, local onde a pesquisa está sendo desenvolvida.

Além do aparelho para medição das iluminâncias interna e externa, foi utilizado, no desenvolvimento da pesquisa, um microcomputador para o processamento e análise dos dados, elaboração de relatórios, artigos e materiais necessários para a confecção do modelo físico, tanto para o ambiente como para as prateleiras.

Os dados foram examinados por intermédio de análises estatísticas. Foram realizadas comparações entre os valores da razão das iluminâncias encontradas no modelo experimental para os diferentes materiais e os ângulos de inclinação da prateleira, com os valores obtidos sem prateleira.

Ao final, disponibilizou-se um referencial para este tipo de redirecionador, para orientação Norte, na cidade de Campinas. Para facilitar a percepção e divulgação dos resultados, a apresentação final das medições experimentais foi realizada com uso de gráficos.

### **3.2 Segunda Parte**

Na segunda parte da pesquisa, o plano experimental foi composto por duas variáveis dependentes - iluminância horizontal externa e iluminância vertical na direção Norte, sendo esses valores obtidos a partir de uma única condição experimental. Ao final, os valores foram comparados com os resultados disponíveis no programa Disponibilidade da Luz Natural - DLN.

Assim como na 1ª parte da pesquisa, para torná-la viável, fez-se necessária a fixação das demais variáveis – altura (90 cm) e largura (45 cm) da abertura, dimensões do ambiente em estudo (90 x 45 x 270 cm), – considerando-se as variáveis independentes.

Iluminância horizontal externa	
Iluminância Horizontal Externa -DLN	Iluminância Horizontal Externa sob condições de céu real.
Avaliação das iluminâncias obtidas na pesquisa.	

Iluminância vertical na direção Norte	
Iluminância vertical na direção Norte -DLN	Iluminância vertical na direção Norte sob condições de céu real.
Avaliação das iluminâncias obtidas na pesquisa.	

### 3.2.1 Programa DLN (Disponibilidade de Luz Natural) - Versão 2.06

O software DLN versão 2.06, criado pelo Prof. Dr. Paulo Sérgio Scarazzato em 1995, oferece informações sobre a disponibilidade de luz natural, em planos horizontais e verticais externos às edificações. Trata-se de uma ferramenta essencial no desenvolvimento da pesquisa, uma vez que os valores oferecidos são extremamente escassos no território brasileiro. Esse programa oferece o cálculo de Disponibilidade de Luz Natural, composto pelos dados do local (Campinas), registro da face voltada para o sol (Norte), Dia Luminoso Típico, iluminâncias diárias e luminâncias. Os resultados são apresentados em forma de gráfico e dados numéricos. O software possibilita a navegação em um Banco de Dados com informações de consultas anteriores.

Os resultados da pesquisa experimental foram analisados e testados, com posterior comparação entre os parâmetros oferecidos no programa computacional DLN. Esse software oferece os valores de iluminância horizontal em três tipos de céu: céu claro, parcialmente encoberto e encoberto. Ele disponibiliza ainda valores de

iluminância vertical para qualquer uma das direções dos pontos cardeais, ressaltando-se o fato de que os valores disponíveis, na orientação Norte, apresentam grande importância para a pesquisa.

A partir desses dados, pôde-se obter uma avaliação positiva ou não dos valores de iluminância conseguidos na pesquisa, com dispositivos inovadores de redirecionamento da luz natural – PL.

A seguir, são apresentadas tabelas com valores de iluminância horizontal e vertical para os três tipos de céu. Esses dados são obtidos para o dia luminoso típico, também oferecido pelo programa, os quais representam, de forma geral, o que ocorre em cada mês do ano.

### 3.2.1.1 Dados obtidos em janeiro de 2006

Dia Típico 17/01/2006

	Horizontal (Klux)		
	CC	PE	CE
	Céu Claro	Parcialmente Nublado	Céu Encoberto
05:00	0,80	0,30	0,30
06:00	1,70	0,50	0,40
07:00	22,20	12,60	5,50
08:00	51,10	32,80	10,20
09:00	77,20	56,40	14,30
10:00	97,40	76,90	17,40
11:00	110,20	90,40	19,30
12:00	114,60	95,20	20,00
13:00	110,20	90,40	19,30
14:00	97,40	76,90	17,40

15:00	77,20	56,40	14,30
16:00	51,10	32,80	10,20
17:00	22,20	12,60	5,50
18:00	1,70	0,50	0,40
19:00	0,80	0,30	0,30

	Horizontal (Klux)		
	CC	PE	CE
	Céu Claro	Parcialmente Nublado	Céu Encoberto
05:00	0,00	0,00	0,00
06:00	1,10	0,10	0,00
07:00	4,00	4,80	2,10
08:00	4,60	8,50	4,00
09:00	4,40	11,20	5,60
10:00	3,60	13,10	6,90
11:00	2,60	14,20	7,70
12:00	2,00	14,60	8,00
13:00	2,60	14,20	7,70
14:00	3,60	13,10	6,90
15:00	4,40	11,20	5,60
16:00	4,60	8,50	4,00
17:00	4,00	4,80	2,10
18:00	1,10	0,10	0,00
19:00	0,00	0,00	0,00

### 3.2.1.2 Dados obtidos em fevereiro de 2006

Dia Típico 14/02/2006

	Horizontal (Klux)		
	CC	PE	CE
	Céu Claro	Parcialmente Nublado	Céu Encoberto
05:00	0,80	0,30	0,30
06:00	1,50	0,40	0,30
07:00	23,10	13,10	5,60
08:00	53,20	34,70	10,60
09:00	80,20	59,60	14,80
10:00	101,10	81,10	18,00
11:00	114,30	95,30	20,10
12:00	118,30	100,20	20,80
13:00	114,30	95,30	20,10
14:00	101,10	81,10	18,00
15:00	80,20	59,60	14,80
16:00	53,20	34,70	10,60
17:00	23,10	13,10	5,60
18:00	1,50	0,40	0,30
19:00	0,80	0,30	0,30

	Horizontal (Klux)		
	CC	PE	CE
	Céu Claro	Parcialmente Nublado	Céu Encoberto
05:00	0,00	0,00	0,00
06:00	1,10	0,10	0,00
07:00	4,50	5,40	2,20
08:00	5,20	9,50	4,20
09:00	5,00	12,50	5,90
10:00	4,20	14,50	7,20
11:00	2,90	15,60	8,00
12:00	1,90	16,10	8,30
13:00	2,90	15,60	8,00
14:00	4,20	14,50	7,20
15:00	5,00	12,50	5,90
16:00	5,20	9,50	4,20
17:00	4,50	5,40	2,20
18:00	1,10	0,10	0,00
19:00	0,00	0,00	0,00

### 3.3 Modelo Físico/ Célula experimental

O modelo físico permite realizar estudos rigorosos dos aspectos fotométricos da iluminação. Em quase todos os aspectos, o modelo dá uma verdadeira simulação das condições de iluminação do ambiente em escala real.

“Ao contrário de outros modelos físicos – nos quais o comportamento do fenómeno físico (transmitância térmica, tensões estruturais, fluxo de ar etc) sofre distorções pelo efeito de escala – o modelo para iluminação não requer compensações em função da escala. Como o comprimento de onda da luz visível é extremamente

reduzido, em comparação ao tamanho dos modelos em escala, um modelo arquitetônico que represente com fidelidade um espaço real, exposto às mesmas condições de céu e mantendo a mesma geometria e as mesmas características das superfícies, apresenta um padrão de distribuição da iluminação interna idêntico. Portanto, como a luz não sofre distorções, as medições, neste caso, têm como objetivo avaliar as condições de iluminação do ambiente ainda em fase de projeto, por meio da execução de maquetes, permitindo a adoção de sistemas de aberturas mais eficientes e uma melhor orientação dos componentes construtivos.” (NBR15215-4).

Para realização da parte experimental da pesquisa, optou-se pela construção de um modelo físico composto por uma estrutura metálica, canaletas em perfil L (Figura 11), aumentando a estabilidade do modelo, e placas de Duratex. A dimensão final do protótipo foi de 45cm de largura, 90cm de altura e 270cm de comprimento, apresentando uma relação de 1;2;6.



(A)



(B)

**Figura 11 - (A, B):** Montagem das placas de Duratex no modelo físico.

**Fonte:** autor, 2006.



(C)



(D)

**Figura 11 - (C, D):** Fixação de canaletas em perfil L.

Fonte: autor, 2006.

Na superfície interior, importando-se com o sucesso na reflexão da luz em sistema de PL, as paredes e piso da célula apresentam coloração escura (preta), cuja refletância pode chegar próximo a 0%, restando como única superfície refletora da luz natural o teto, que possui coloração clara (branca) (figura 12). O branco possui alto nível de reflexão, podendo alcançar valores próximos a 100%, com a melhoria da iluminação do ambiente.



(A)



(B)

**Figura 12 - (A, B):** Pintura das superfícies internas do modelo físico.

Fonte: Autor, 2006.



(C)



(D)

**Figura 12 - (C, D):** Pintura das superfícies internas do modelo físico.

**Fonte:** Autor, 2006.

O protótipo possui uma abertura lateral de 45x90cm, representada por uma de suas faces laterais, que se encontra totalmente desobstruída. No interior do modelo físico, foram selecionados sete pontos, em uma linha centralizada, para instalação dos sensores e análise dos níveis de iluminação.

Para garantir resistência contra intempéries, durante o período de medição, o protótipo foi pintado externamente com duas mãos de Polisten – Stain Impregnante Transparente – Sayerlack (figura 13) e mais duas mãos de esmalte sintético branco – Glasurit (linha imobiliária) (figura 14).



(A)



(B)

**Figura 13 - (A, B):** Pintura com Polisten – Stain Impregnante Transparente – Sayerlack.

**Fonte:** Autor, 2006



(A)



(B)

**Figura 14 - (A, B):** Pintura com esmalte sintético branco – Glasurit (linha imobiliária)

**Fonte:** Autor, 2006.

### 3.4 Prateleiras de Luz

Para realização da pesquisa, foram consideradas algumas variáveis que podem influenciar nos resultados:

- As dimensões da prateleira: seção pela qual é captada e distribuída a luz, observando-se o comprimento da prateleira e a orientação em que ela está sendo utilizada (posicionamento);
- As características das superfícies, para obter sucesso na reflexão da luz na prateleira e dentro do ambiente (teto);
- As modificações nos comportamentos das prateleiras, pois elas podem se alterar com a variação da trajetória do sol e a latitude do local estudado.

Levando-se em consideração as citações anteriores, realizaram-se estudos com materiais que apresentassem características necessárias para o alto desempenho das PLs. Após esses cuidados, foram confeccionados três modelos de prateleiras.

Trata-se de uma malha, cujas superfícies externas possuem 45 cm de largura e 90 cm de altura, dimensões da abertura lateral apresentada no modelo físico. Nesse espaço, encontram-se posicionadas 17 prateleiras de 7 cm de largura e espaçamento de 5 cm entre elas, constituindo uma malha fórmica, alinhada à fachada externa do protótipo.

As prateleiras foram confeccionadas com dois tipos de materiais: um refletor utilizado em luminárias de lâmpadas fluorescentes (figura 15) e uma estrutura de ferro com pintura branca, adotando-se 100% de reflexão (figura 16). Foi confeccionada também uma terceira PL, com estrutura de ferro e pintura branca semelhante à segunda, porém com prateleiras móveis, possibilitando suas inclinações isoladamente, podendo-se variar o ângulo de cada uma das 17 prateleiras independentes (figura 17).



(A)



(B)

**Figura 15 - (A, B):** Construção da prateleira com material refletor.

**Fonte:** Autor, 2006.



(A)

(B)

**Figura 16 - (A, B): Prateleira branca.**

**Fonte:** Autor, 2006.



(A)

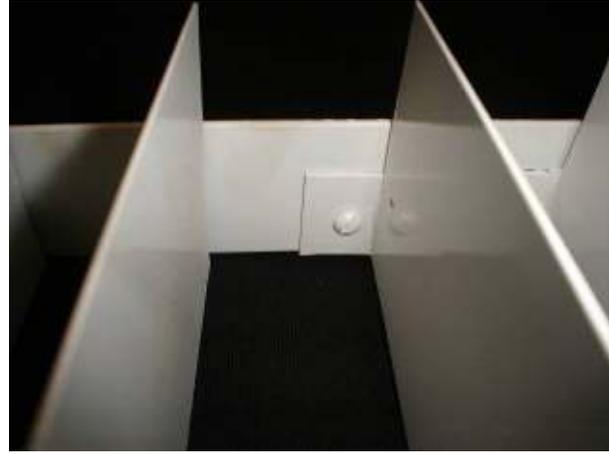
(B)

**Figura 17 - (A, B): Prateleira branca inclinada.**

**Fonte:** Autor, 2006.



(C)



(D)

**Figura 17 - (C, D): Prateleira branca inclinada.**

**Fonte:** Autor, 2006.

### **3.5 Localização dos modelos**

Segundo Hopkinson, a quantidade de luz que alcança um ponto depende do entorno observado a partir desse ponto e das propriedades luminosas desse entorno. Por isso, a posição do modelo é de extrema importância, já que o objetivo do trabalho encontra-se direcionado ao comportamento e à distribuição da luz.

Tentando-se alcançar uma localização adequada e disponível para desenvolvimento da pesquisa, optou-se por colocar o modelo físico em um amplo campo desobstruído, localizado no campus da UNICAMP (figura 18), na cidade de Campinas. Trata-se de um espaço cedido pelo Departamento de Engenharia Civil para desenvolvimento de pesquisas experimentais dessa unidade.



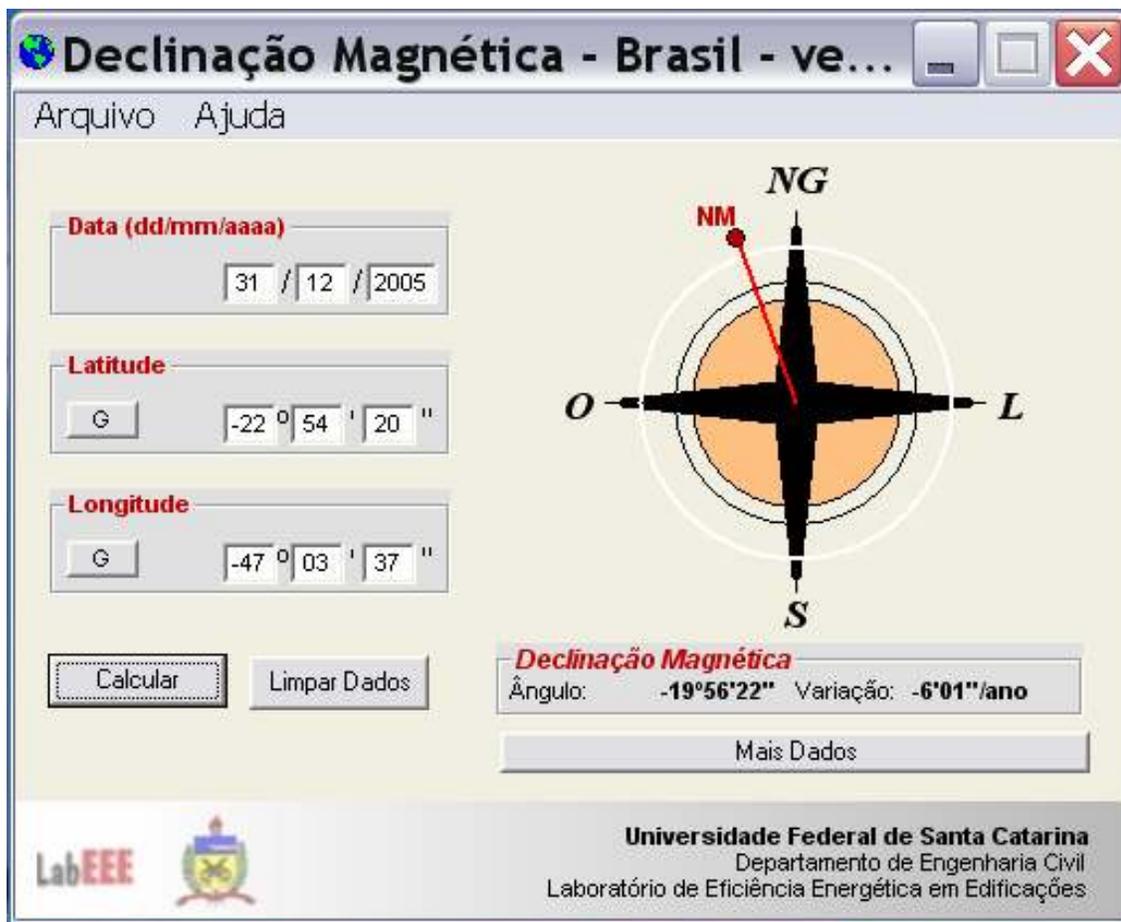
**Figura 18** - Local de instalação do modelo físico, fachada Norte.

**Fonte:** Autor, 2006.

### **3.6 Orientação Geográfica**

O modelo físico possui apenas uma superfície aberta direcionada para o Norte, orientação que favorece a utilização de dispositivos utilizados no sombreamento e redirecionamento da luz direta do sol, durante todo o ano.

O protótipo foi direcionado para o Norte Verdadeiro, levando em consideração o norte magnético e uma declividade magnética de  $19^{\circ}56'22''$ , obtida a partir do software Declinação Magnética 2.0 (figura 19), desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, para cálculo da declinação magnética e outros parâmetros correlatos, aplicável ao território brasileiro.



**Figura 19** - Software Declinação Magnética 2.0.

Fonte: <http://www.labee.ufsc.br/software/declinacao.html>

### 3.7 Medição dos Níveis de Iluminância

Para realização das medições dos níveis de iluminância interna e externa, foram utilizados oito sensores do aparelho BABUC – M. Esses sensores não se apresentavam devidamente calibrados e, devido à falta de verba disponível no desenvolvimento da pesquisa, somando-se a isso a dificuldade de calibração desse aparelho, cujo fabricante e responsável por esse serviço situa-se na Itália, desenvolveu-se um método próprio para calibração desses sensores.

## 3.8 Calibração dos sensores

Como documenta Hopkinson, cada fotocélula, como é natural, tem de ser calibrada separadamente com o instrumento de medida, de modo que implique e um início de trabalho considerável, antes que se possa iniciar a pesquisa propriamente dita.

Por outro lado, uma vez estabelecida essa disposição, ela é muito versátil, vindo a possibilitar a obtenção de uma grande quantidade de informações, num tempo relativamente curto. Importante observar isso quando as medições são efetuadas em condições de céu real.

### 3.8.1 Primeiro Método

Os resultados obtidos na calibração, realizada em novembro de 2005, visaram descrever o comportamento dos nove sensores do BABUC-M código BSA-010.

O método utilizado para calibração dos sensores foi comparação simultânea (figura 20) dos valores dos sensores do BABUC-M e do aparelho disponível no laboratório, Luxímetro Minolta T-10. Trata-se de um eficiente dispositivo capaz de medir a intensidade luminosa no ambiente.



**Figura 20:** Medição simultânea dos sensores do Luxímetro Minolta T-10 e BABUC-M.

**Fonte:** Autor, 2006.

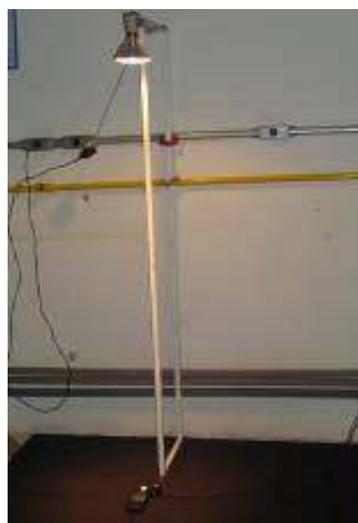
O luxímetro é composto de um sensor fotométrico com um filtro de correção óptica, conectado a um circuito de tratamento do sinal com um visor digital ou analógico. Sua sensibilidade espectral acompanha a curva de sensibilidade do olho V ( $\lambda$ ), não havendo a necessidade de aplicação de fator de correção para nenhum tipo importante de luz a ser medida. O instrumento possui um recurso interno de correção de co-seno, o que possibilita medir corretamente a luz com ângulo oblíquo de incidência, conforme a lei do co-seno. Além disso, apresenta uma larga escala de medição variando de 0,01 a 299.900,00 lux.

Para realização da calibração, foi montada, no Laboratório de Conforto da Unicamp, uma estrutura que permitisse a aproximação de uma lâmpada, através de pontos pré-definidos, variação de 10 cm, em direção aos sensores do BABUC-M (grupo experimental) e do Luxímetro (grupo de controle), que foram localizados lado a lado, na direção vertical, abaixo do foco da lâmpada (figura 21).

A lâmpada utilizada foi um modelo da Osram, Halopar 38, que reproduz uma luz de destaque mais branca e brilhante. Trata-se de uma lâmpada halógena refletora que possui um controle do fecho de luz, ideal para uma iluminação dirigida.



(A)



(B)

**Figura 21 - (A,B):** Calibração dos sensores 1º método.

Fonte: Autor, 2006.



(C)

**Figura 21 - (C):** Calibração dos sensores 1º método.

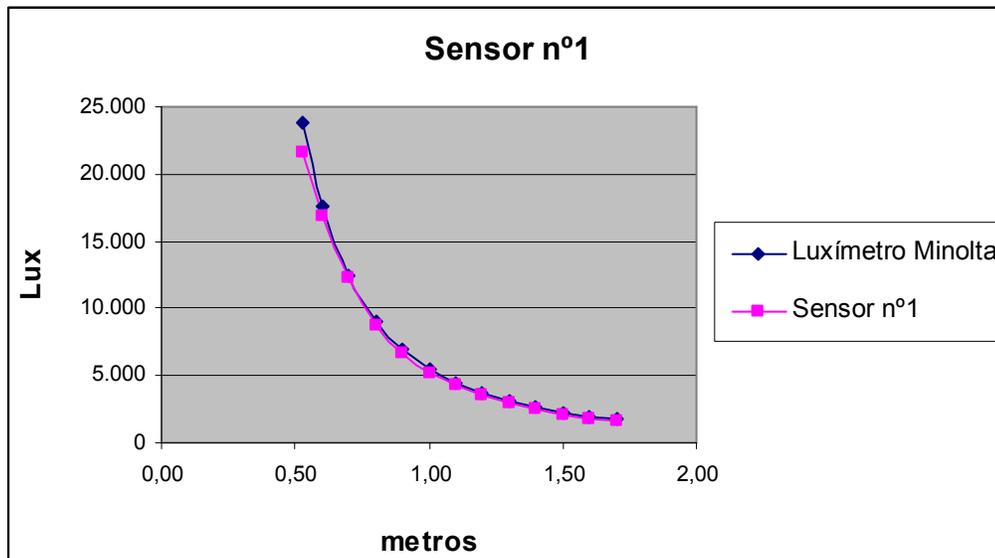
**Fonte:** Autor, 2006.

Com os valores obtidos, foram elaborados gráficos de curvas de correção para cada um dos sensores para que, a partir desses gráficos, pudessem ser definidos fatores de correção, que serão aplicados nos valores finais de iluminância obtidos no modelo físico.

**A. Sensor nº.1 (25 Klux)**

**Tabela 3:** Valores obtidos no sensor nº. 1.

<b>Altura de medição (m)</b>	<b>Luxímetro Minolta</b>	<b>Sensor nº1</b>
1,70	1.707	1.608
1,60	1.940	1.811
1,50	2.243	2.090
1,40	2.620	2.459
1,30	3.060	2.920
1,20	3.660	3.491
1,10	4.440	4.255
1,00	5.410	5.240
0,90	6.930	6.702
0,80	9.060	8.743
0,70	12.440	12.209
0,60	17.530	16.916
0,53	23.810	21.618



**Figura 22:** Gráfico de Iluminância x Distância.

Fator de correção = **1,051588167**

## B. Sensor nº2 (25 Klux)

Tabela 4: Valores obtidos no sensor nº2.

Altura de medição (m)	Luxímetro Minolta	Sensor nº2
1,70	1.725	1.629
1,60	1.955	1.846
1,50	2.235	2.136
1,40	2.593	2.457
1,30	3.020	2.973
1,20	3.460	3.437
1,10	4.100	4.103
1,00	4.930	4.817
0,90	6.420	6.378
0,80	8.280	7.598
0,70	10.700	9.708
0,60	16.740	14.739
0,53	23.960	21.984

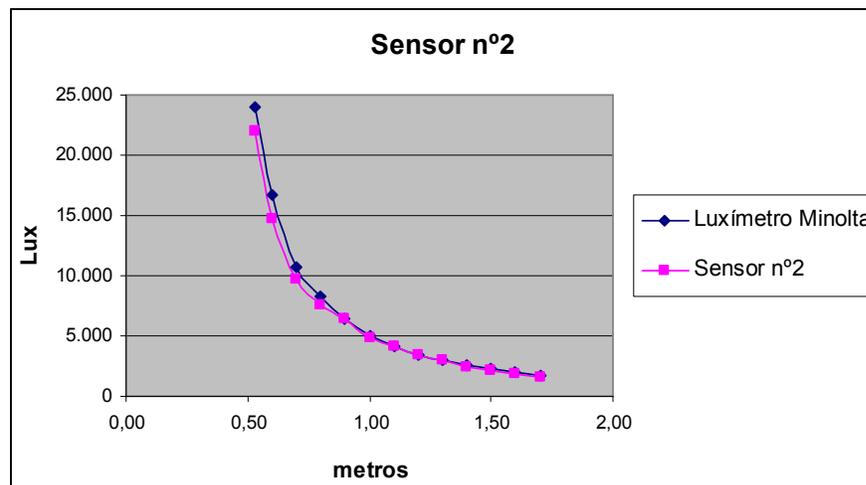


Figura 23: Gráfico de Iluminância x Distância.

Fator de correção = 1,053006326

### C. Sensor nº3 (25 Klux)

Tabela 5: Valores obtidos no sensor nº3.

Altura de medição (m)	Luxímetro Minolta	Sensor nº3
1,70	1.712	1.522
1,60	1.958	1.777
1,50	2.248	2.056
1,40	2.605	2.389
1,30	3.020	2.858
1,20	3.540	3.298
1,10	4.270	3.943
1,00	5.290	4.842
0,90	6.720	6.160
0,80	8.780	7.943
0,70	11.410	10.427
0,60	17.030	14.940
0,53	24.030	20.316

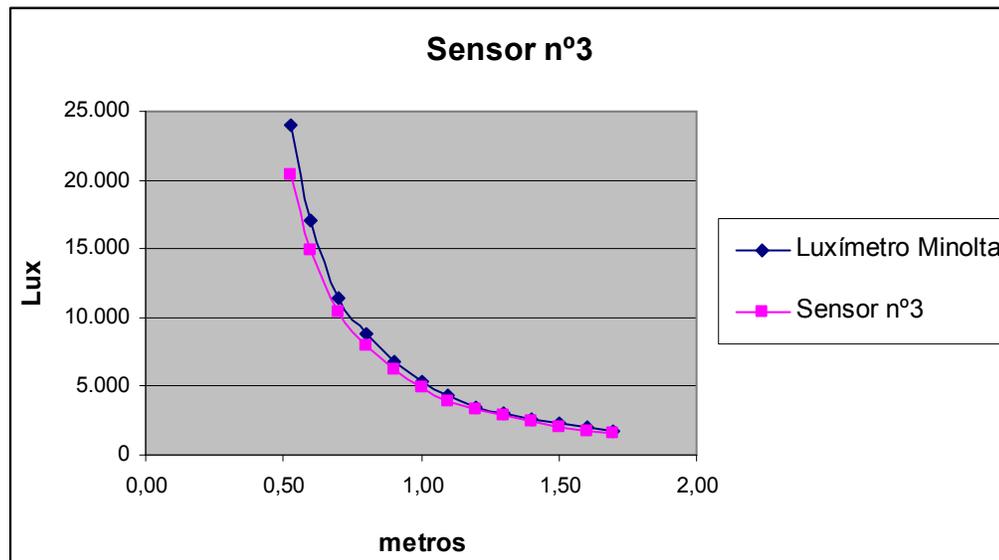


Figura 24: Gráfico de Iluminância x Distância.

Fator de correção = **1,102251739**

#### D. Sensor nº4 (25 Klux)

Tabela 6: Valores obtidos no sensor nº4.

Altura de medição (m)	Luxímetro Minolta	Sensor nº4
1,70	1.715	1.391
1,60	1.918	1.593
1,50	2.251	1.866
1,40	2.615	2.196
1,30	3.060	2.616
1,20	3.620	3.023
1,10	4.370	3.630
1,00	5.230	4.378
0,90	6.720	5.598
0,80	9.040	7.630
0,70	12.460	10.234
0,60	17.960	14.016
0,53	24.080	18.300

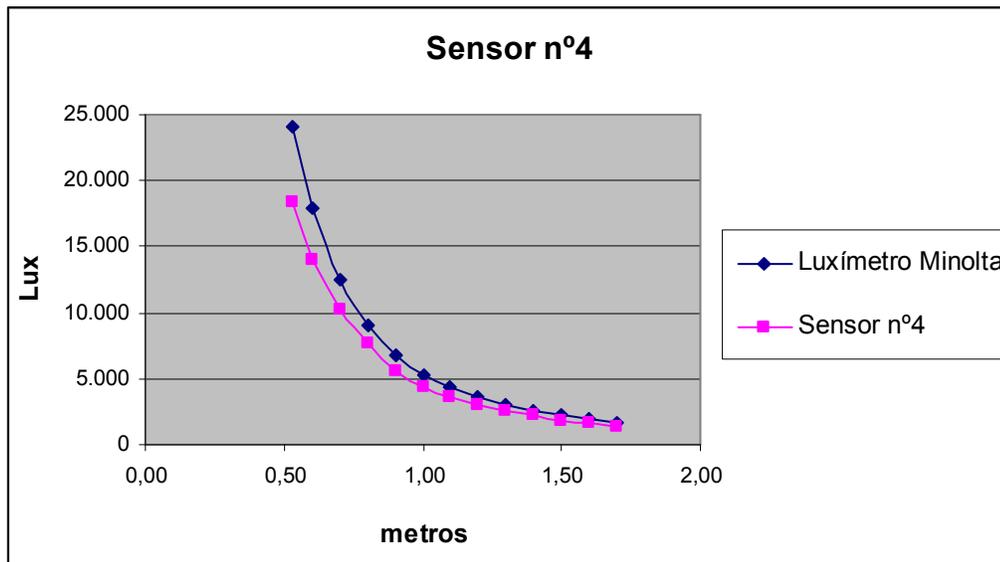


Figura 25: Gráfico de Iluminância x Distância.

Fator de correção = 1,215363159

### E. Sensor nº5 (25 Klux)

Tabela 7: Valores obtidos no sensor nº5.

Altura de medição (m)	Luxímetro Minolta	Sensor nº5
1,70	1.714	1.428
1,60	1.945	1.628
1,50	2.240	1.888
1,40	2.600	2.214
1,30	3.030	2.657
1,20	3.620	3.187
1,10	4.370	3.823
1,00	5.340	4.698
0,90	6.800	5.836
0,80	8.850	7.462
0,70	12.220	10.197
0,60	17.580	13.988
0,53	24.030	18.702

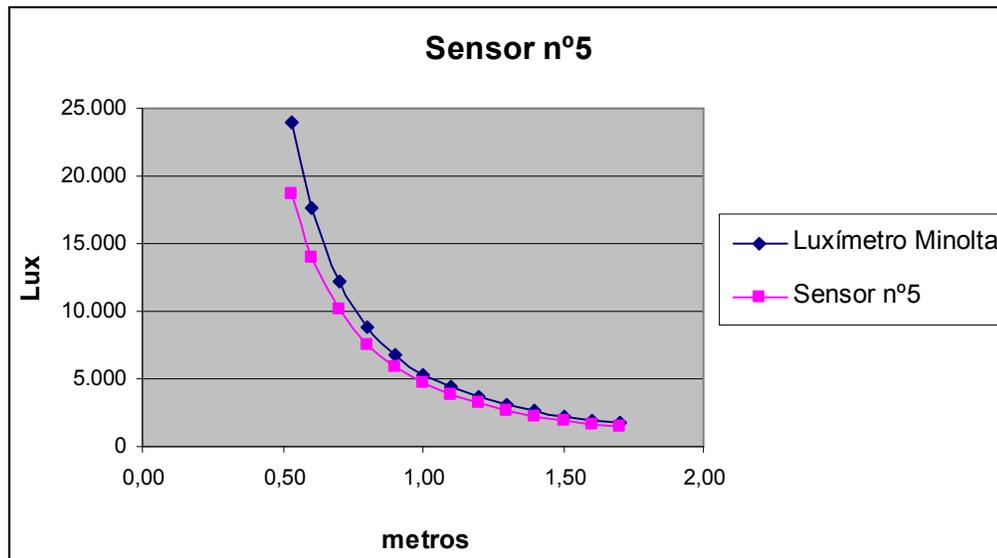


Figura 26: Gráfico de Iluminância x Distância.

Fator de correção = 1,184848475

## F. Sensor nº6 (25 Klux)

Tabela 8: Valores obtidos no sensor nº6.

Altura de medição (m)	Luxímetro Minolta	Sensor nº6
1,70	1.639	1.363
1,60	1.912	1.611
1,50	2.182	1.835
1,40	2.567	2.182
1,30	2.990	2.628
1,20	3.460	3.068
1,10	3.930	3.388
1,00	5.120	4.530
0,90	6.660	5.832
0,80	8.790	7.540
0,70	12.010	10.033
0,60	17.510	14.111
0,53	23.780	18.694

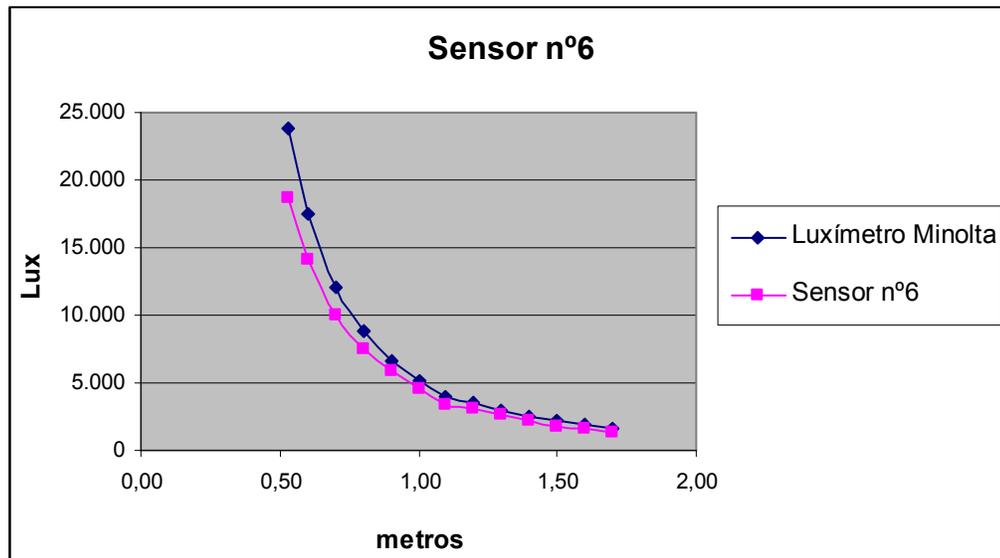


Figura 27: Gráfico de Iluminância x Distância.

Fator de correção = 1,179105066

### G. Sensor nº7 (25 Klux)

Tabela 9: Valores obtidos no sensor nº7.

Altura de medição (m)	Luxímetro Minolta	Sensor nº7
1,70	1.643	1.391
1,60	1.902	1.623
1,50	2.194	1.875
1,40	2.548	2.207
1,30	2.990	2.661
1,20	3.520	3.129
1,10	4.250	3.791
1,00	5.180	4.690
0,90	6.520	5.823
0,80	8.510	7.433
0,70	11.060	9.240
0,60	16.320	13.199
0,53	23.490	18.394

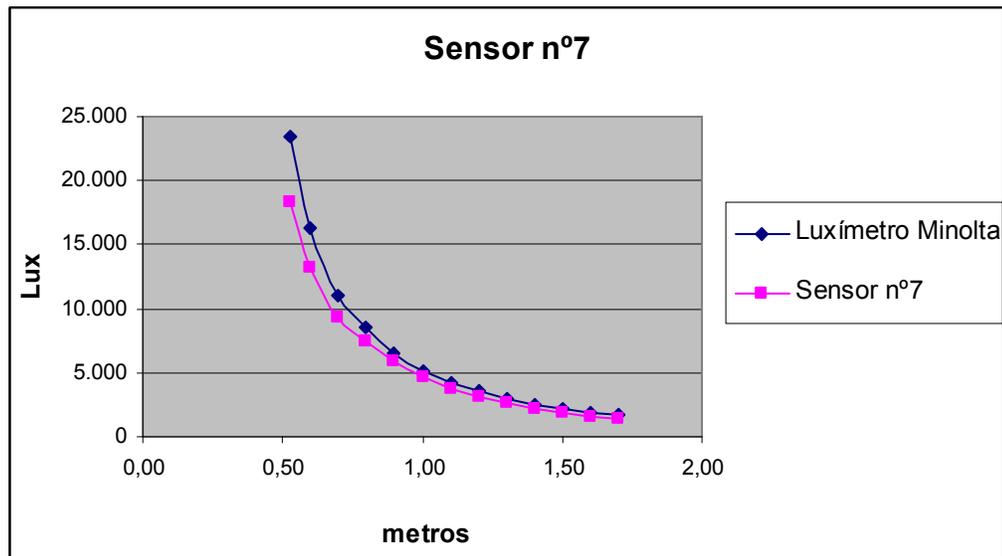


Figura 28: Gráfico de Iluminância x Distância.

Fator de correção = 1,163609835

## H. Sensor nº8 (25 Klux)

Tabela 10: Valores obtidos no sensor nº8.

Altura de medição (m)	Luxímetro Minolta	Sensor nº8
1,70	1.690	1.532
1,60	1.905	1.729
1,50	2.204	2.001
1,40	2.576	2.415
1,30	3.040	2.801
1,20	3.610	3.339
1,10	4.340	4.008
1,00	5.140	4.686
0,90	6.610	5.877
0,80	8.030	6.862
0,70	11.860	9.737
0,60	16.620	12.912
0,53	23.330	16.772

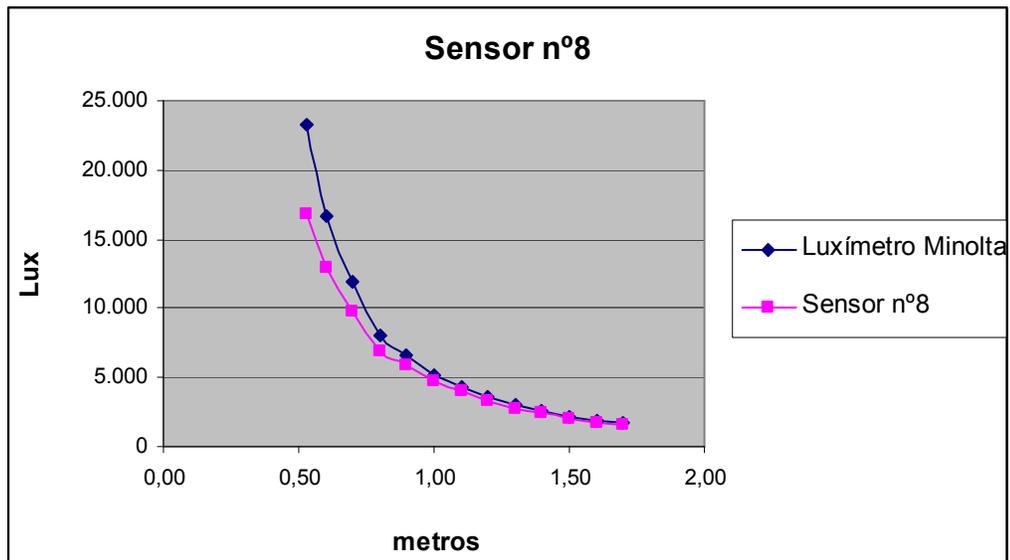


Figura 29: Gráfico de Iluminância x Distância.

Fator de correção = 1,146954117

## I. Sensor nº9 (100 Klux)

Tabela 11: Valores obtidos no sensor nº9.

Altura de medição (m)	Luxímetro Minolta	Sensor nº9
1,70	1.722	1.360
1,60	1.934	1.530
1,50	2.240	1.770
1,40	2.590	2.060
1,30	3.050	2.470
1,20	3.590	2.910
1,10	4.160	3.380
1,00	5.250	4.240
0,90	6.830	5.530
0,80	8.670	7.050
0,70	11.520	9.160
0,60	17.610	13.600
0,50	26.940	21.140
0,40	45.000	33.410
0,30	78.800	51.940

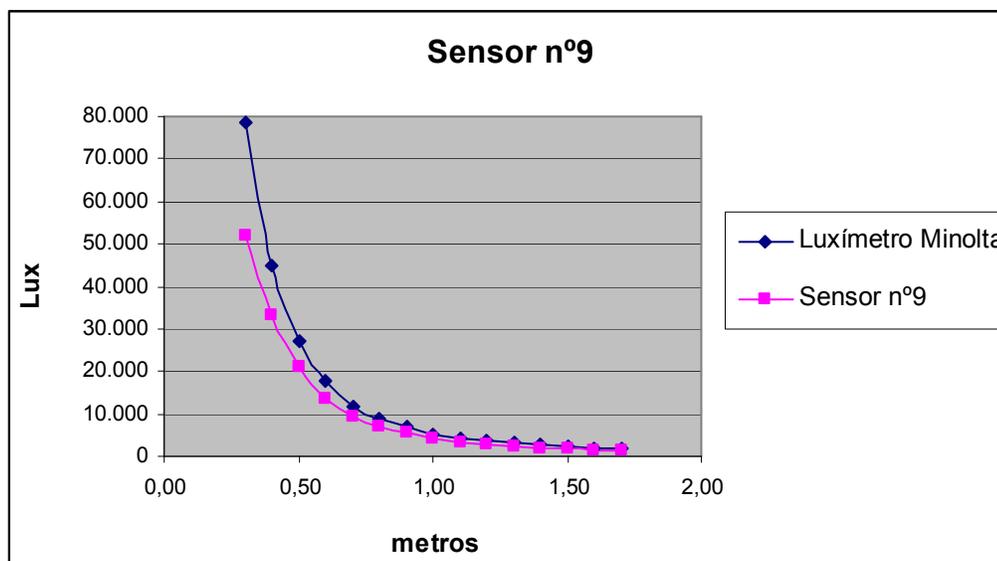


Figura 30: Gráfico de Iluminância x Distância.

Fator de correção = **1,367591482**

### 3.8.1.1 Fontes de Erros

Esse método não apresentou resultados satisfatórios que pudessem ser adotados como parâmetros de calibração dos sensores a serem utilizados no experimento. As principais fontes de erros detectadas no presente experimento de calibração dos sensores são apresentadas a seguir:

- O foco da lâmpada utilizada para calibração dos sensores deve ser adequadamente posicionado na vertical ao foco dos sensores (BABUC-M e Luxímetro). Esse nivelamento é essencial, pois pequenas diferenças na posição podem acarretar diferenças significativas na medição.
- O fato de as medições terem sido realizadas simultaneamente, com sensores posicionados paralelamente, não permite a exatidão exigida no posicionamento dos focos dos sensores, grupo de controle e experimental, com relação ao foco da lâmpada seja obtida.
- Outra característica importante é o tempo de exposição dos sensores. Alguns sensores possuem um tempo de estabilização, na sensibilização do elemento de medida, além de poderem variar seus resultados em função da temperatura. Nesse caso, como a lâmpada utilizada é incandescente, possivelmente a temperatura em medidas próximas ao sensor é mais elevada.
- Nesse experimento, a lâmpada utilizada como fonte geradora de luz movimentava-se em um trilho vertical, a distâncias de 10cm em 10 cm, permitindo a criação de gráficos. Porém, esse deslocamento da lâmpada gerou erros, devido à instabilidade da estrutura de fixação (um grampo de laboratório adaptado) que variou o foco da lâmpada, diminuindo a precisão das medições.
- Os gráficos puderam traduzir acúmulos de erros, no decorrer do experimento denunciando que outros fatores poderiam ser responsabilizados para que esse aumento gradativo do erro pudesse ocorrer.

- Para evitar reflexão de superfícies que pudessem influenciar os resultados, instalou-se, no chão do laboratório, um pano preto. Porém, esse pano não foi devidamente fixado, causando pequenas variações no posicionamento dos sensores que, para adequação dos resultados, deveriam ser rigorosamente localizados em um ponto fixo para os nove sensores;
- Devido à duração do experimento, esse não pôde ser realizado em um único dia. A estrutura, então, permaneceu montada por mais alguns dias, para que todos os valores necessários fossem obtidos.

Pelos motivos apresentados anteriormente, com destaque para o correto posicionamento do foco da lâmpada (mínimas variações no foco resultam discrepâncias de valor superior a 1.000 lux), os resultados obtidos, no primeiro método de calibração dos sensores, não foram satisfatórios.

### **3.8.2 Segundo Método**

A partir dos erros e distorções de resultados obtidos no 1º método de calibração dos sensores do aparelho BABUC-M, em dezembro de 2005, novas medições foram realizadas, após o aperfeiçoamento da estrutura e técnica de medição.

No 2º Método, a lâmpada Halopar 38 - mesmo modelo utilizado no método anterior - foi instalada em uma estrutura metálica, fixa na laje do Laboratório de Conforto da Unicamp. Essa medida foi tomada visando a uma extinção na variação do foco da lâmpada, decorrente da movimentação da mesma.

Nesse caso, os sensores foram submetidos a medições isoladamente, garantindo, com o auxílio de um prumo, um aumento na exatidão do posicionamento dos focos.

Fez-se uso de um tripé móvel, onde foi adaptada uma peça para fixação dos sensores, em sua parte superior central, permitindo a elevação de cada um dos

sensores, inclusive do luxímetro (figura 31). Obtiveram-se, dessa forma, os valores de iluminância em pontos pré-determinados e anotados no tripé, o que permitiu, por meio desses valores, a criação do gráfico e a extração de fatores de correção.

Essas medições foram tomadas visando a uma redução dos erros encontrados nos resultados do 1º método, no qual foram observadas variações perceptíveis, que puderam ser atribuídas à variação do foco da lâmpada.



(A)

**Figura 31 - (A):** Elevação dos sensores, BABUC-M e Luxímetro até a fonte luminosa.

**Fonte:** Autor, 2006.



(B)

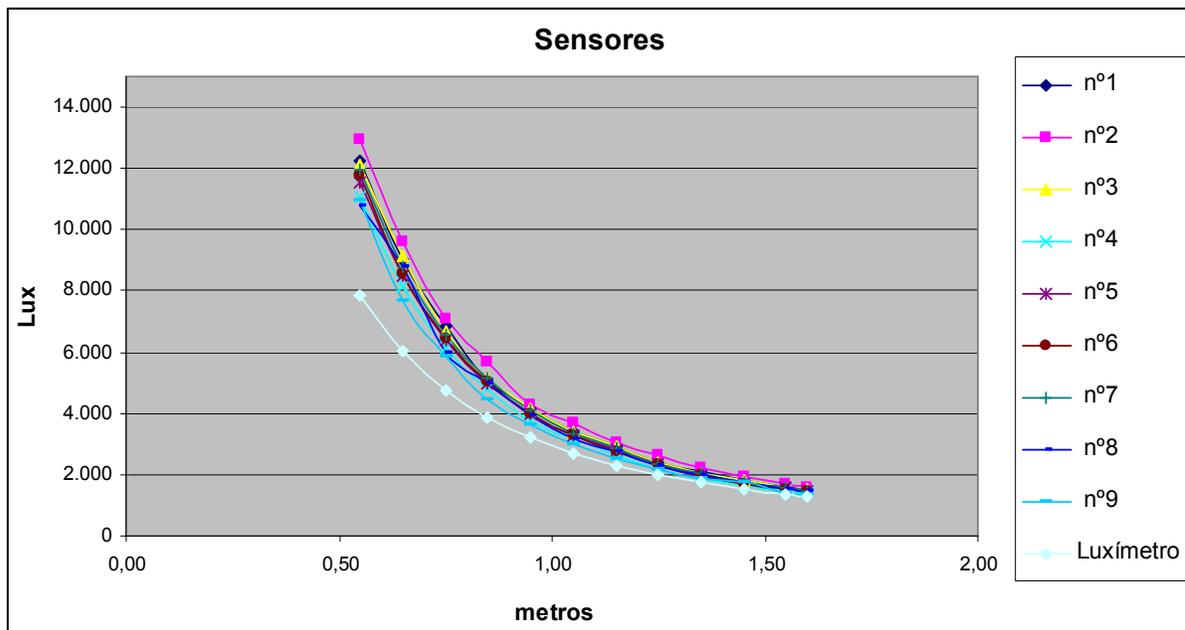
**Figura 31 - (B):** Elevação dos sensores, BABUC-M e Luxímetro até a fonte luminosa.

Fonte: Autor, 2006.

### 3.8.2.1 Gráfico da curva de correção

**Tabela 12:** Valores obtidos nos sensores de nº1 a 9.

Altura de medição (m)	nº1	nº2	nº3	nº4	nº5	nº6	nº7	nº8	nº9	Luxímetro
0,55	12.263	12.940	12.148	11.088	11.556	11.778	11.967	10.784	10.970	7.840
0,65	9.014	9.635	9.133	8.136	8.480	8.579	8.776	8.780	7.700	6.020
0,75	6.867	7.109	6.698	6.144	6.370	6.435	6.563	5.963	5.860	4.770
0,85	5.113	5.659	5.146	4.776	4.973	5.018	5.142	4.973	4.450	3.860
0,95	4.156	4.300	4.177	3.778	4.000	4.012	4.086	3.926	3.610	3.210
1,05	3.425	3.717	3.409	3.138	3.265	3.261	3.359	3.191	2.980	2.698
1,15	2.916	3.023	2.924	2.616	2.817	2.768	2.879	2.731	2.520	2.302
1,25	2.397	2.657	2.414	2.190	2.317	2.343	2.354	2.299	2.140	1.986
1,35	2.093	2.222	2.066	1.889	1.960	1.994	2.043	1.990	1.860	1.730
1,45	1.816	1.917	1.797	1.651	1.709	1.723	1.780	1.752	1.740	1.525
1,55	1.595	1.719	1.595	1.461	1.556	1.548	1.564	1.550	1.430	1.358
1,60	1.509	1.596	1.500	1.401	1.456	1.450	1.473	1.460	1.350	1.284



**Figura 32:** Gráfico de Iluminância x Distância.

Sensor nº1 → Fator de correção = **0,775287660**

Sensor nº2 → Fator de correção = **0,727806343**

Sensor nº3 → Fator de correção = **0,777507772**

Sensor nº4 → Fator de correção = **0,851110378**

Sensor nº5 → Fator de correção = **0,812177159**

Sensor nº6 → Fator de correção = **0,808337326**

Sensor nº7 → Fator de correção = **0,791180805**

Sensor nº8 → Fator de correção = **0,821169644**

Sensor nº9 → Fator de correção = **0,876775375**

A partir dos resultados, pôde-se verificar uma discrepância entre os valores dos sensores do Babuc-M e do Minolta. Porém, todas as células do BABU-M apresentam comportamentos similares; o erro encontrado entre os registros é de aproximadamente 15%. Com isso, os resultados apresentados anteriormente foram os adotados na análise experimental da pesquisa.

### **3.9 Descrição da rotina de observação**

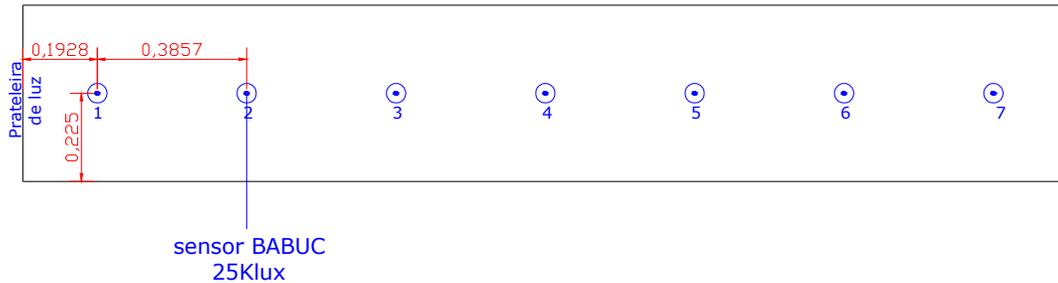
A rotina de observação das medições baseou-se em alguns critérios:

- Acompanhamento do funcionamento dos sensores, ou por parte do autor da pesquisa, ou por parte dos técnicos do laboratório da Unicamp, que auxiliam no desenvolvimento da pesquisa;
- A coleta de dados foi realizada em diferentes horas do dia e diferentes épocas do ano, em virtude da variação freqüente do tipo de céu, ao longo do dia e do ano, adquirindo-se valores mais precisos de níveis de iluminação;
- Limpeza do modelo físico, para que não ocorressem interferências nos resultados;
- Verificação da qualidade dos dados adquiridos nas medições;
- Calibração dos sensores de iluminação.

### **3.10 Posicionamento dos sensores**

Foram selecionados sete pontos internos localizados sobre o eixo central da maquete, analisando-se os níveis de iluminação em toda a extensão do protótipo.

Os sensores foram distribuídos, segundo regras aplicadas em posicionamento da iluminação artificial, estando o primeiro e o último dos sensores localizados a uma distância  $D/2$  das paredes, sendo que o espaçamento entre esses sensores é de  $D$ . Eles foram distribuídos conforme indicado na figura 33:



**Figura 33** - Posicionamento dos sensores.

Fonte: Autor, 2006.

No sensor de 100Klux, localizado no exterior do protótipo e responsável pelo registro de valores de iluminação externa, foi aplicado um filtro para que esse não ultrapasse seu valor máximo de registro, o que poderia danificar o aparelho.

Esse sensor foi posicionado à altura de aproximadamente 4m acima do protótipo e no alto de uma torre, visando reduzir as possíveis interferências que poderiam prejudicar os valores registrados.

### 3.11 Filtro Solar

O filtro solar utilizado, no sensor de 100.000lux, tem função de reduzir a chegada de luz no sensor, para que esse não ultrapasse sua capacidade máxima.

Esse filtro não exclui a luz solar direta, como certos dispositivos (anel sombreador e bracelete solar), reduzindo igualmente a luz solar direta e difusa.

Em março de 2006, foram realizados testes com um dispositivo que se encaixasse ao perfil e atendesse às necessidades em questão. Trata-se de um elemento em forma de cúpula, obtido a partir de metade de uma bolinha de “ping-pong” (figura 34). Esse dispositivo apresentou dimensões adequadas às do sensor, além de

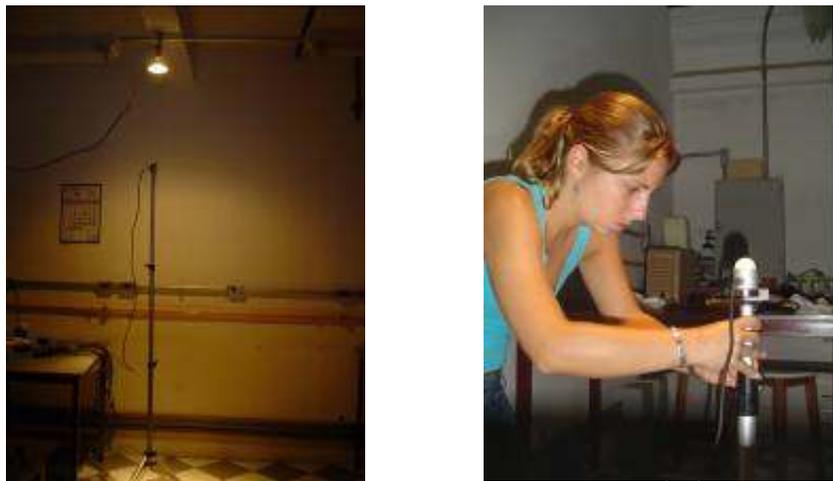
distribuir regularmente a luz no interior de seu campo, não havendo uma distorção devido ao ângulo de inclinação da luz, ao alcançar a face do sensor.



**Figura 34 - (A, B):** Filtro Solar.

**Fonte:** Autor, 2006.

Para utilização desse dispositivo foi empregado um método de calibração do sensor livre (grupo de controle) e com o filtro solar (grupo experimental), adquirindo uma função a ser aplicada, posteriormente, nos valores de iluminância obtidos nas medições de campo. Para tanto, utilizou-se a mesma metodologia do 2º método de calibração dos sensores (figura 35).



**Figura 35 - (A, B):** Calibração do sensor com filtro solar.

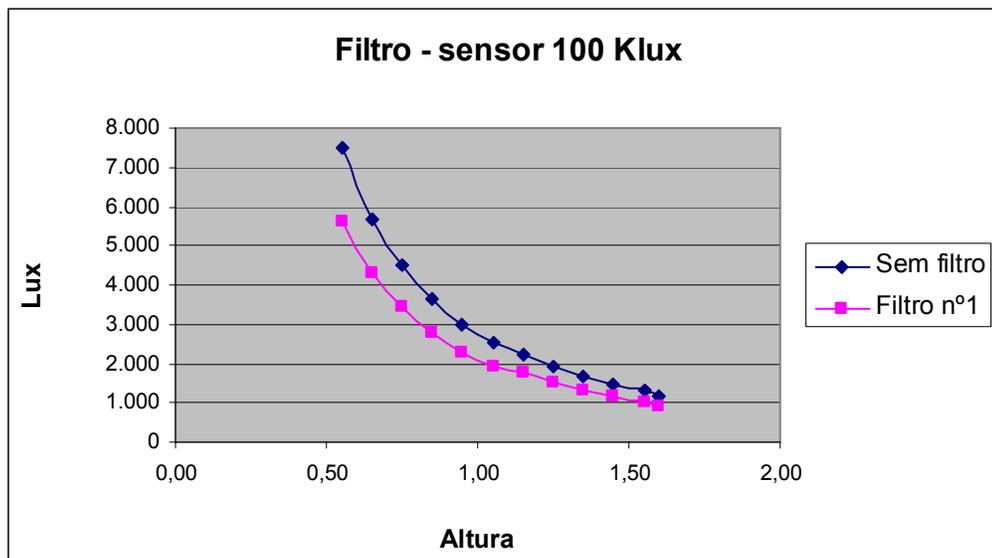
**Fonte:** Autor, 2006.

O sensor de 100Klux foi submetido a medições de iluminância em pontos pré-definidos, o que permitiu, mediante esses valores, a criação de um gráfico do qual se extraiu uma função de correção. Foram realizados testes com dois tipos de bolinhas de diferentes texturas.

### A. Filtro nº.1

**Tabela 13** - Valores obtidos nos sensores de 100 Klux.

Altura de medição (cm)	Sem filtro	Filtro nº1
0,55	7.490	5.640
0,65	5.690	4.290
0,75	4.490	3.420
0,85	3.630	2.770
0,95	3.010	2.290
1,05	2.510	1.920
1,15	2.250	1.760
1,25	1.920	1.500
1,35	1.680	1.330
1,45	1.480	1.170
1,55	1.310	1.030
1,60	1.160	920



**Figura 36** - Gráfico de Iluminância x Distância.

Nesse, caso o fator de correção a ser aplicado é de **1,293219162** e a redução dos valores registrados, com a utilização desse filtro, é de **22,67%**.

Este filtro não apresentou resultado satisfatório para ser utilizado no experimento uma vez que, em horários nos quais o sol se apresenta com força total, próximo ao meio dia, em dias ensolarados, os valores de iluminância podem ultrapassar 150Klux, o que não seria suportado por esse filtro, visto que 150Klux baixariam para 115,99Klux com a utilização do suposto filtro, ultrapassando a capacidade do sensor, que é de 100Klux.

## B. Filtro nº.2

Tabela 14 - Valores obtidos nos sensores de 100 Klux.

Altura de medição (cm)	Sem filtro	Filtro nº2
0,55	7.490	1.630
0,65	5.690	1.270
0,75	4.490	1.000
0,85	3.630	800
0,95	3.010	670
1,05	2.510	570
1,15	2.250	530
1,25	1.920	460
1,35	1.680	400
1,45	1.480	360
1,55	1.310	320
1,60	1.160	290

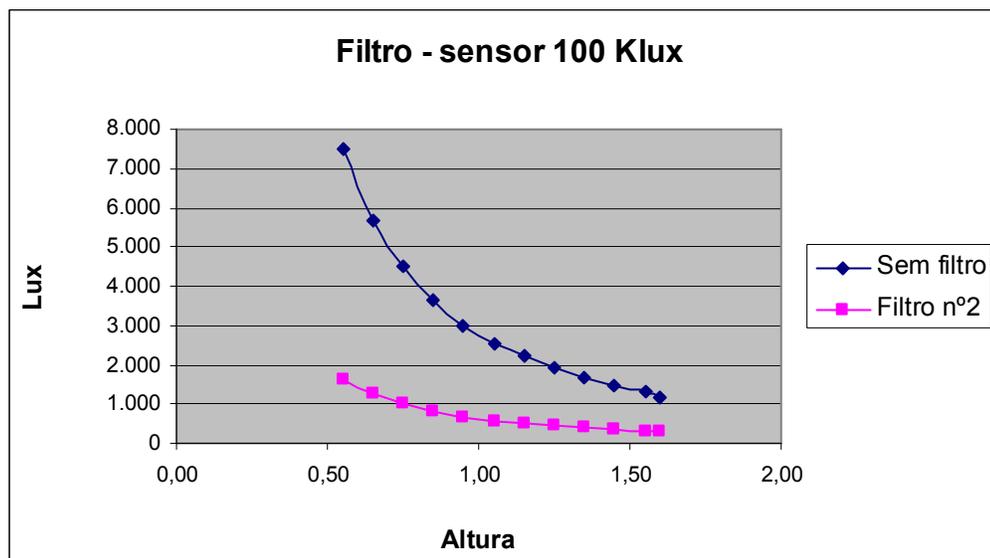


Figura 37 - Gráfico de Iluminância x Distância.

Nesse caso, o fator de correção a ser aplicado é de **4,318584187** e a redução dos valores registrados, com a utilização desse filtro, é de **76,84%**.

Utilizando-se o mesmo exemplo do filtro nº1, caso o sensor seja submetido a uma iluminância de 150Klux, com a utilização do filtro nº2, essa iluminância baixaria para 34,73Klux, valor suportado pelo sensor de 100Klux do BABUC-M.

Optou-se pelo filtro de nº2, que apresentou resultado com elevado grau de satisfação, quando comparado com o filtro de nº1, que não seria capaz de alcançar valores de até 150Klux obtidos no verão.

## **4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

A parte experimental da pesquisa foi colocada em prática no dia 17 de março de 2006, em um terreno da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp.

### **4.1 Dificuldades encontradas**

No quarto dia de medição, 21 de março de 2006, o mau tempo, seguido de temporal, no município de Campinas, interrompeu as medições do instrumento, o que acarretou a total perda de dados, além de ocasionar falha em um dos sensores instalados no interior do protótipo, sensor nº2.

O problema foi solucionado imediatamente, com a substituição do sensor nº2 pelo sensor nº8 (sensor reserva) e os registros de dados foram reiniciados. Conforme citado anteriormente, o aparelho BABUC-M (registrador de iluminâncias) possui capacidade para registrar 23 dias consecutivos, com intervalo de 15 minutos por registro.

Decorridos quatro dias do reinício das medições - 25 de março de 2006 - um novo defeito foi detectado: pôde-se constatar que um dos sensores encontrava-se solto

no interior do protótipo. Além disso, em algum momento, o registrador de dados sofreu uma falta de energia, registrando um dia e recomeçando a marcar em “looping”, não registrando nenhum dado.

Tentando evitar esses transtornos, o protótipo e o registrador foram montados sob uma estrutura de ferro, visando dificultar o acesso de pessoas não ligadas à pesquisa. Além disso, o experimento foi cercado com fita de proteção zebra, justamente para que fosse evitado qualquer contato com a caixa onde foi instalado o aparelho registrador, o qual é conectado em oito cabos, que podem ser desprendidos, caso não sejam manuseados adequadamente (figura 38).



**Figura 38** - Proteção do aparelho registrador, posicionado no interior de uma caixa isolante.

**Fonte:** Autor, 2006.

Existem situações em que esses imprevistos podem ocorrer. Uma suspeita sobre o acontecido é o fato de o gramado do local, onde se encontrava o protótipo, ter sido aparado nesse período, inclusive embaixo da estrutura. Com relação à falta de energia, suspeita-se de um possível mau contato da fonte, resultado de manuseio inadequado ou queda de energia na rede.

Devido a esses imprevistos, as medições não forneceram dados satisfatórios que pudessem ser utilizados no mês de março.

Para evitar que todos os dados fossem perdidos, a coleta dos registros passou a ser feita diariamente. No dia 26 de março, programou-se o aparelho novamente, mas, no dia seguinte, ao descarregar os dados, foram observados novos problemas. Devido à falta de energia, o BABUC – M interrompe o registro das informações daquele momento, retornando a fazê-lo, assim que a alimentação da rede retorna. Porém, se o período entre uma queda e a outra for inferior à taxa de aquisição dos dados (15 minutos), ele simplesmente não registra valores. Esse fenômeno ocorreu de forma imprevisível, visto que, em um período de um dia, pôde-se verificar a marca excessiva de 98 vezes.

O aparelho foi levado ao laboratório e submetido a diversos testes, durante o período de uma semana. Foram feitos testes de oscilação de tensão e de queda de energia, mas o equipamento respondeu perfeitamente a todas as análises. Além disso, verificou-se a ocorrência de quedas ou oscilações de energia no quadro de força da Faculdade de Engenharia Civil, porém nada foi detectado.

No dia 03 de abril, o aparelho foi remontado no campo e, no dia seguinte, o registrador foi retirado para que os dados fossem descarregados. Notou-se, então, uma total falta de resposta do aparelho, pois o mesmo não reconhecia mais os sensores. O aparelho foi levado ao laboratório e, mediante consulta em seu manual, realizaram-se inúmeras tentativas de conserto.

Como alternativa, tentou-se trocar o número original, constante de seu manual de registro, obtido logo após sua compra, sendo adotado o número de registro de fábrica. Felizmente o resultado foi satisfatório e os sensores novamente foram reconhecidos.

No dia 12 de abril, após a remontagem do BABUC-M em campo, o mesmo reconheceu os sensores, realizou as medições e descarregou os dados, porém, novamente o equipamento se comportou de maneira estranha: os registros foram realizados como se, a cada horário (intervalo de 15 minutos), uma nova medição fosse reiniciada. Além disso, um dos valores não foi registrado e dois apresentaram resultados discrepantes.

O registrador foi mantido em laboratório para mais alguns testes, respondendo de maneira satisfatória a todos eles. Por esse motivo, foram apontadas como principais

responsáveis pelo mau funcionamento do aparelho as possíveis quedas de tensão do sistema.

Um dos laboratórios da Universidade possui um sistema de baterias que faz parte de uma estação climatológica. Com o intuito de solucionar essa suposta falha de energia, testou-se um esquema com essas baterias, porém ele não funcionou satisfatoriamente.

Na tentativa de identificar a responsabilidade dos erros causados pela falha no suprimento de energia, o aparelho foi submetido a uma simulação igual à realizada no experimento, com a programação de início e término para realização dos registros. Após um período de quatro dias, verificou-se perfeição dos resultados em ambas as voltagens (110 e 220Volts).

No dia 26 de abril, após a aquisição de um “No Break” (figura 39), (sistema capaz de suprir a falta de energia), o experimento foi novamente submetido a testes no laboratório de conforto da Unicamp e no dia 04 de maio foi montado em campo e posto em operação juntamente com o “No break”



**Figura 39** - No Break.

**Fonte:** Autor, 2006.

Os resultados das medições, com a ajuda do “No Break”, não apresentaram sucesso, pois o aparelho não possui capacidade para iniciar seu funcionamento nos

intervalos de queda do BABUC-M, os quais são extremamente reduzidos e apresentam baixo consumo de energia.

Depois de diversas tentativas, para solucionar o problema de queda de tensão na rede que abastece o aparelho, no dia 12 de maio adquiriu-se uma bateria recarregável, utilizada em uma estação climatológica da Unicamp. Como o BABUC-M funciona em 9V, montou-se um circuito eletrônico para baixar a tensão; essa redução foi possível com a utilização de uma peça chamada 7809 (figuras 40A, B, C e D).



(A)



(B)



(C)



(D)

**Figura 40 - (A, B, C e D):** Circuito com bateria.

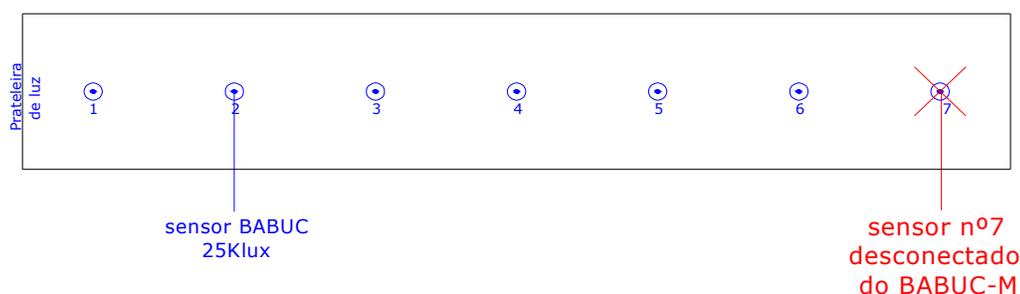
Fonte: Autor, 2006.

No dia 22 de maio, o circuito foi considerado adequado para ser instalado em campo. Essa decisão foi tomada após três dias consecutivos de testes em laboratório. Dois dias depois, verificou-se que o aparelho não havia realizado nenhum registro de iluminância, porém a bateria permanecia com sua capacidade máxima (100% de carga).

Surgiram dúvidas quanto à origem do problema estar ou não localizado na rede de abastecimento de energia. Na tentativa de solucionar o problema, um dos sensores foi desconectado e verificou-se que o aparelho registrava perfeitamente. Concluiu-se que o problema não se concentrava na tensão e sim na capacidade de registro de dados por parte do instrumento. Ou seja, o aparelho encontrava-se sobrecarregado, com os oito registros anteriores.

Mais tarde, constatou-se um defeito do BABUC-M e que, infelizmente, o mesmo não poderia ser solucionado em curto prazo, uma vez que o representante da marca encontra-se instalado na Itália e não seria viável a interrupção da pesquisa para sanar o problema do referido equipamento.

Em vista do ocorrido, desconectou-se o sensor de nº7, instalado no fundo do protótipo, como pode ser observado na figura a seguir (figura 41).



**Figura 41** - Sensor nº7 desconectado.

Fonte: Autor, 2006.

## 4.2 Análise dos dados experimentais

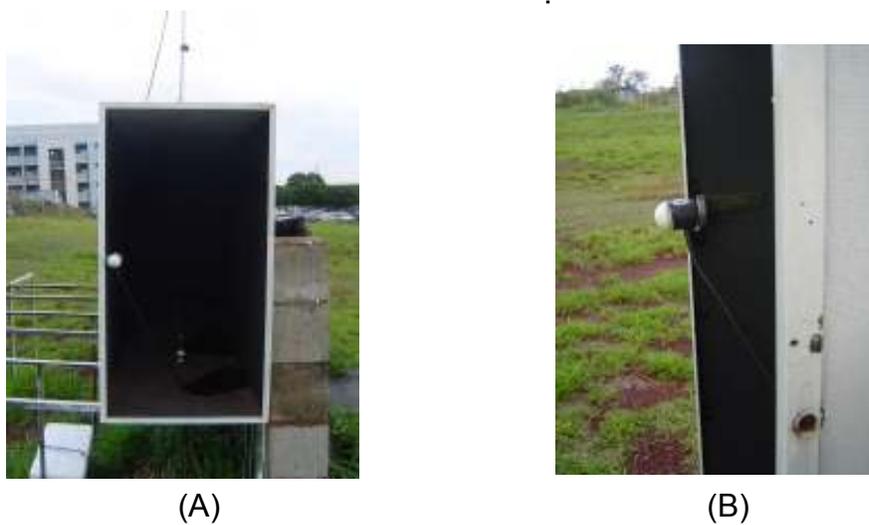
### 4.2.1 Introdução

Neste capítulo, foram realizadas as análises luminosas, a partir dos resultados experimentais (razão entre iluminância vertical e horizontal sob condições de céu real – FLD\*) dos sete sistemas selecionados na metodologia (item 3): abertura lateral livre, com PL espelhada horizontal, com PL branca horizontal e com PL de diferentes inclinações (10°, 20°, 30° e 10°20°30°).

A prateleira branca com inclinação 10°20°30° recebeu as seguintes características:

- seis prateleiras mais profundas - ângulo de inclinação 10°;
- seis prateleiras centrais - ângulo de inclinação 20°;
- cinco primeiras prateleiras – superiores - 30° de inclinação;

Além disso, foi realizada a análise do desempenho das medições, comparando-se os valores experimentais, o sensor externo na horizontal e o sensor faceando o protótipo na direção Norte, com o disponível no software DLN (figura 42A e 42B).



**Figura 42 - (A e B):** Sensor vertical faceando o protótipo na direção Norte.

**Fonte:** Autor, 2006.

Atualmente, existe grande diversidade de sistemas que utilizam a luz direta do sol como fonte de iluminação natural, porém todos eles, apesar de apresentarem semelhanças em seu funcionamento, dependem das condições externas, que variam para cada local.

É importante lembrar que os sistemas foram expostos a ângulos de incidência de radiação solar na direção Norte, podendo cada resultado luminoso (iluminância horizontal interna) variar com a época do ano, acompanhando a inclinação do sol.

A pesquisa experimental analisou o desempenho de cada sistema de forma comparativa e com o auxílio de gráficos, facilitando, assim, o entendimento dos resultados.

Primeiramente foram realizadas análises luminosas isoladamente para cada sistema e, no final do capítulo, as conclusões foram obtidas a partir de comparações desses sistemas.

#### **4.2.2 Desempenho luminoso do sistema de abertura lateral com PL**

A análise luminosa dos sistemas foi realizada com base nos seguintes fatores:

1. Admissão da luz no ambiente: o excesso de luz direta no interior do ambiente pode acarretar sensações adversas, muitas vezes desagradáveis, como o ofuscamento e deteriorização física dos materiais. Neste caso, o principal responsável pelo equilíbrio luminoso são os sistemas de iluminação adotados. Nesse item será analisado o aumento ou redução dos níveis de iluminância, em cada ponto no interior do ambiente.
2. Distribuição da luz natural no interior do ambiente: a má distribuição da luz natural pode causar, em um mesmo ambiente, locais com excesso ou deficiência de iluminação. Para análise desses resultados, foram utilizados os valores obtidos por cada um dos sistemas no intervalo de 11 horas (das 7 horas às 18 horas).

Conforme citado no capítulo referente à metodologia, as medições dos níveis de iluminância foram realizadas em um protótipo com uma única abertura direcionada para o Norte e com os valores obtidos sob condições de luz natural.

Os valores foram adquiridos no período de 24 horas e no intervalo de 15 minutos entre os registros, porém os valores utilizados na comparação equivalem ao período de atuação do sol das 7 horas da manhã às 6 horas da tarde, em intervalos de uma hora.

Foram realizadas medições durante 81 dias, entretanto por diversos imprevistos, apenas 61 dias foram analisados, ficando os dados distribuídos da seguinte maneira:

- Abertura lateral sem PL  
Dias 12 e 13 de julho de 2006 e no intervalo de 08 a 13 de junho de 2007;
- Abertura lateral com PL espelhada horizontal  
No intervalo de 14 a 18 de junho de 2006.
- Abertura lateral com PL branca horizontal  
De 26 a 28 de maio de 2006 e no intervalo de 17 a 21 de abril de 2007;
- Abertura lateral com PL branca 10°  
Dias 30 de junho e no intervalo de 01 a 09 de julho de 2007;
- Abertura lateral com PL branca 20°  
Dias 31 de julho e no intervalo de 01 a 06 de agosto de 2007;
- Abertura lateral com PL branca 30°  
No intervalo de 15 a 21 de agosto de 2007;
- Abertura lateral com PL branca 10°20°30°  
Dias 12, 13, 14, 16\* e 17\* de setembro de 2006 e 28\*, 29\*, 30 de abril e 02 de maio de 2007;
- Sensor horizontal externo e vertical faceando a direção Norte da maquete no intervalo de 08 a 13 de agosto de 2006 e de 20 a 24 de junho de 2007.

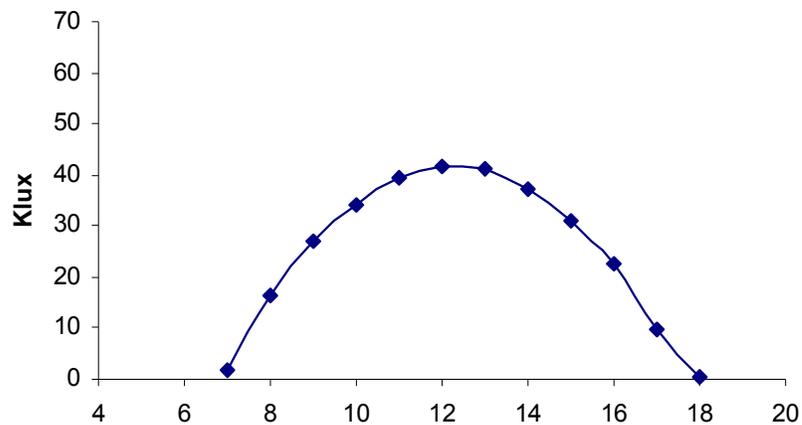
\*: utilizado para distinguir os dias que apresentaram valores insatisfatórios. Esses dias foram desconsiderados na análise dos resultados, juntamente com os dias em que o aparelho não registrou corretamente.

Inicialmente, foram elaborados gráficos individuais para cada dia de medição, originando um único gráfico, construído a partir da média dos valores, como pode ser visto a seguir. Tentando alcançar um resultado com elevado grau de satisfação, foram descartados os dias que apresentaram grande discrepância nos valores.

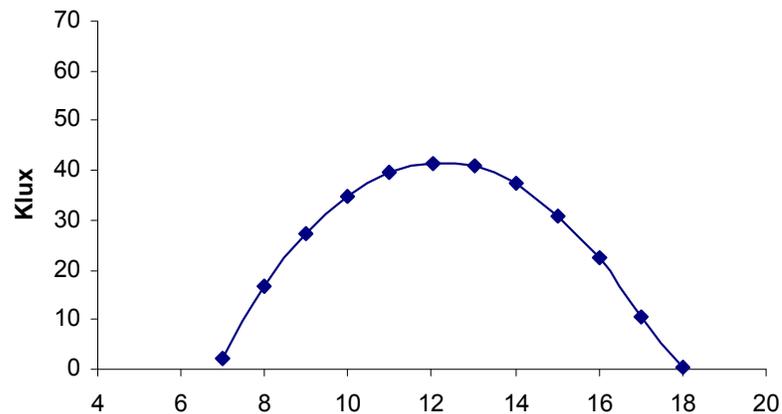
Em seguida encontram-se os gráficos das iluminâncias externas, para cada uma das situações, e os diferentes dias, chegando-se a média utilizada na análise dos resultados.

### A. Correspondentes aos dias que foram medidos sem Prateleira de Luz – Gráficos de Iluminância (Klux) X Horas (h)

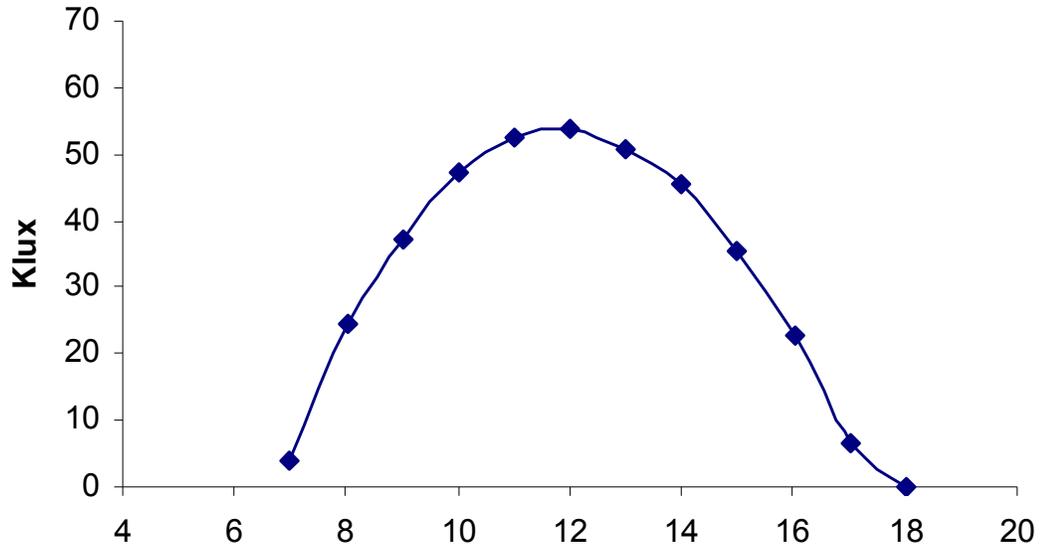
12/07/2006



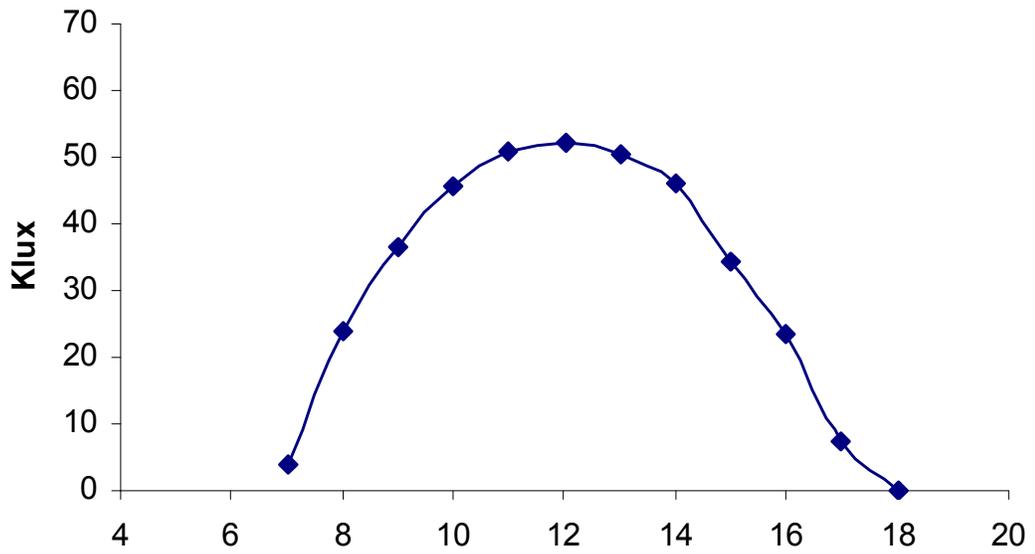
13/07/2006



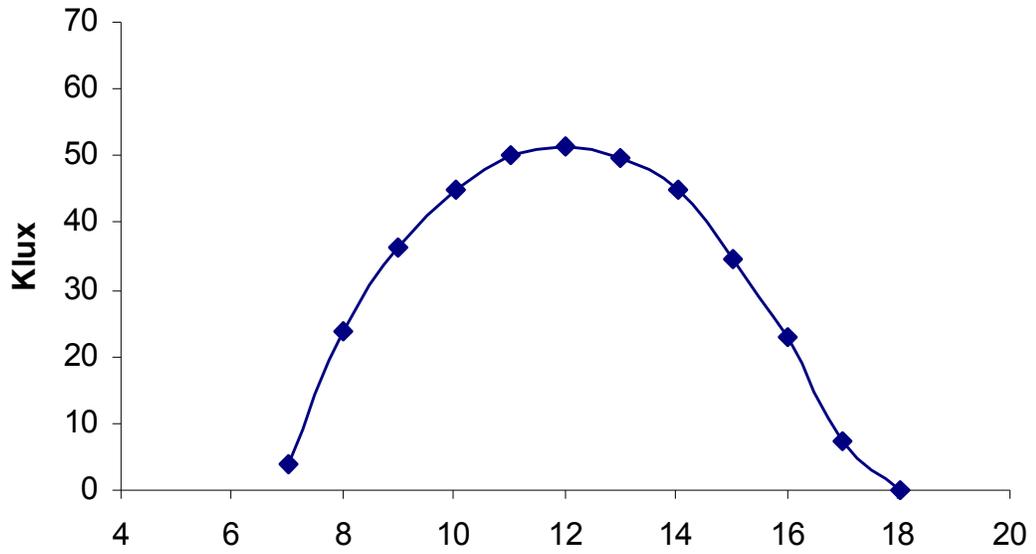
**08/06/2007**



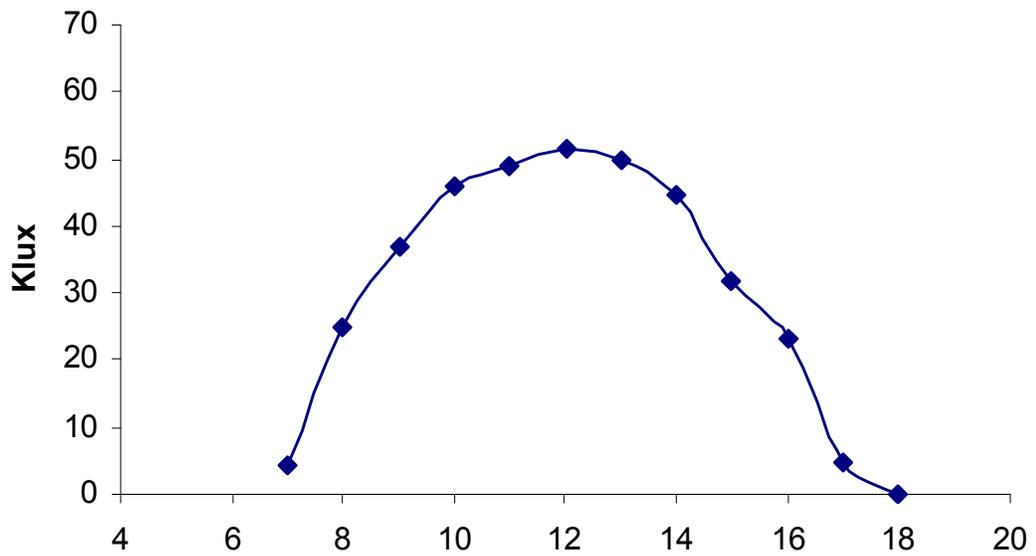
**09/06/2007**



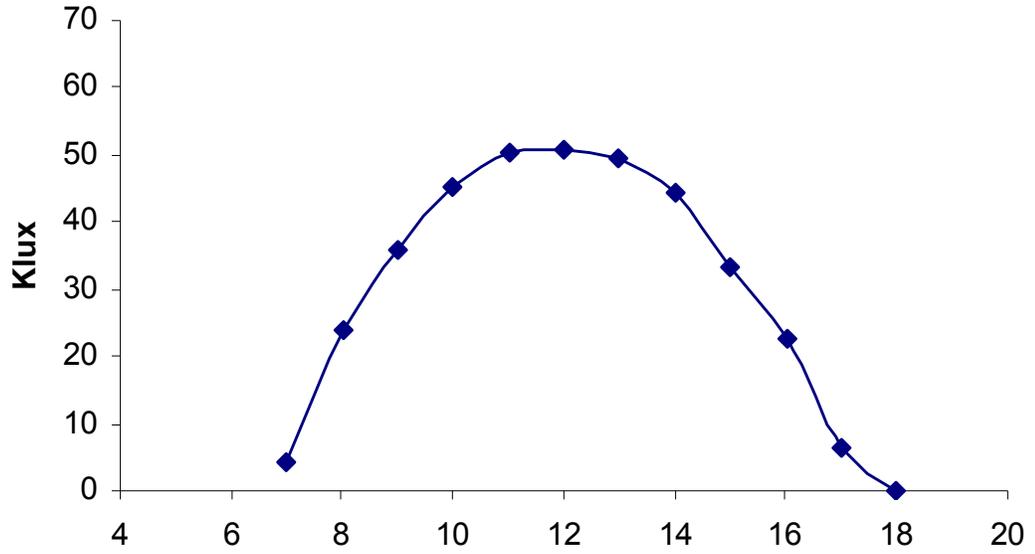
**10/06/2007**



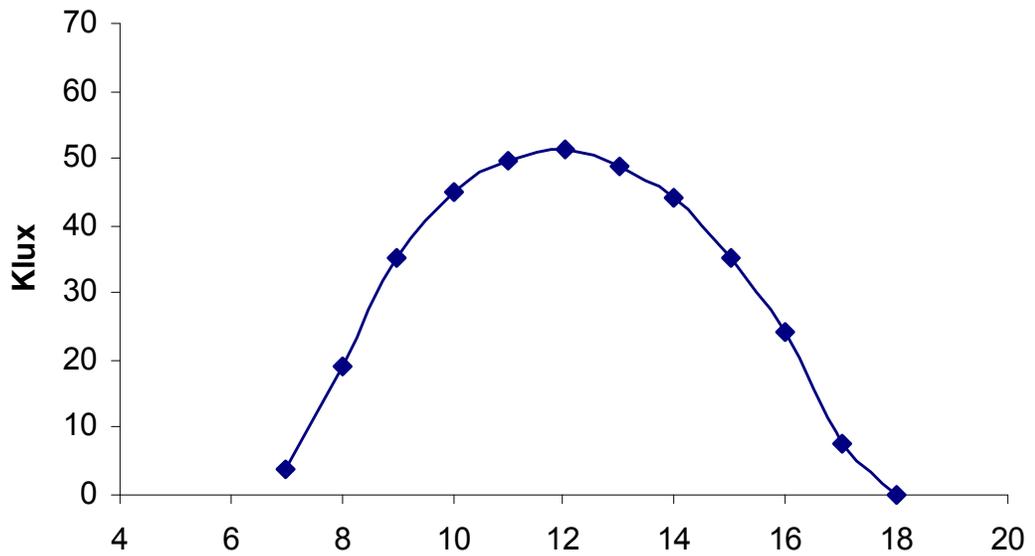
**11/06/2007**



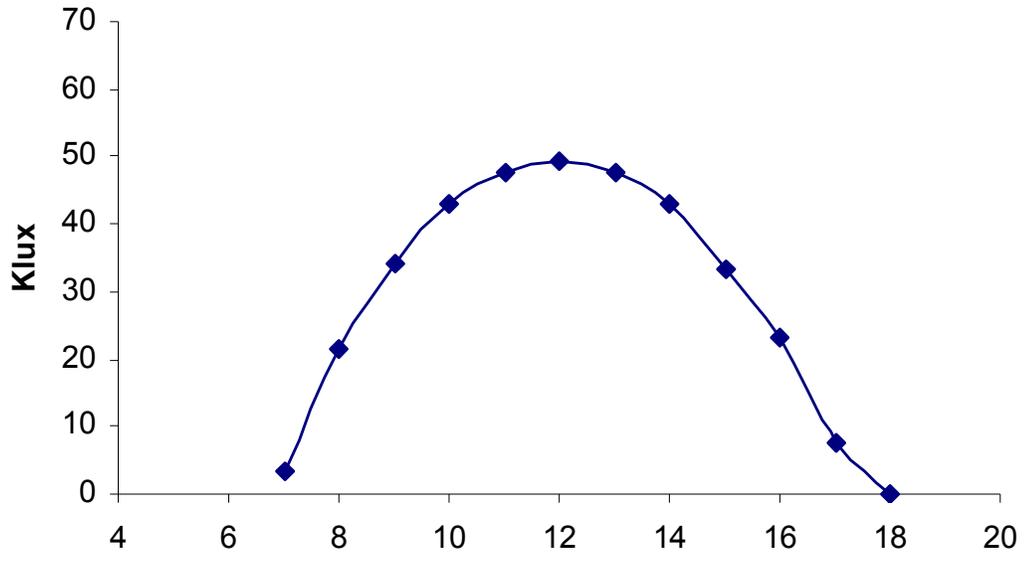
**12/06/2007**



**13/06/2007**

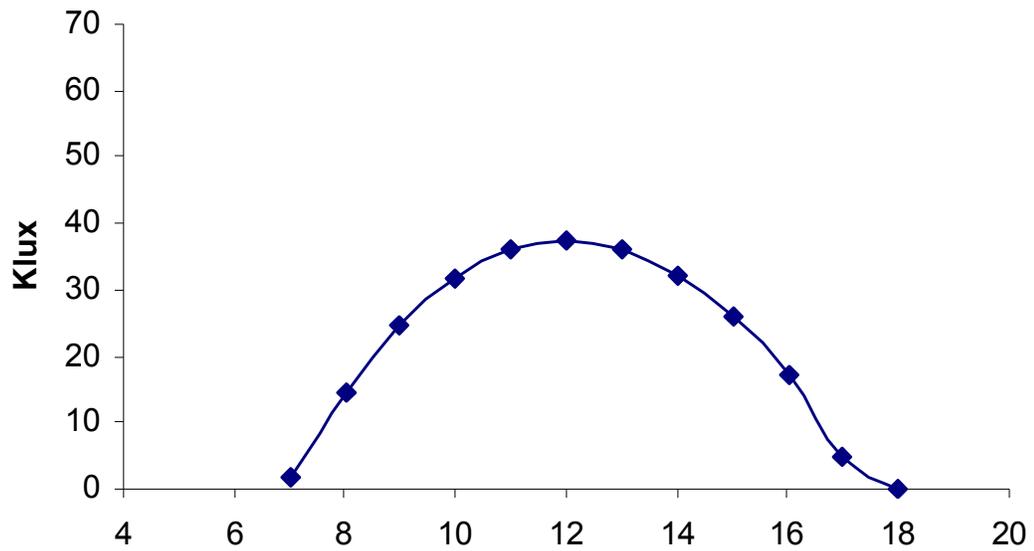


### Média

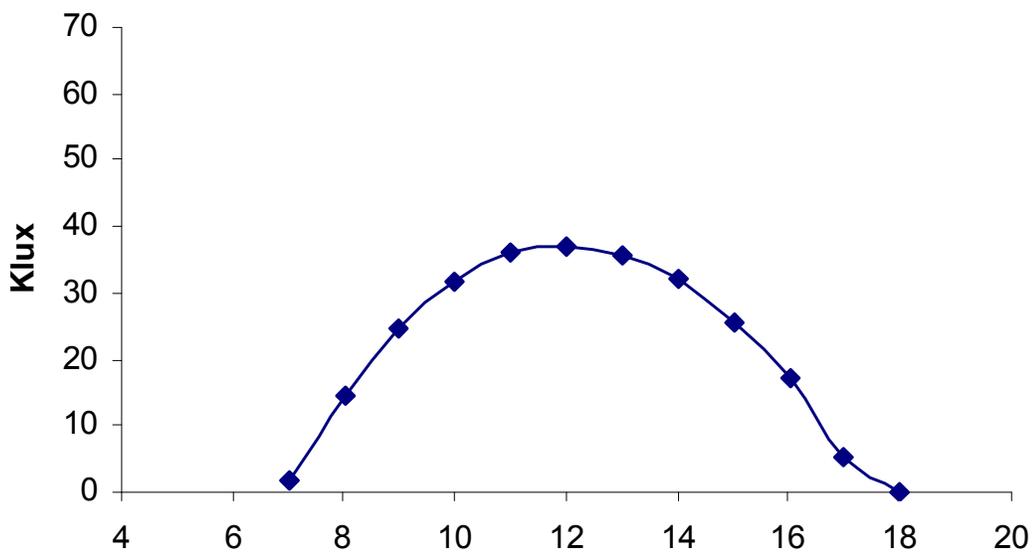


**B. Correspondentes aos dias que foram medidos com Prateleira de Luz  
Espelhada horizontal – Gráficos de Iluminância (Klux) X Horas (h)**

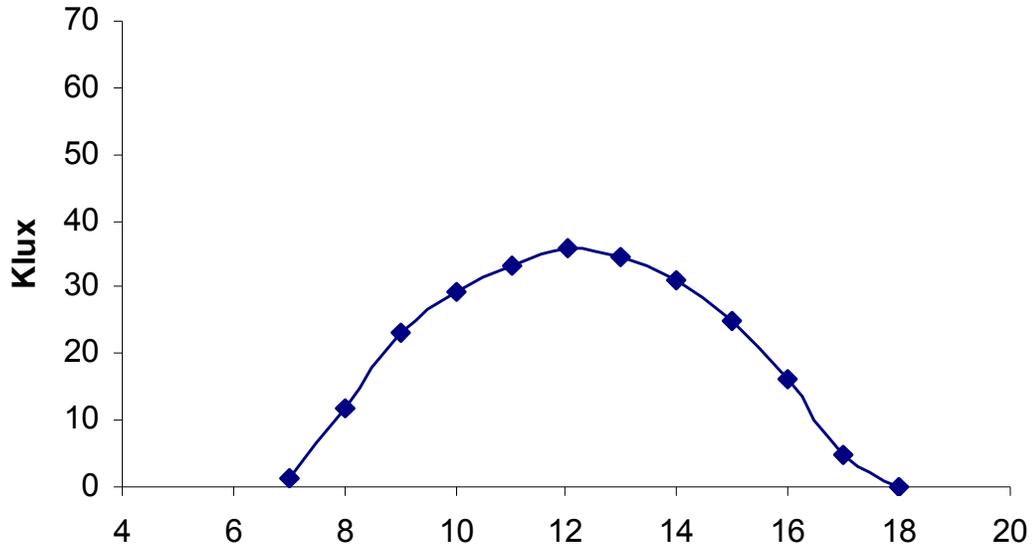
**14/06/2006**



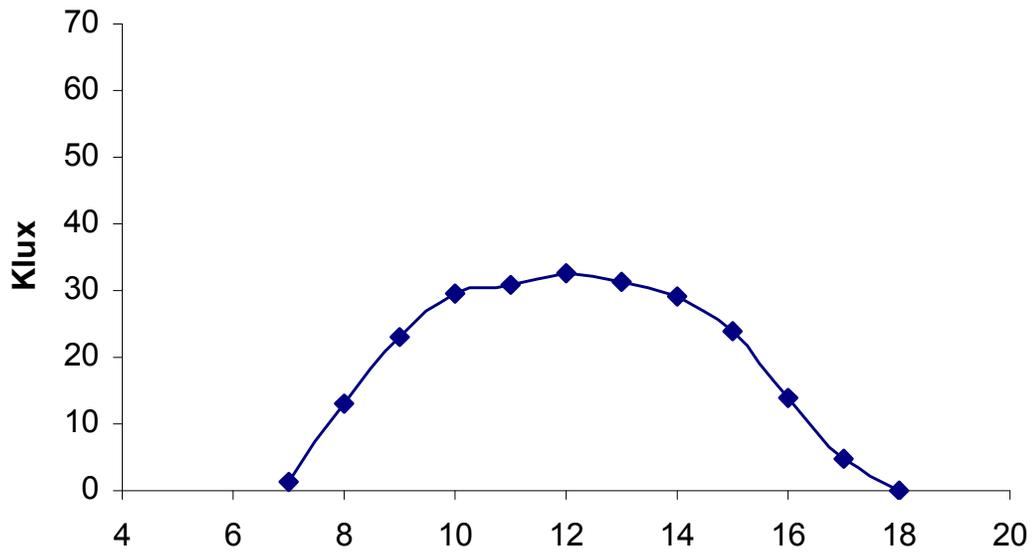
**15/06/2006**



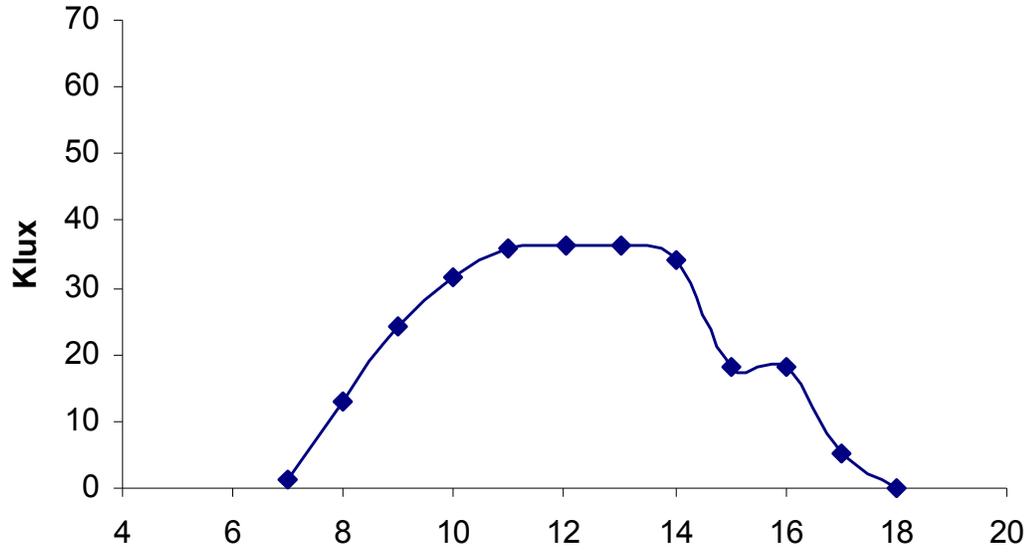
**16/06/2006**



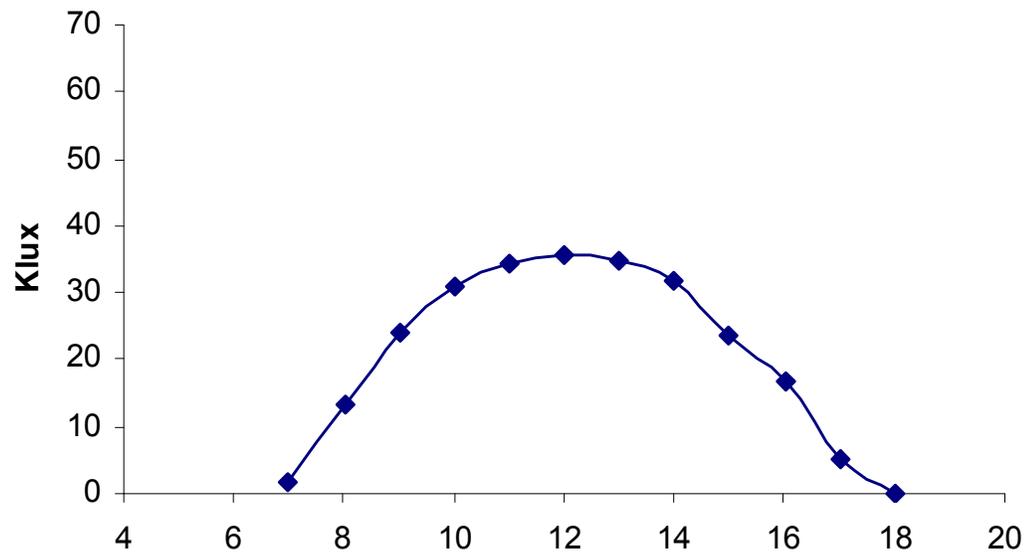
**17/06/2006**



18/06/2006

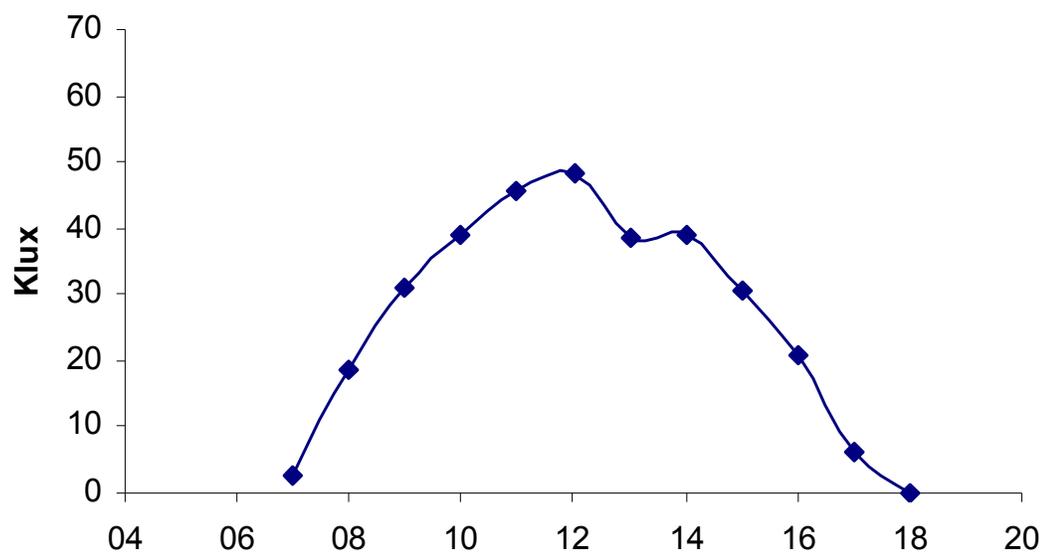


Média

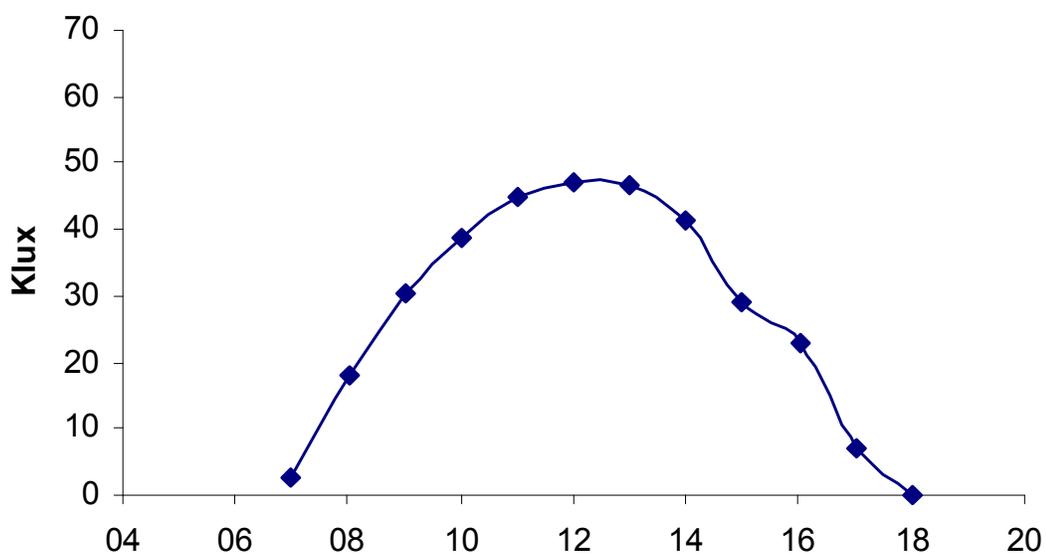


**C. Correspondentes aos dias que foram medidos com Prateleira de Luz Branca horizontal – Gráficos de Iluminância (Klux) X Horas (h)**

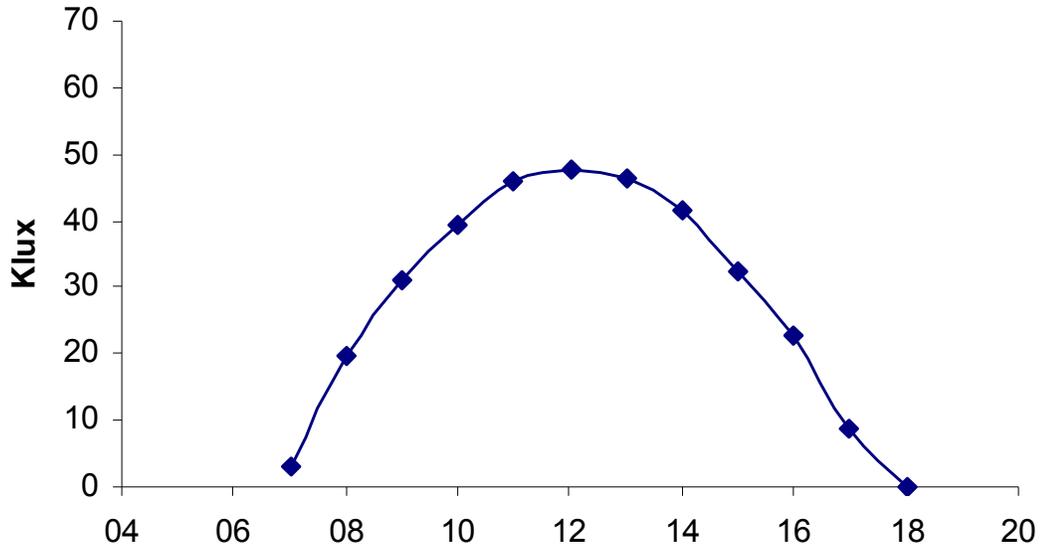
**26/05/2006**



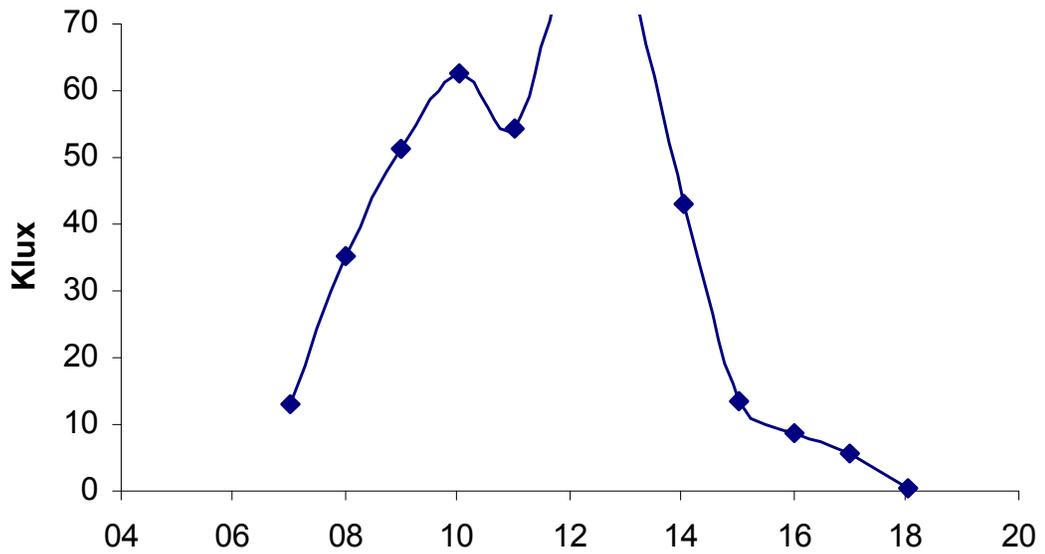
**27/05/2006**



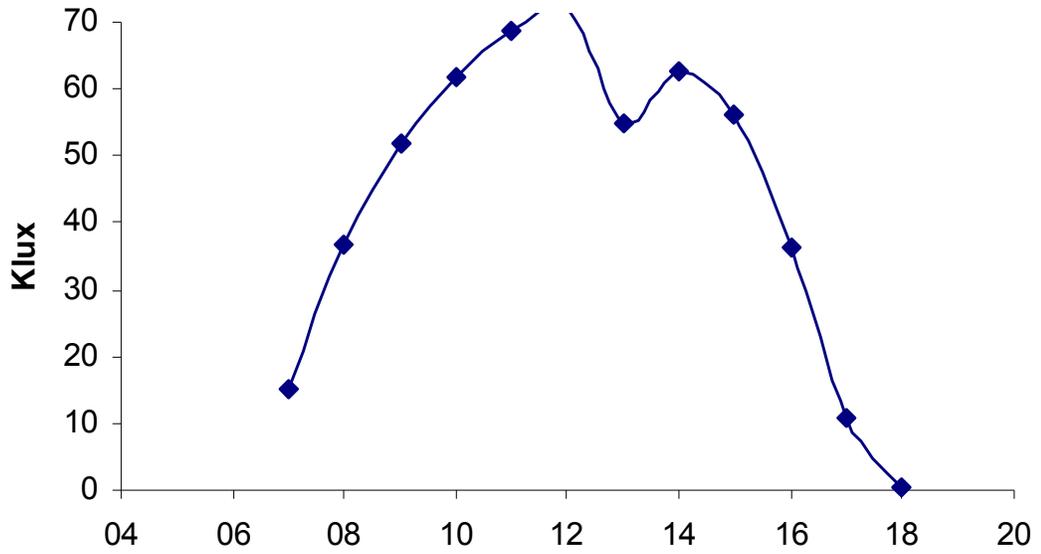
**28/05/2006**



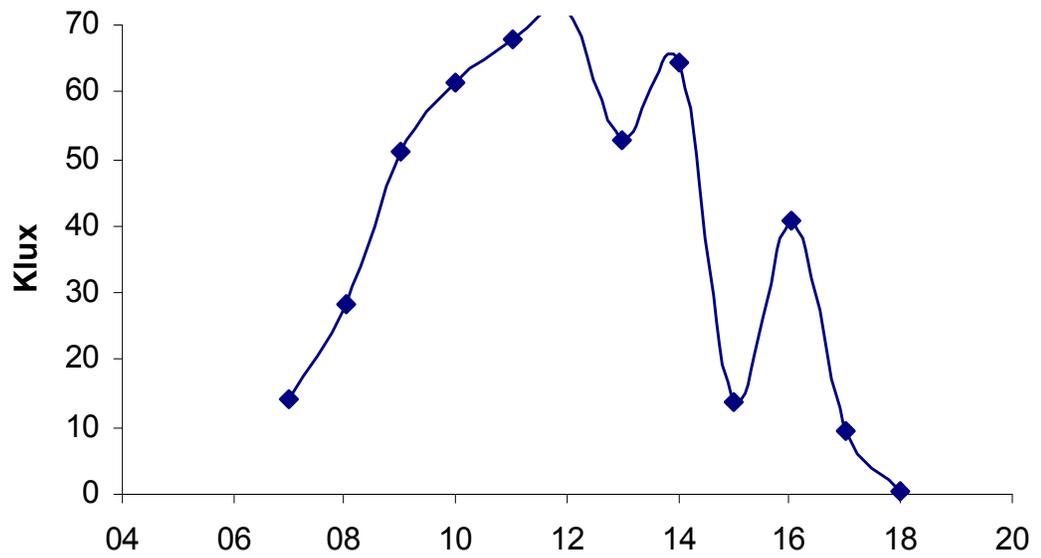
**17/04/2007**



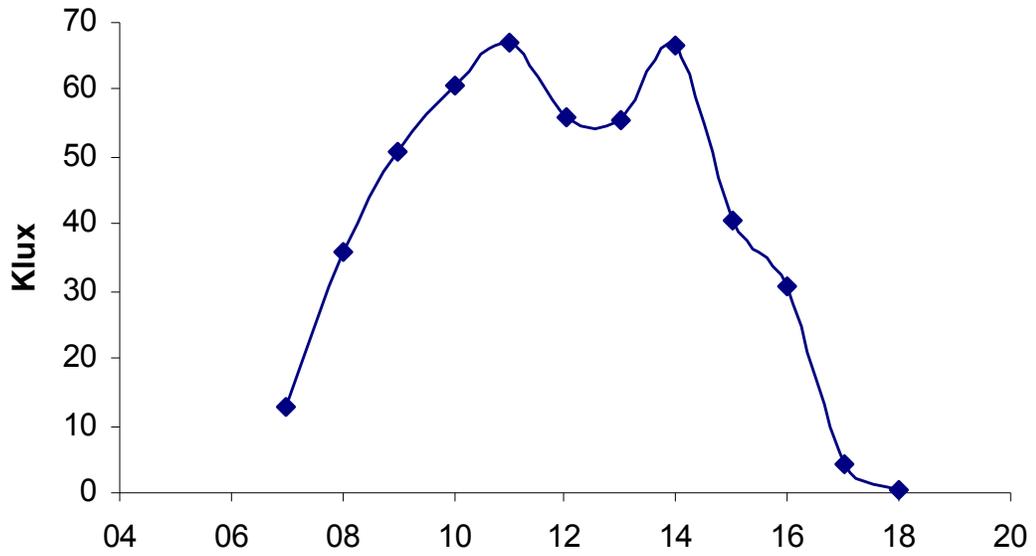
**18/04/2007**



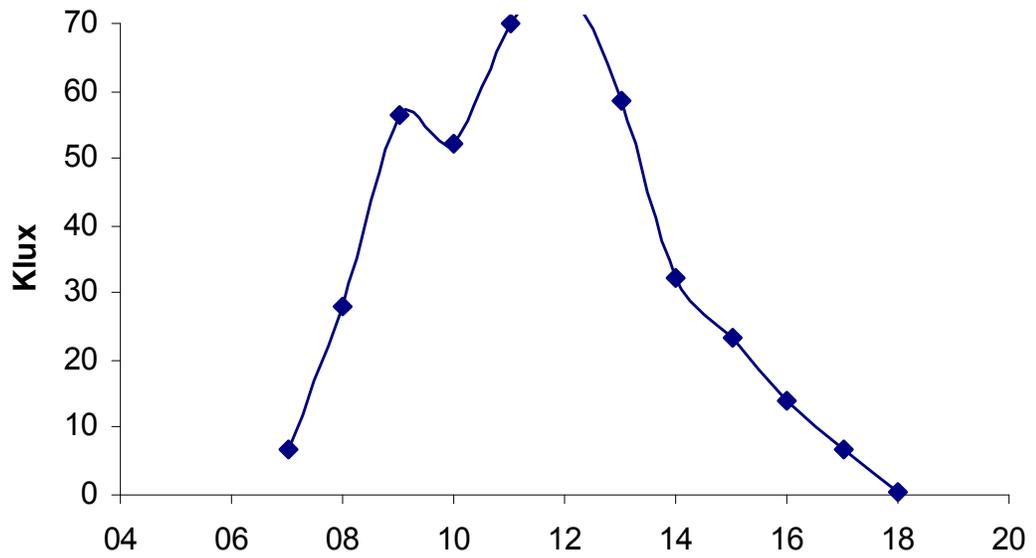
**19/04/2007**



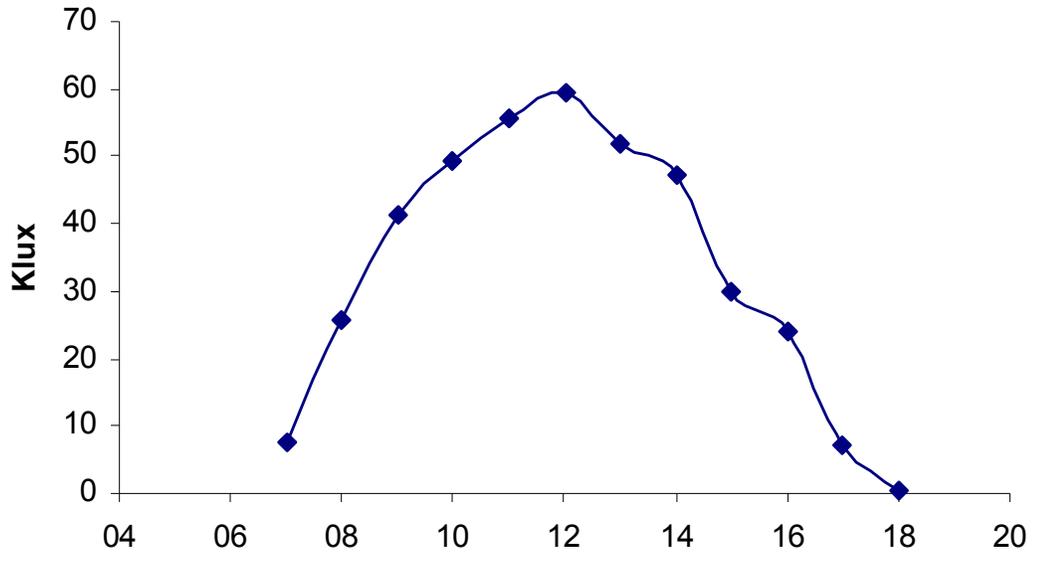
**20/04/2007**



**21/04/2007**

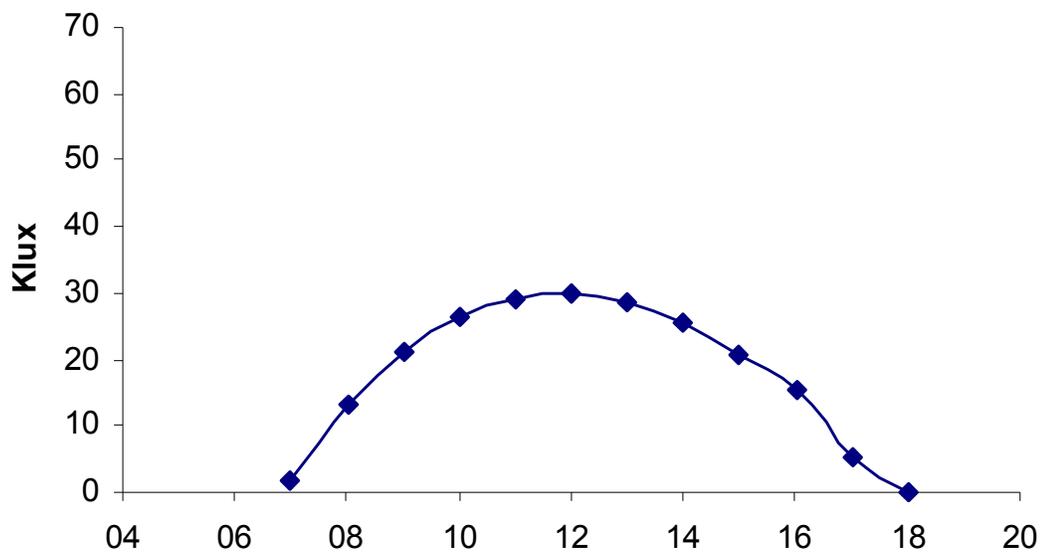


### Média

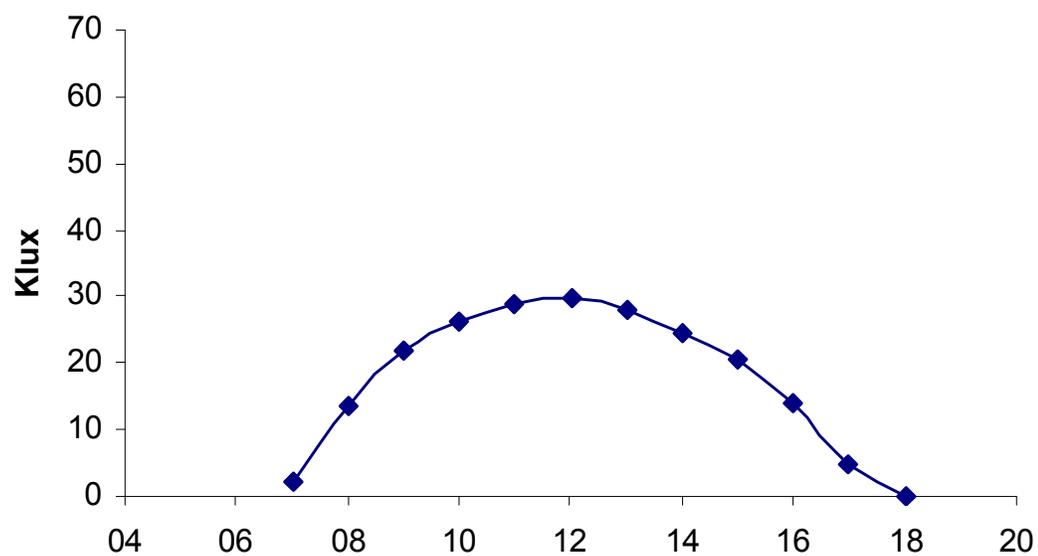


**D. Correspondentes aos dias que foram medidos com Prateleira de Luz Branca**  
**10° – Gráficos de Iluminância (Klux) X Horas (h)**

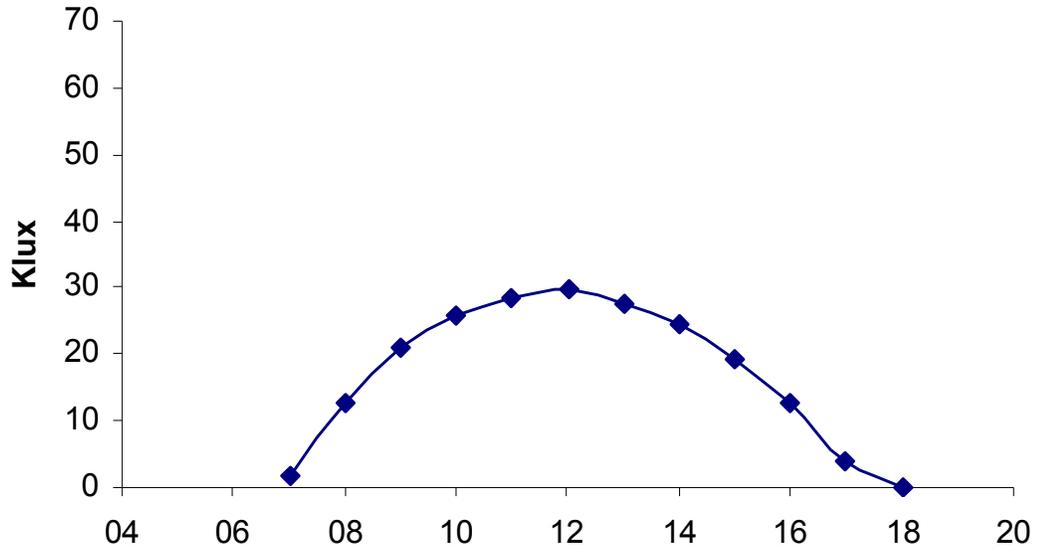
**30/06/2007**



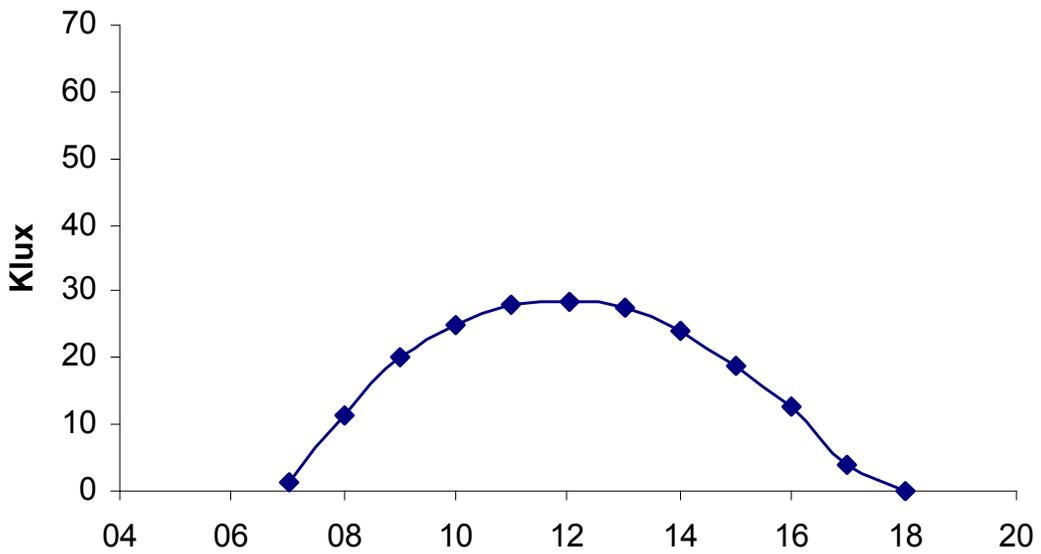
**01/07/2007**



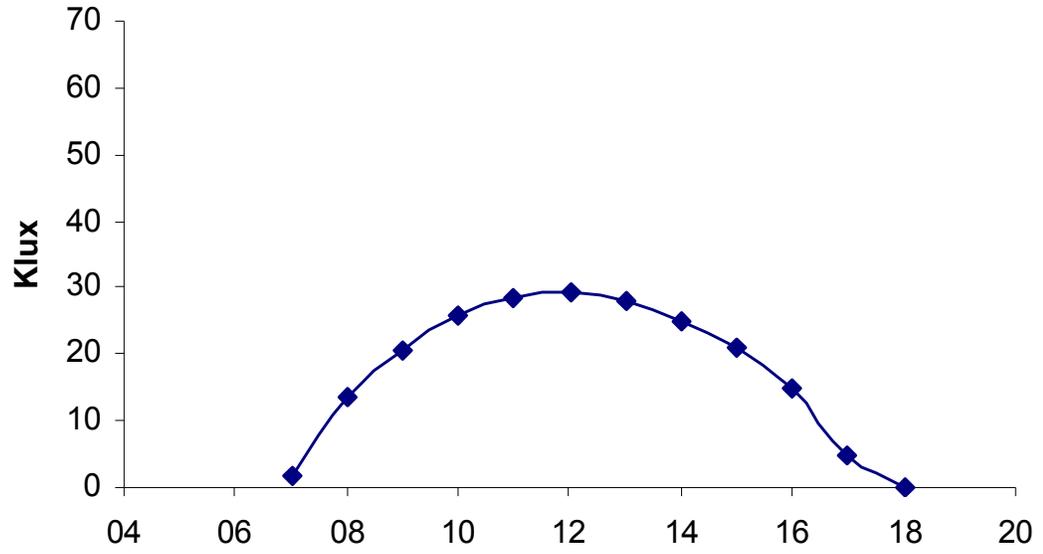
**02/07/2007**



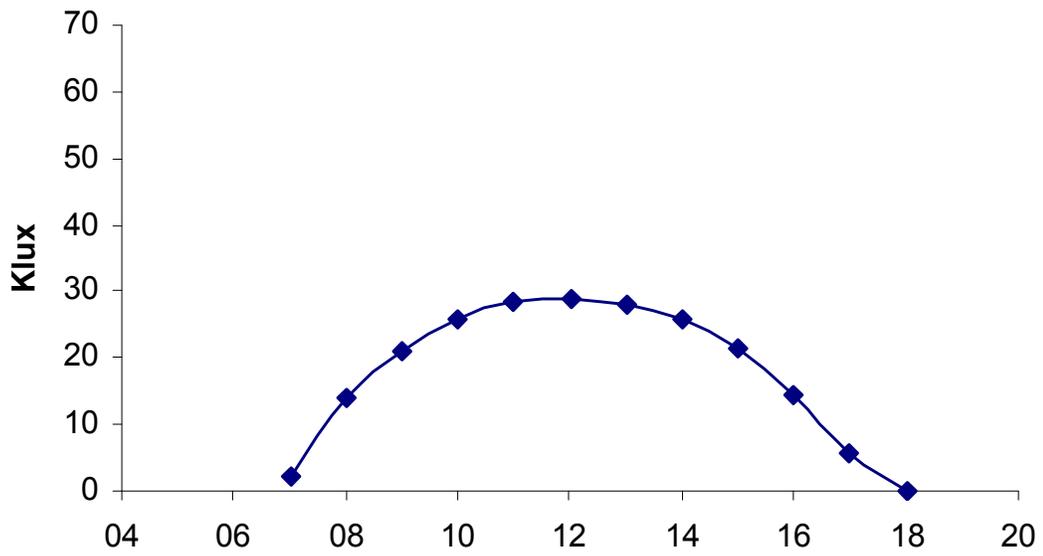
**03/07/2007**



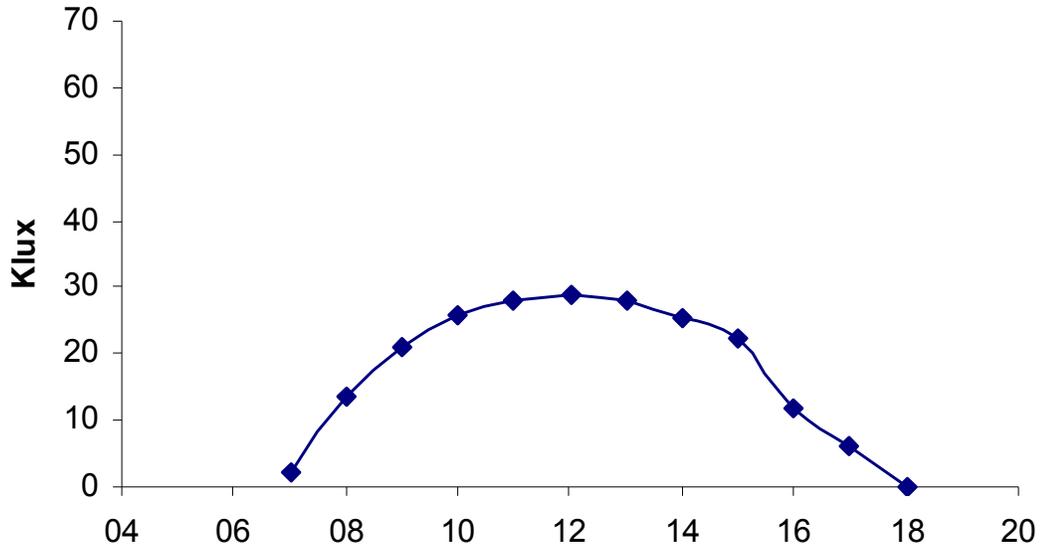
**04/07/2007**



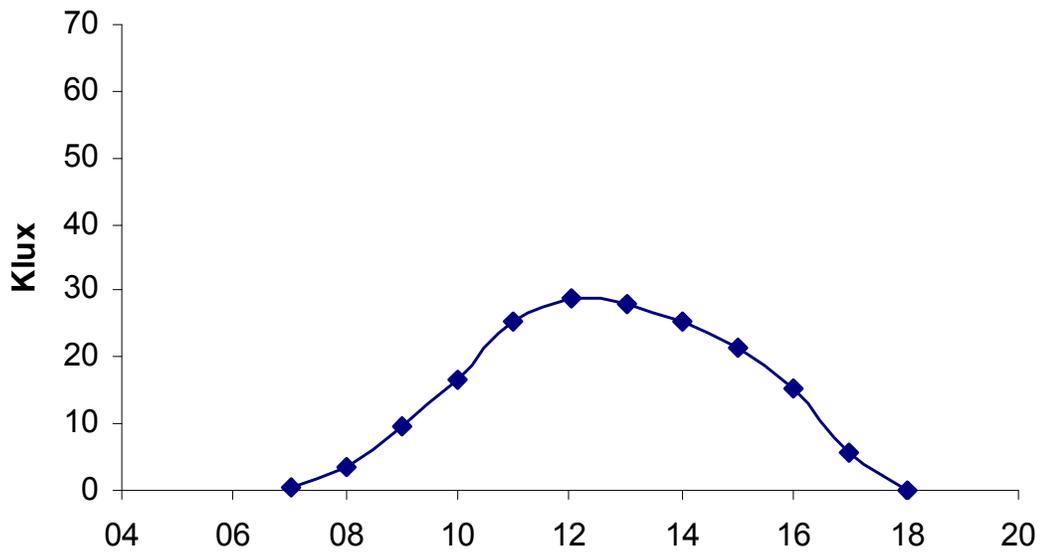
**05/07/2007**



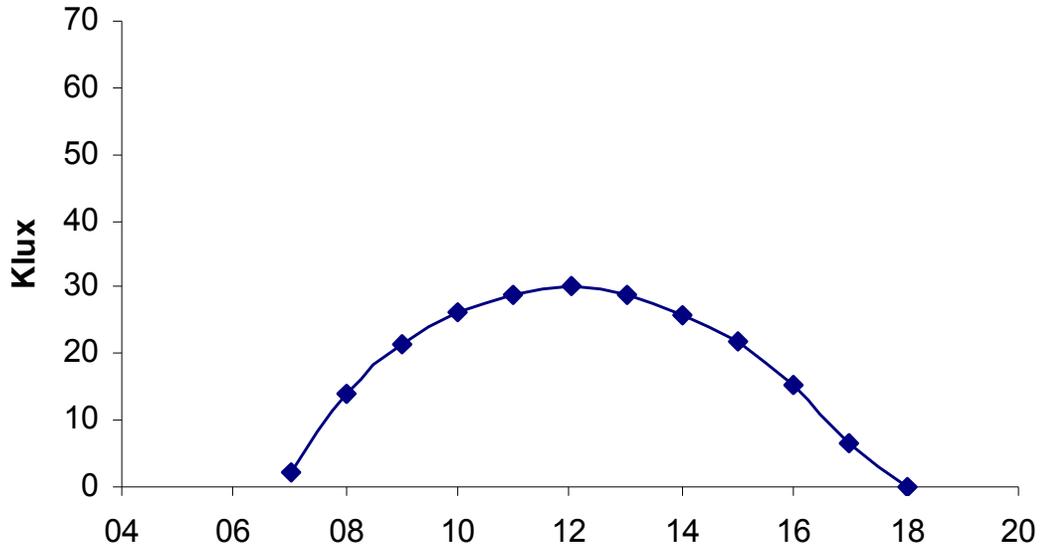
**06/07/2007**



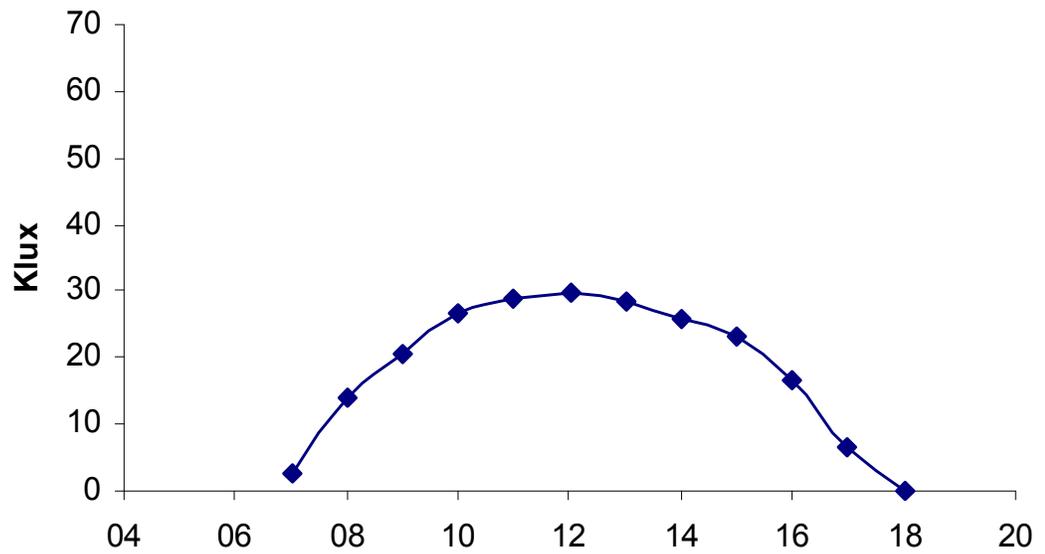
**07/07/2007**



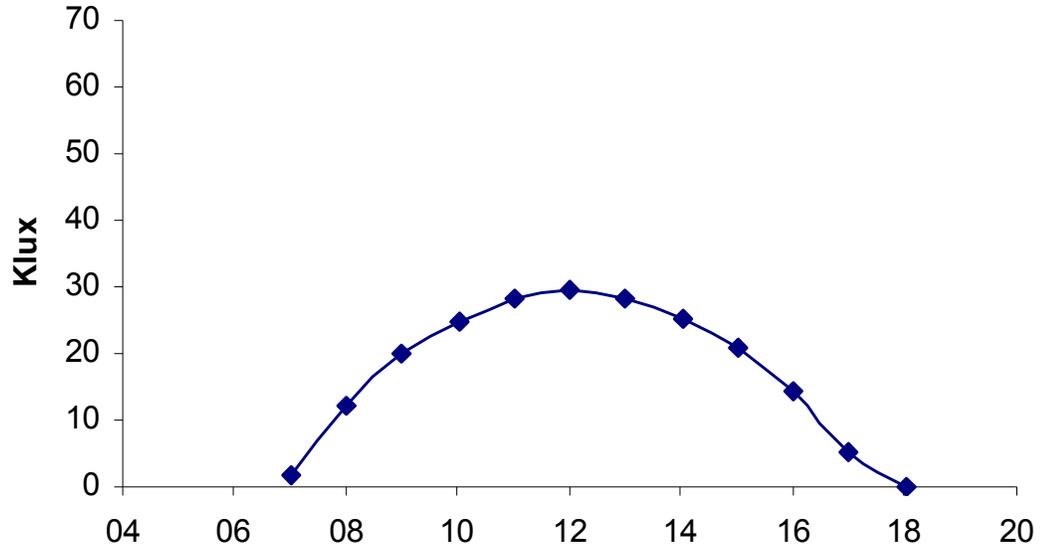
**08/07/2007**



**09/07/2007**

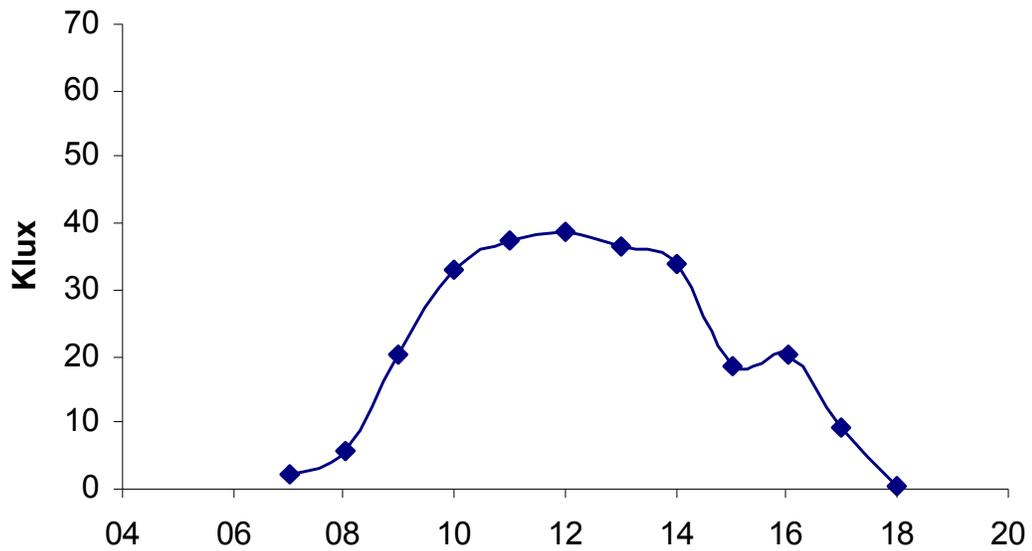


### Média

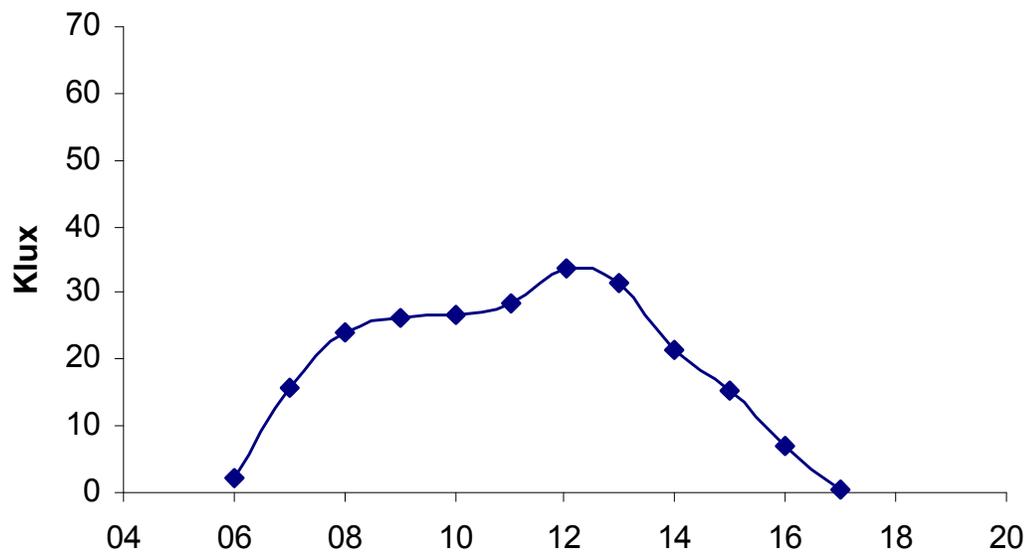


**E. Correspondentes aos dias que foram medidos com Prateleira de Luz Branca**  
**20° – Gráficos de Iluminância (Klux) X Horas (h)**

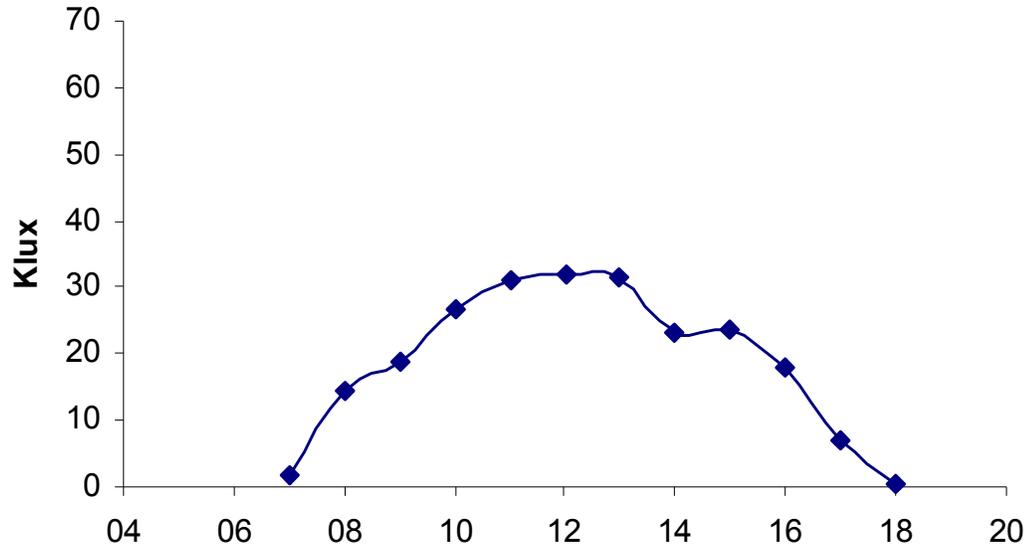
**31/07/2007**



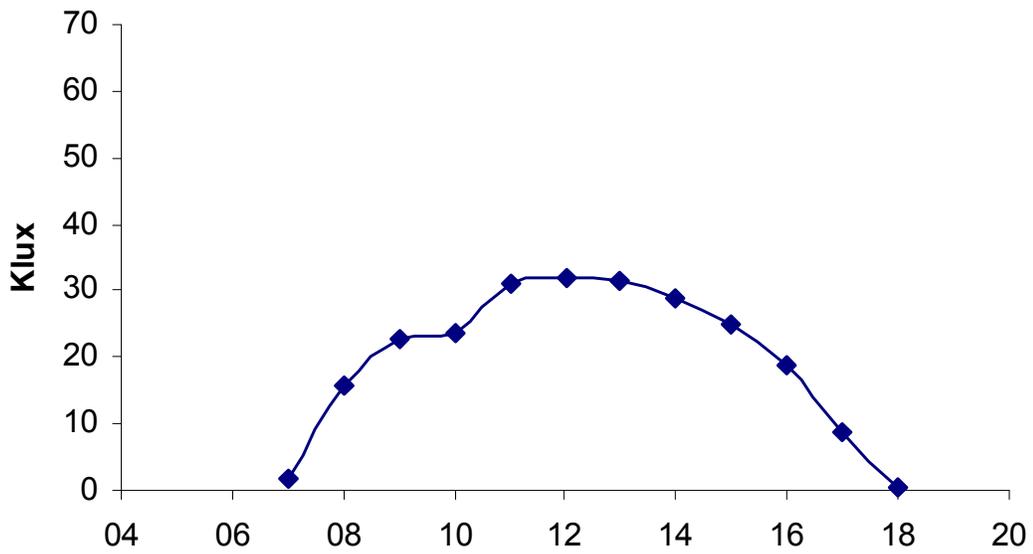
**01/08/2007**



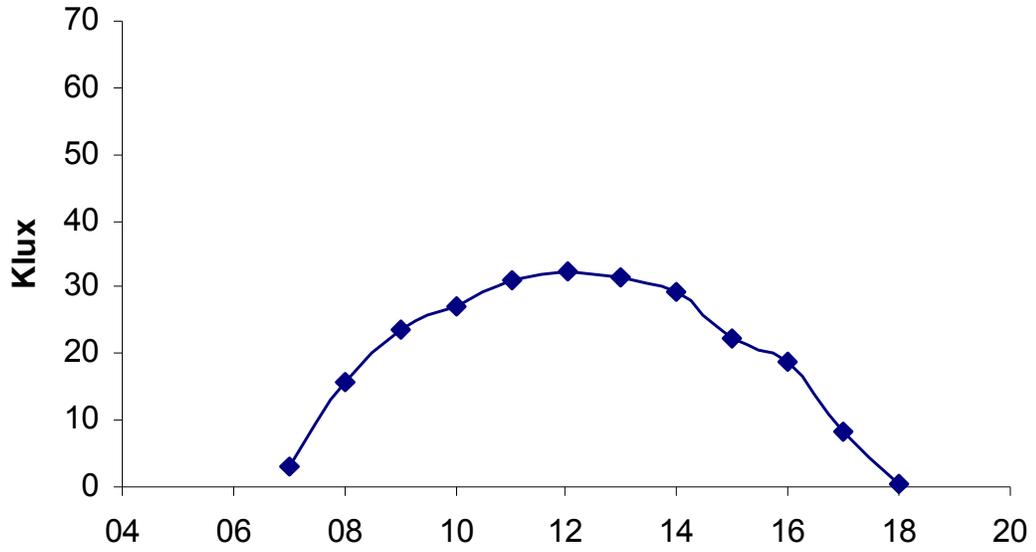
**02/08/2007**



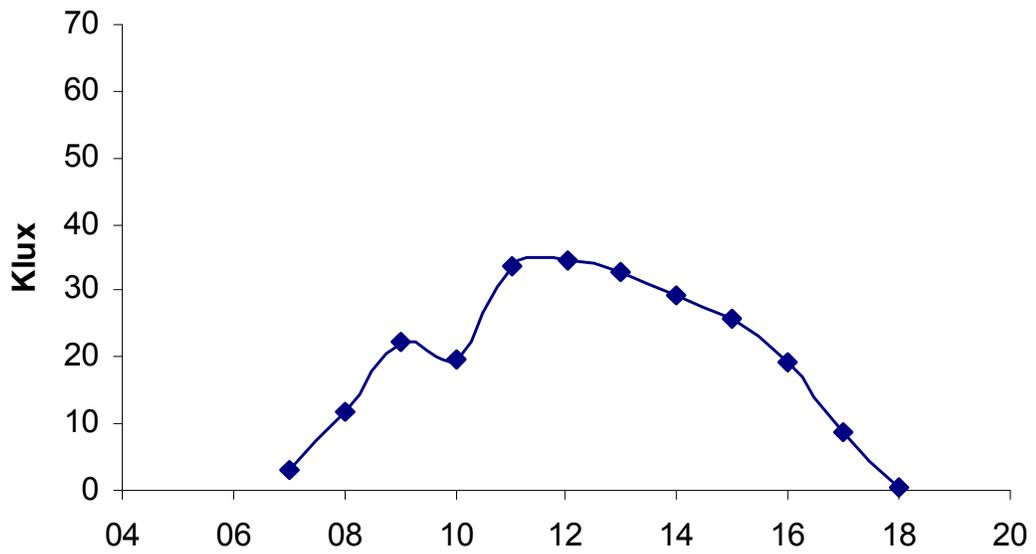
**03/08/2007**



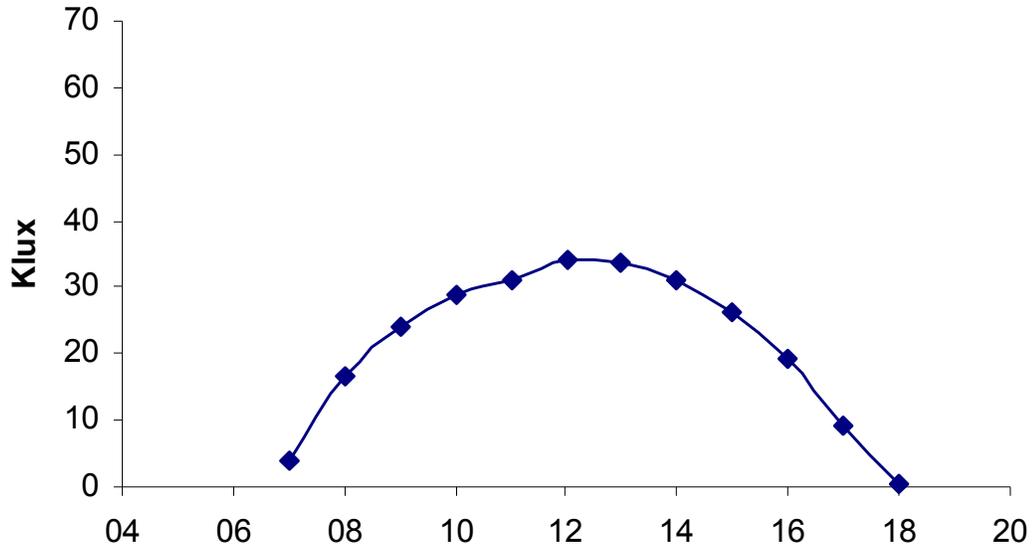
**04/08/2007**



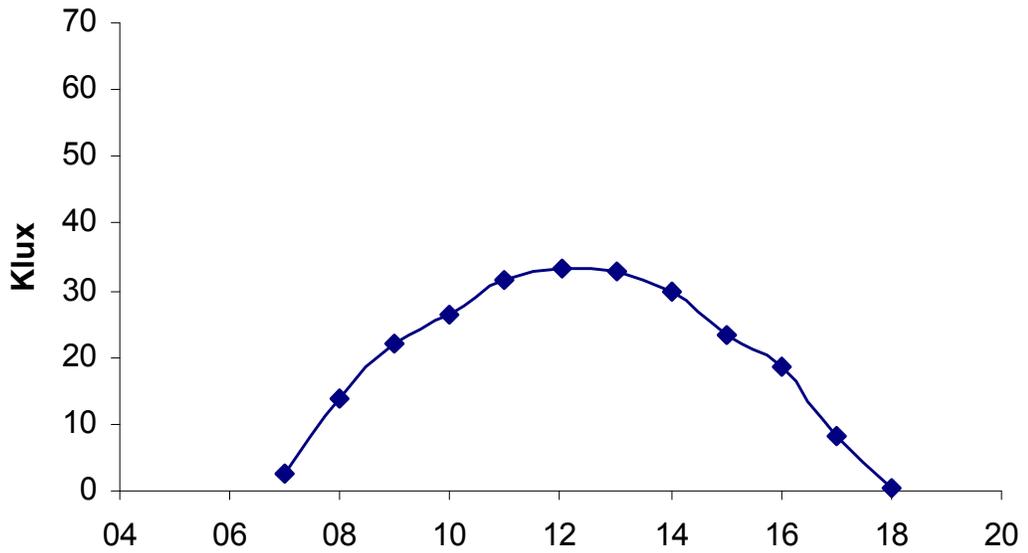
**05/08/2007**



06/08/2007

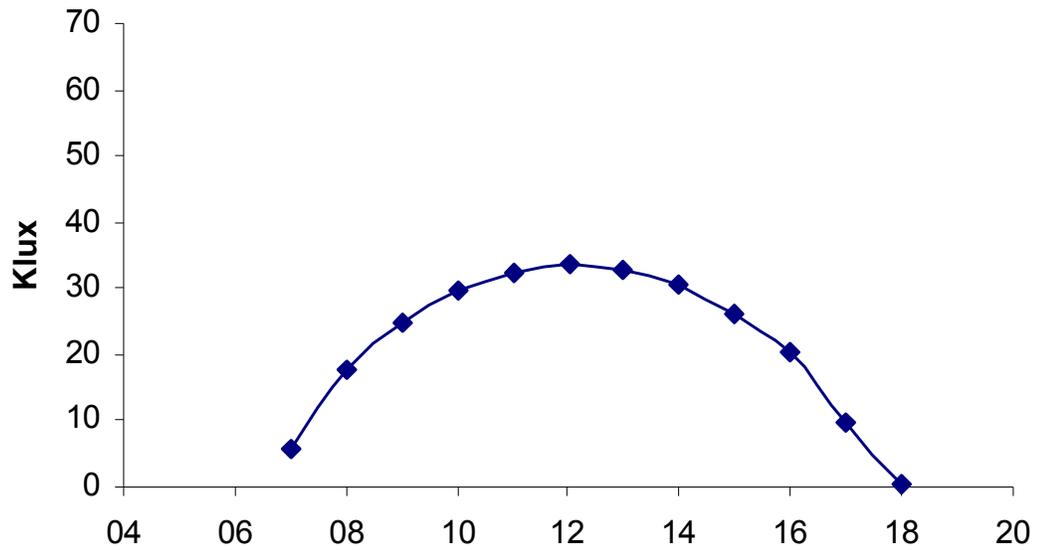


Média

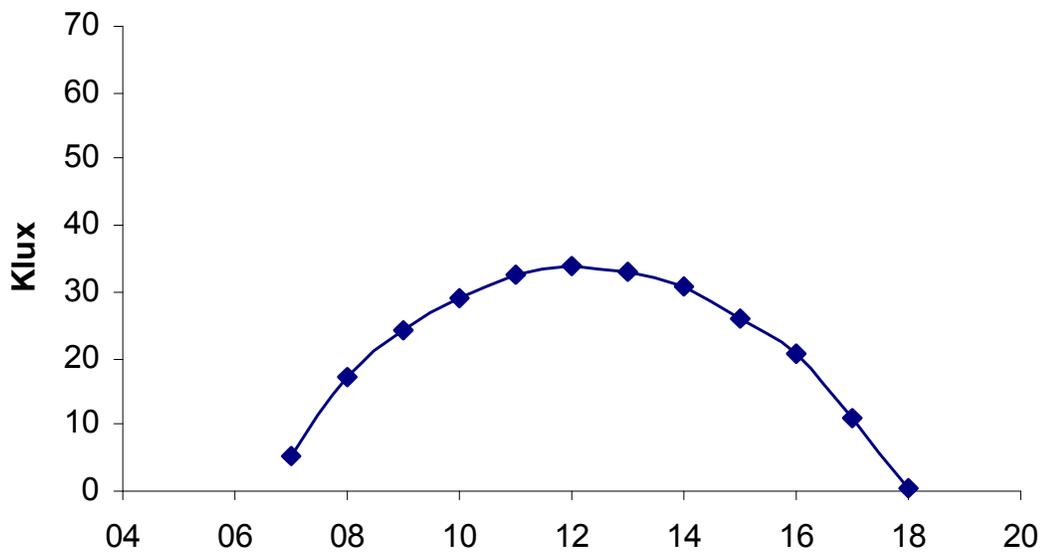


**F. Correspondentes aos dias que foram medidos com Prateleira de Luz Branca  
30° – Gráficos de Iluminância (Klux) X Horas (h)**

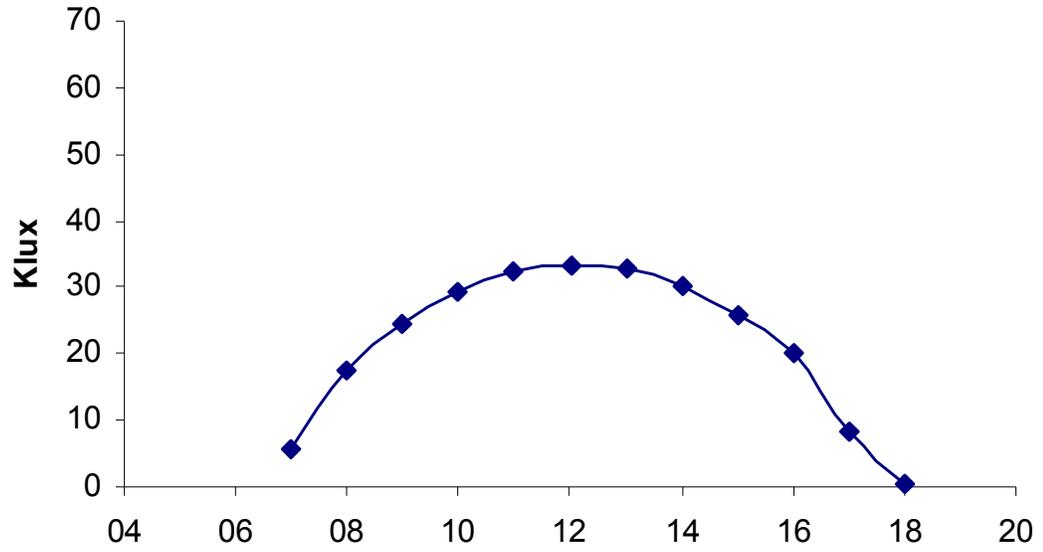
**15/08/2007**



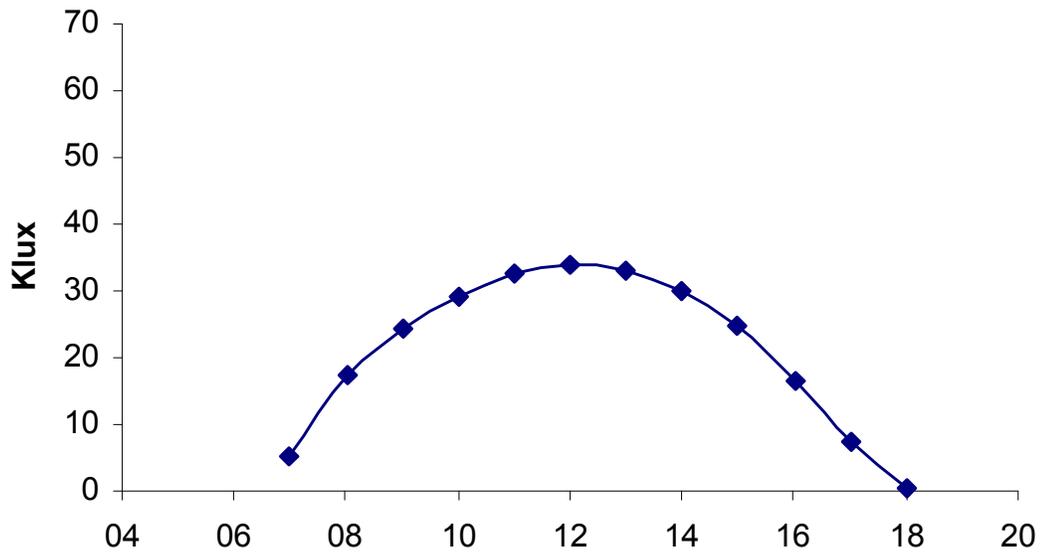
**16/08/2007**



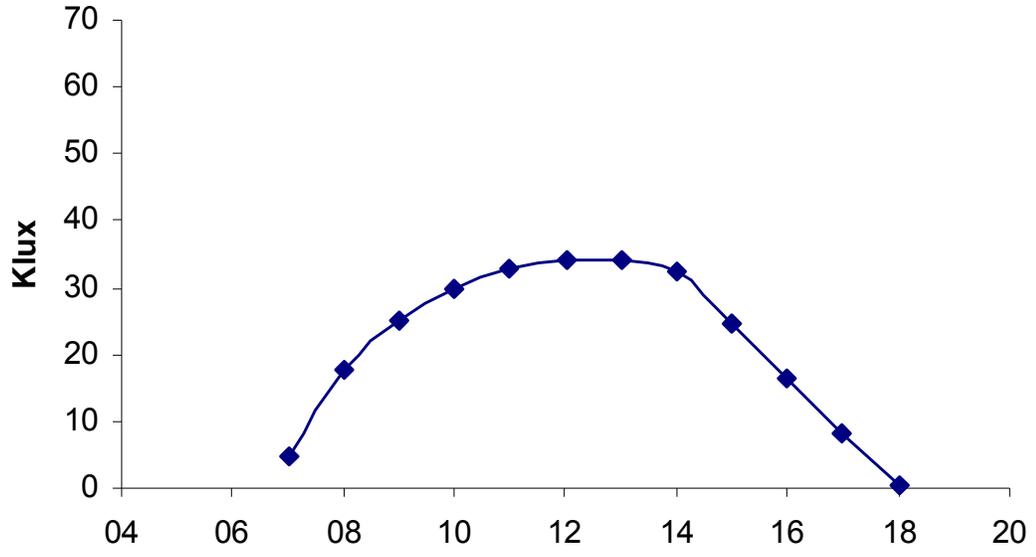
17/08/2007



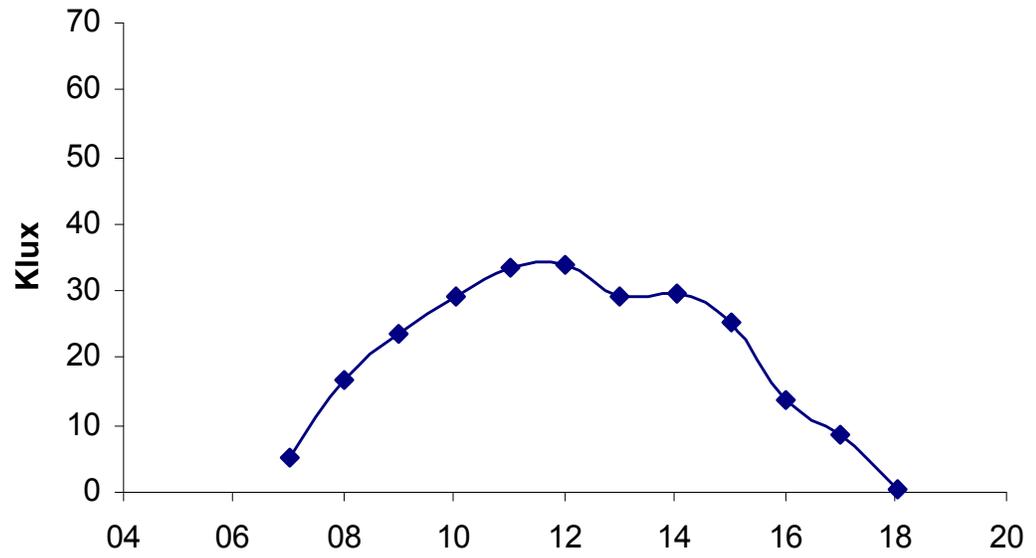
18/08/2007



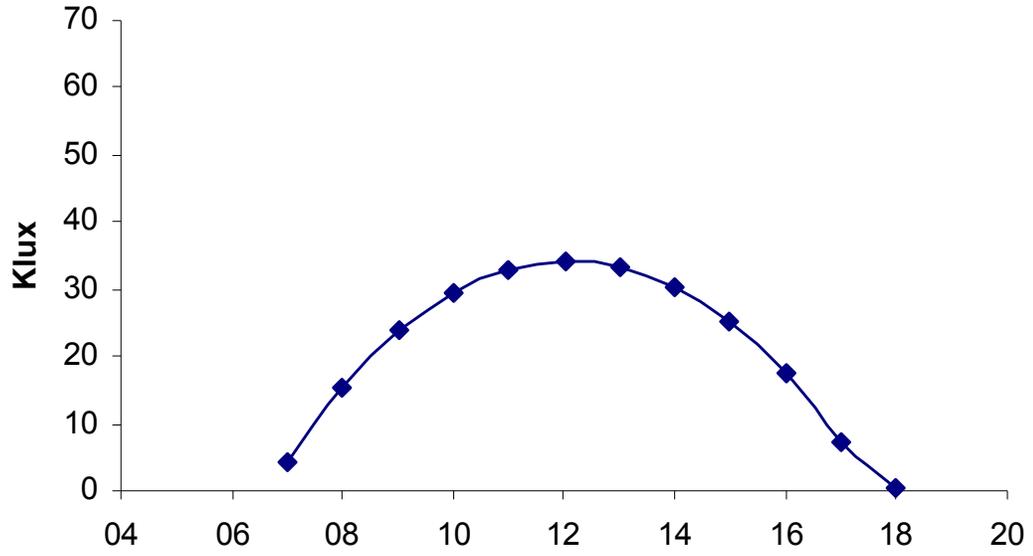
19/08/2007



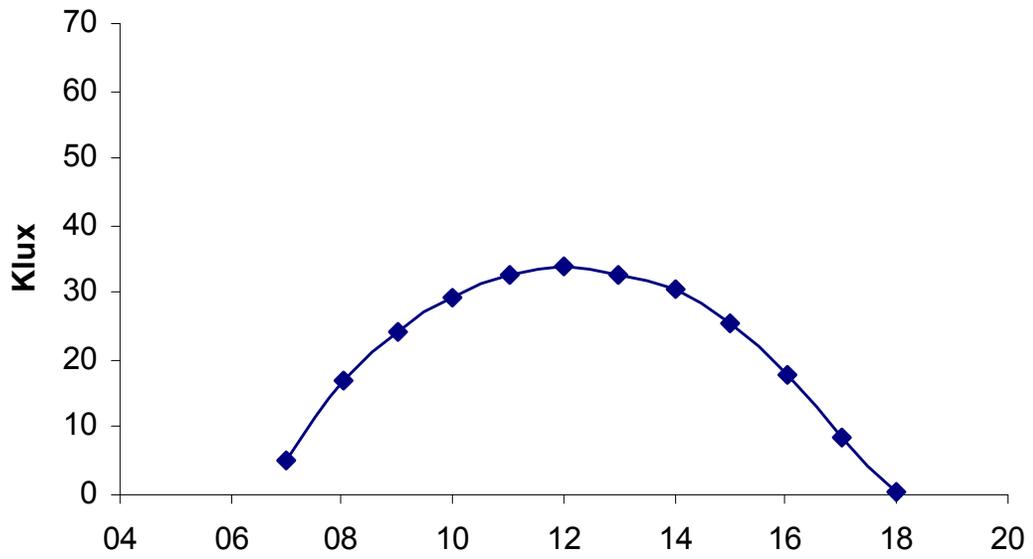
20/08/2007



21/08/2007

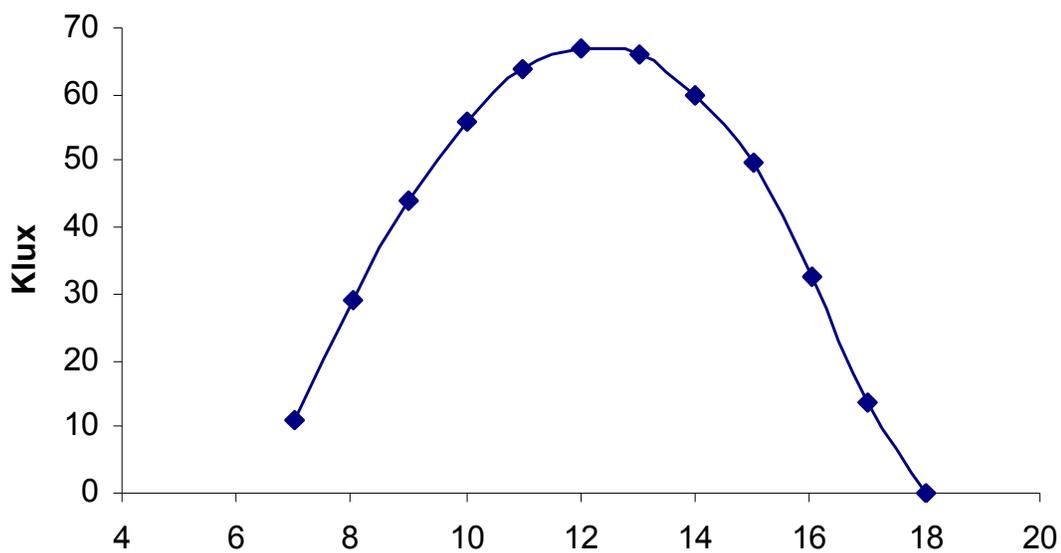


Média

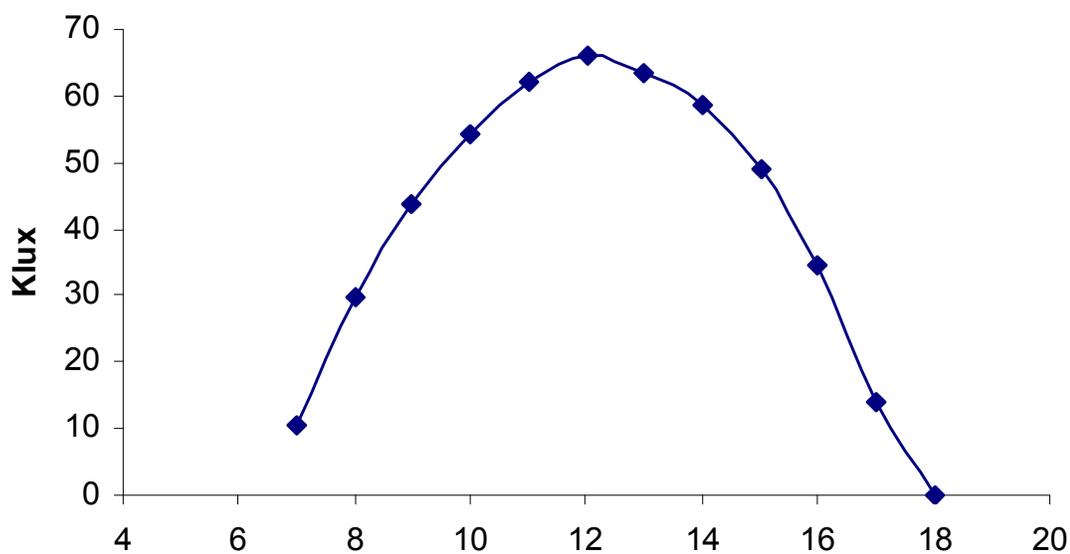


**G. Correspondentes aos dias que foram medidos com Prateleira de Luz Branca**  
**10°20'30" – Gráficos de Iluminância (Klux) X Horas (h)**

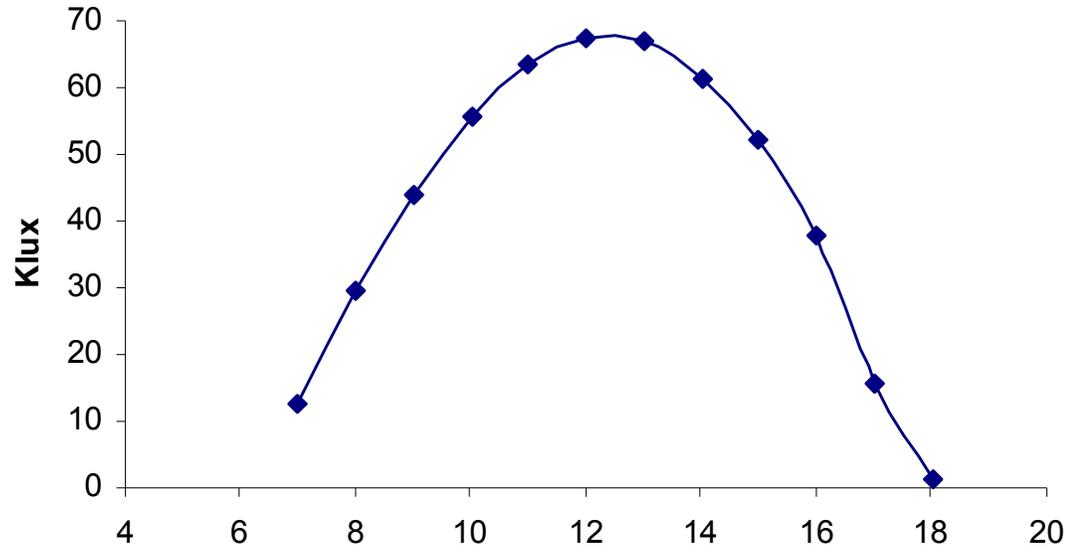
**12/09/2006**



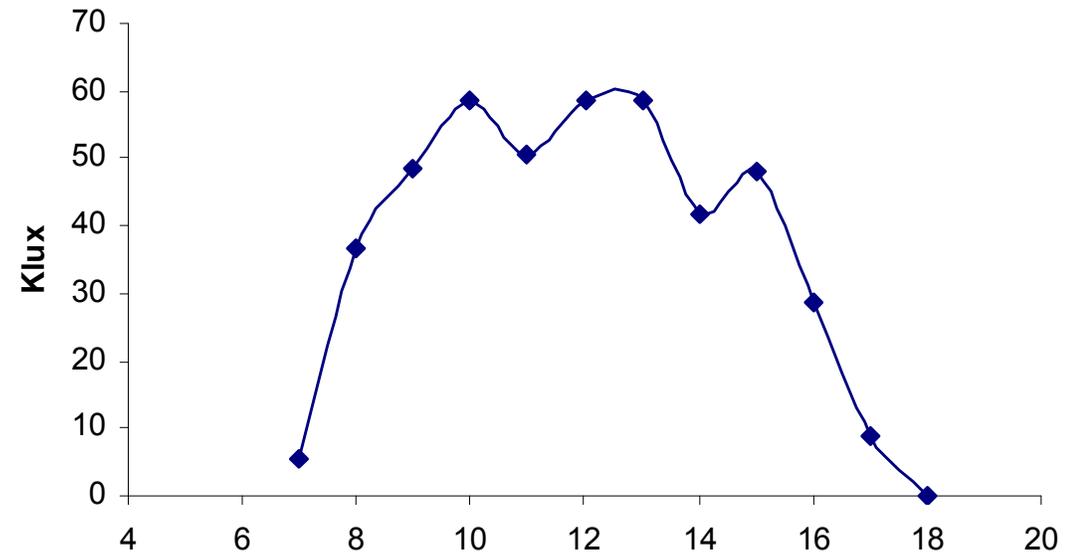
**13/09/2006**



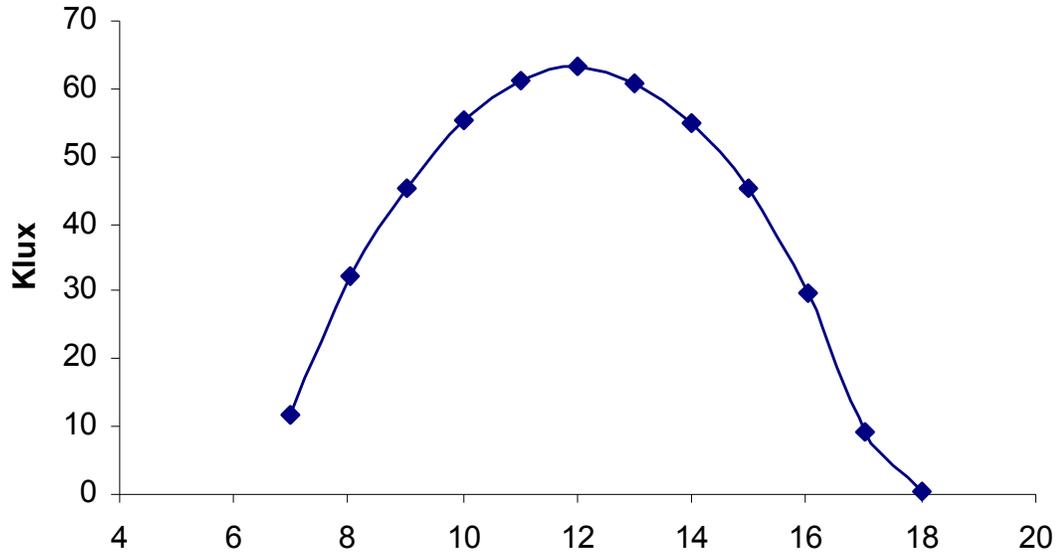
**14/09/2006**



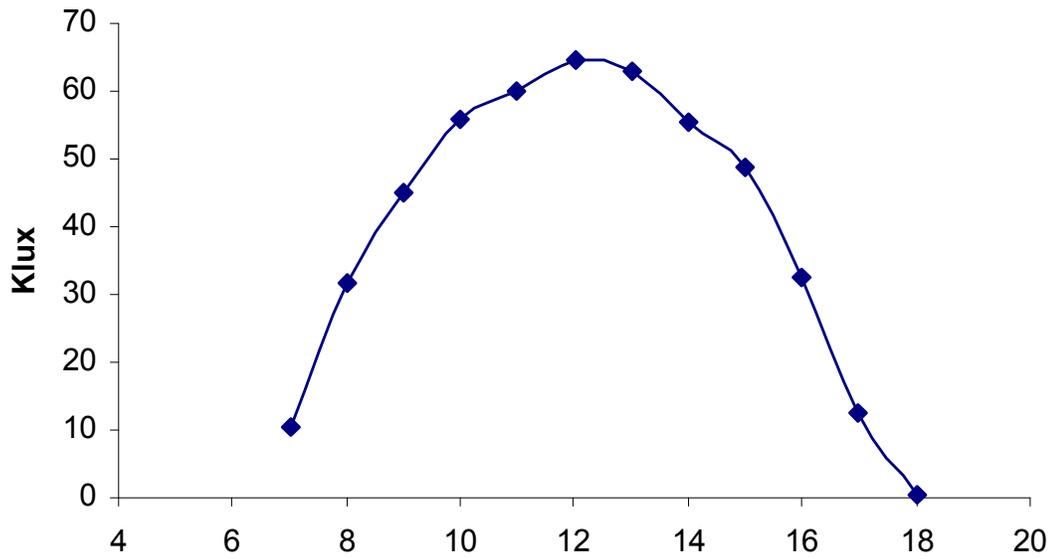
**30/04/2007**



02/05/2007



Média



Nos sistemas analisados, como era esperado, as maiores variações de iluminância entre os sensores, distribuídos no interior do protótipo, ocorreram no grupo de controle composto apenas pela abertura lateral. Neste, o sensor próximo à abertura pôde registrar valores de iluminância, nos períodos de sol intenso, aproximadamente 303 vezes maior que o valor registrado no sensor mais profundo no interior do protótipo (sensor no ponto nº6).

Para o sistema com PL espelhada horizontal, a diferença entre os valores de iluminância, registrados nos sensores próximos à abertura, chegou a 119 vezes mais que os registrados no sensor nº6, mais distante.

Já no sistema que utiliza a PL branca horizontal como redirecionador da luz natural, apesar de apresentar as mesmas dimensões e formato da prateleira espelhada, seu desempenho foi mais satisfatório. A variação entre o 1º e o 6º sensor foi de aproximadamente 29 vezes.

Os valores, apresentados pela PL Branca inclinada, apresentaram variação de 133 vezes nas prateleiras com 10º de inclinação, 97 vezes nas prateleiras com 20º, 138 vezes nas prateleiras com 30º e 46 vezes nas prateleiras com 10º20º30.

Com relação à variação de valores registrados em um mesmo sistema, em dias diferentes, todos os resultados utilizados apresentaram menos de 20% de variação.

Pode-se considerar como satisfatório o número de medições realizadas, para a obtenção de uma análise qualitativa dos sistemas experimentais e comparativa entre esses sistemas. Porém, para que fosse feita uma avaliação mais minuciosa (quantitativa), seria necessário um grande número de medições.

### **4.2.3. Análise do desempenho dos sistemas que utilizam a luz natural como fonte luminosa**

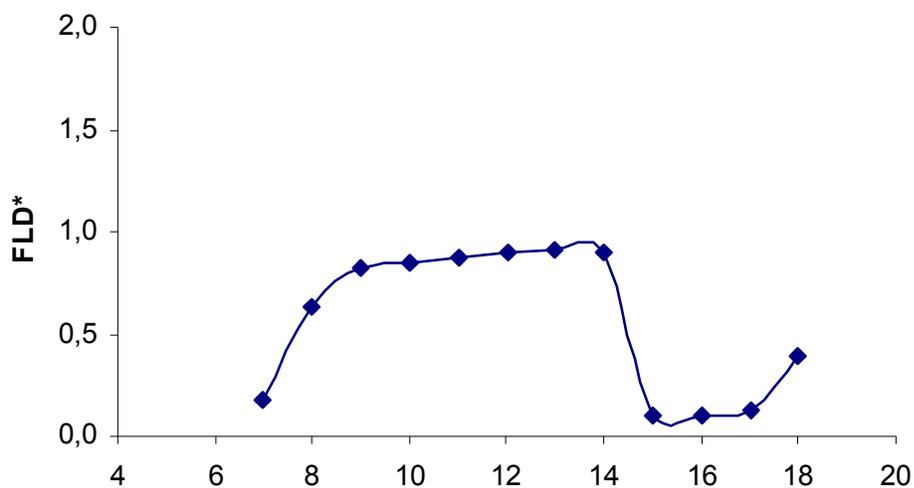
Para melhor avaliação dos sistemas em estudo, utilizou-se a média dos valores obtidos experimentalmente de cada período de medição para cada sistema. Essa decisão foi tomada, pois mesmo em se tratando de um sistema exposto às mesmas

condições ambientais e experimentais, as variações de iluminância do céu são significativas. Além disso, para facilitar a avaliação, foram elaborados gráficos de dispersão X e Y em cada ponto, relacionando o FLD\* em diferentes horas do dia e para as sete situações em estudo.

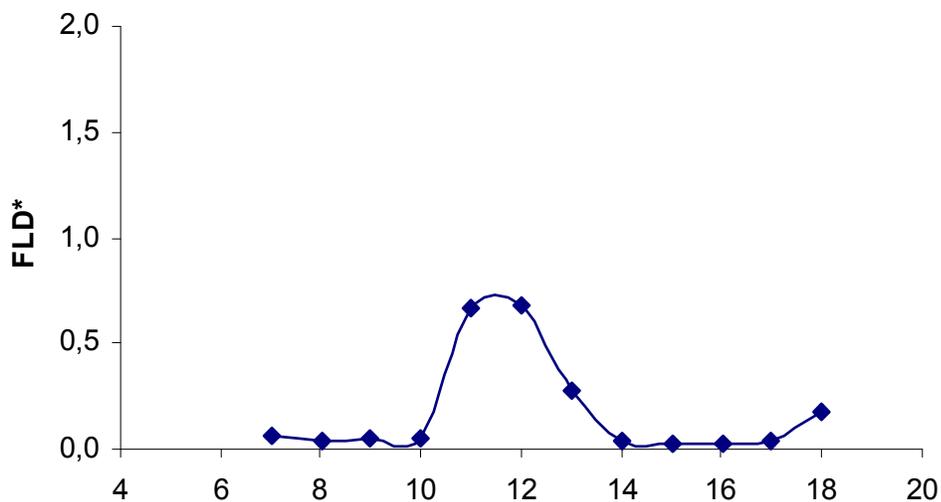
### 1ª Situação: Sem Prateleira de Luz (média)

Gráficos do FLD\* (%) X Hora (h)

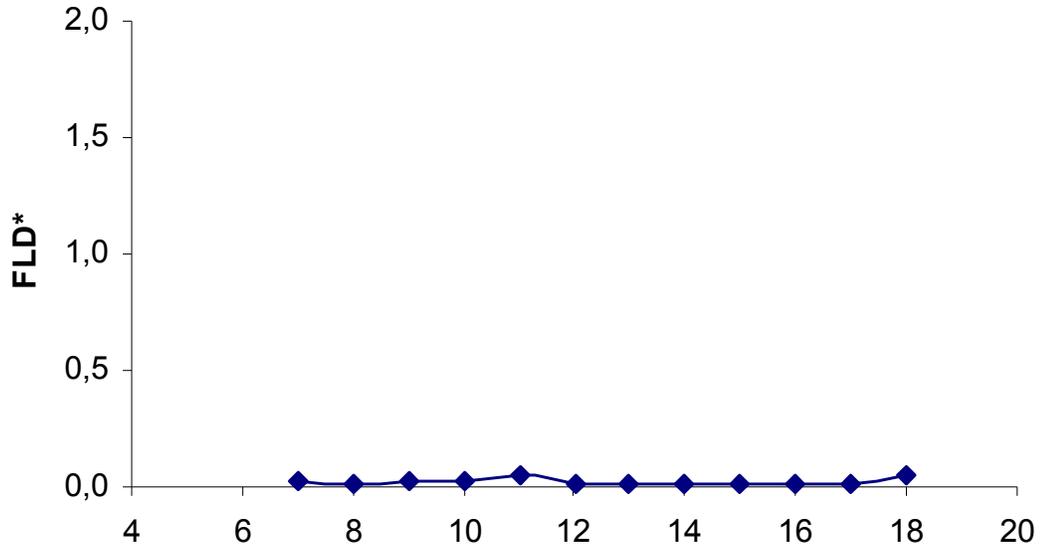
Ponto nº1



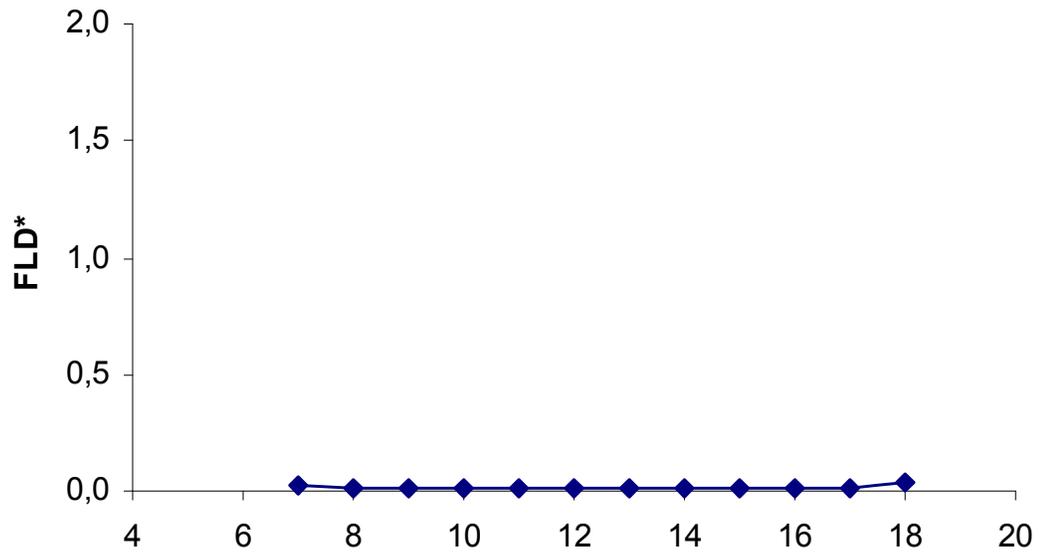
Ponto nº2



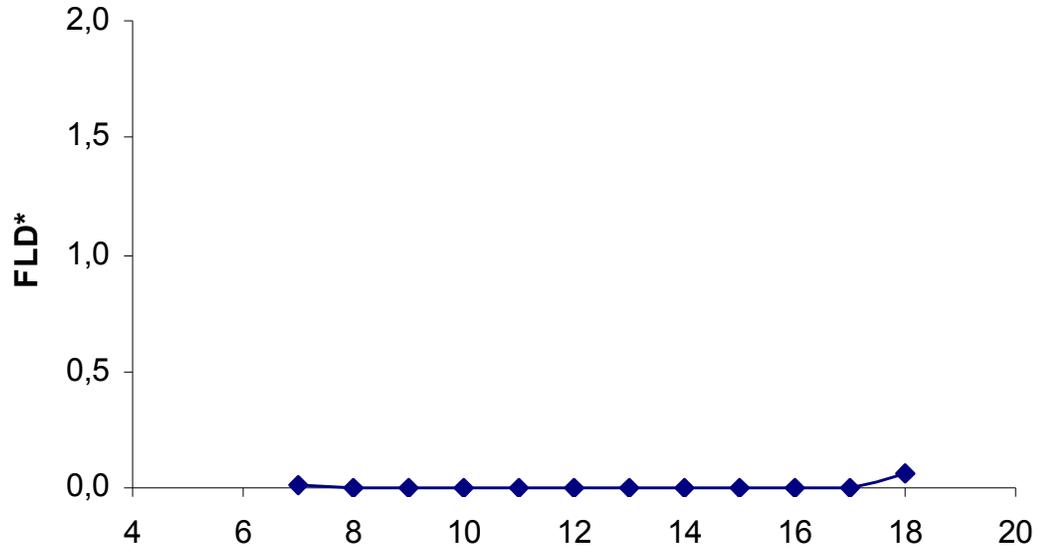
**Ponto nº3**



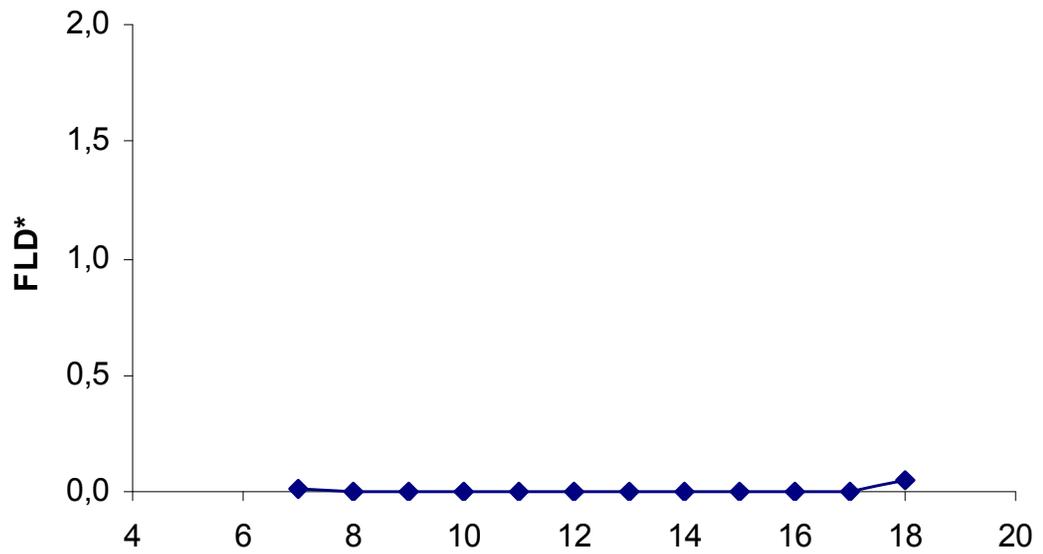
**Ponto nº4**



**Ponto nº5**

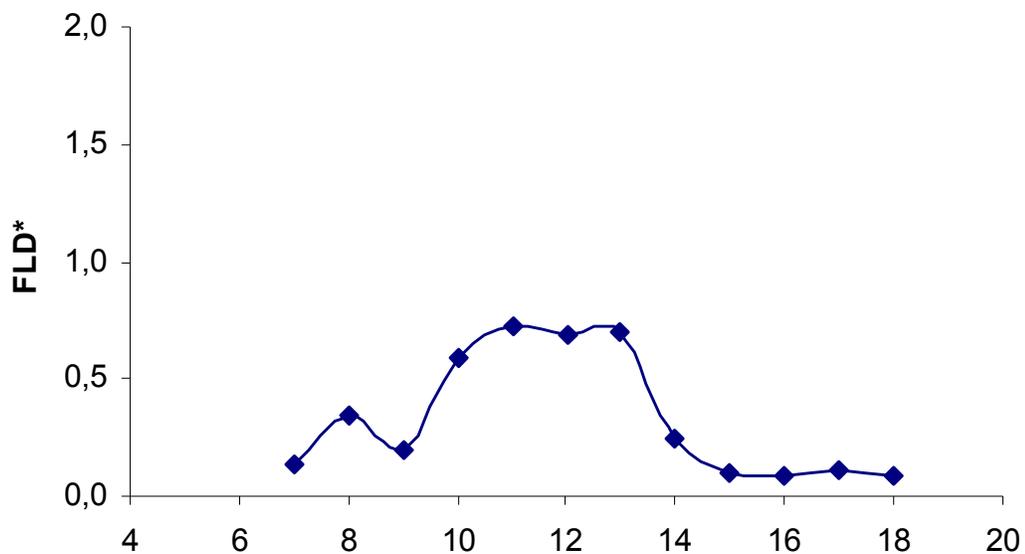


**Ponto nº6**

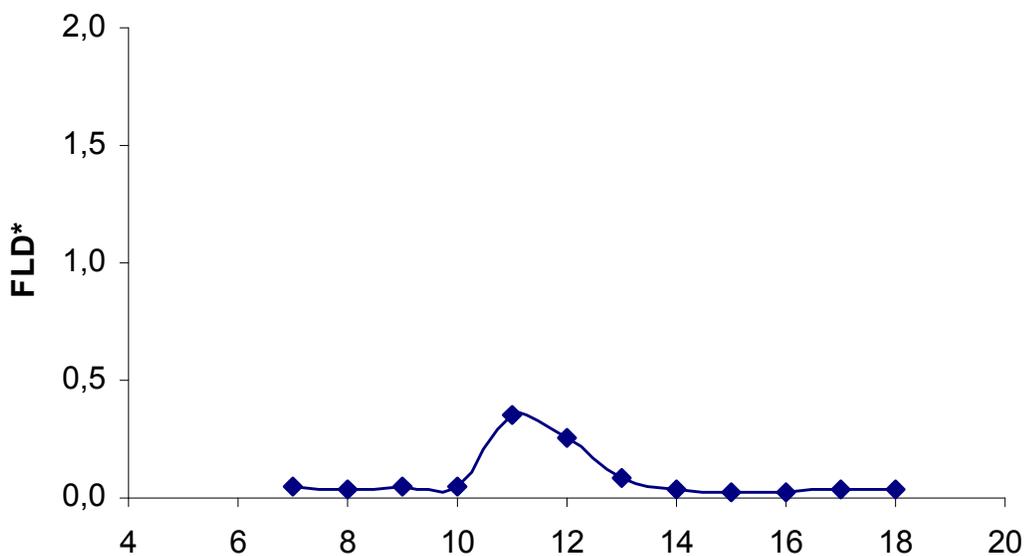


**2ª Situação: Prateleira de Luz Espelhada horizontal**  
Gráficos do FLD\* (%) X Hora (h)

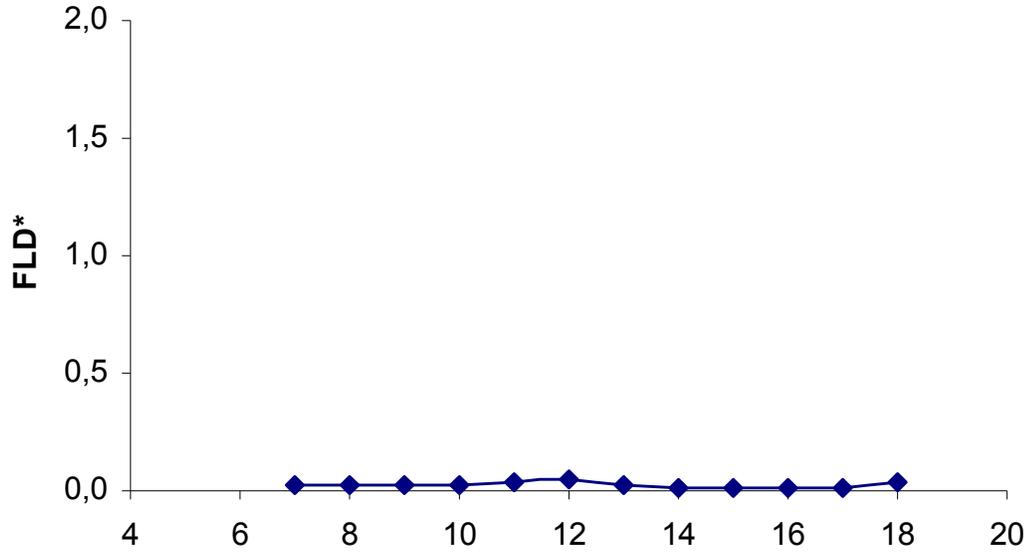
**Ponto nº1**



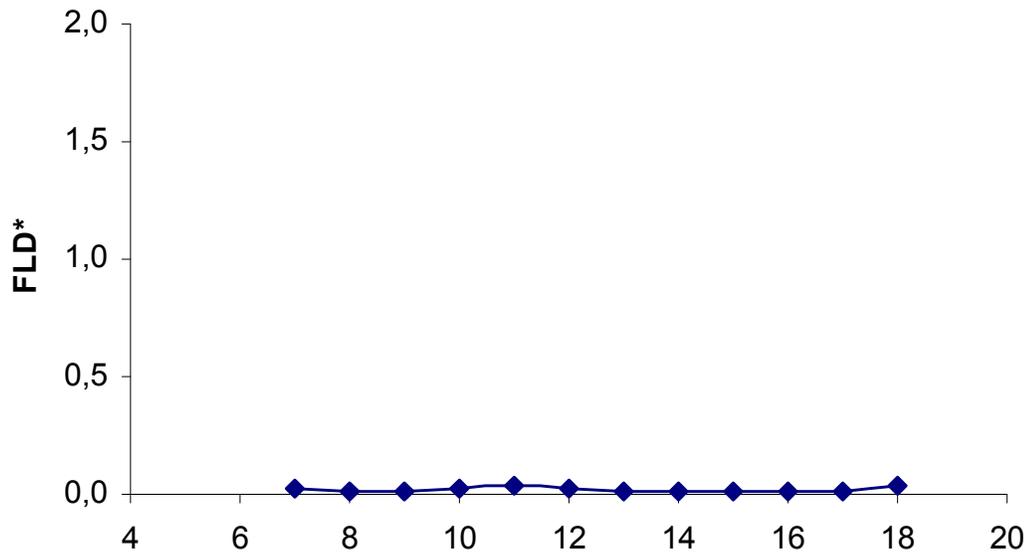
**Ponto nº2**



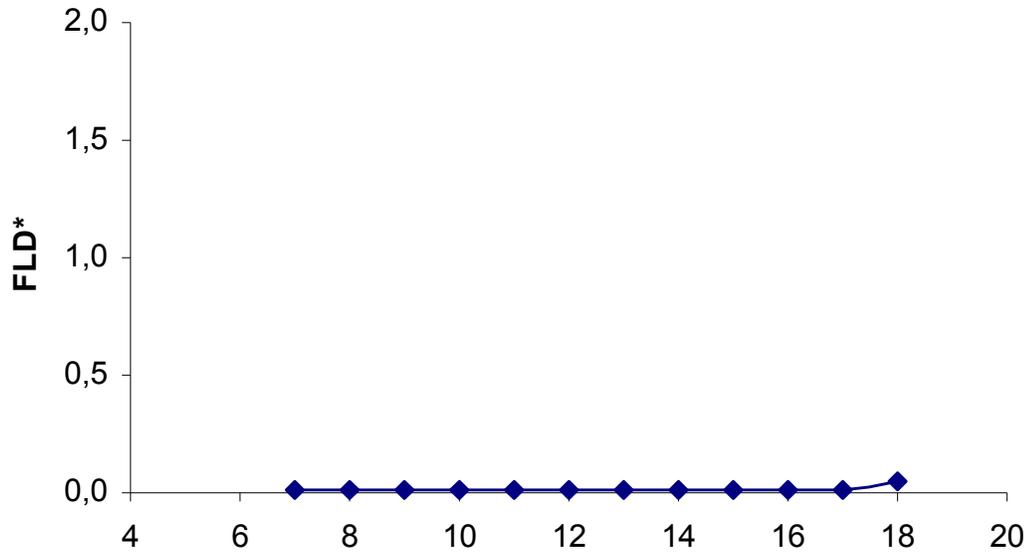
### Ponto nº3



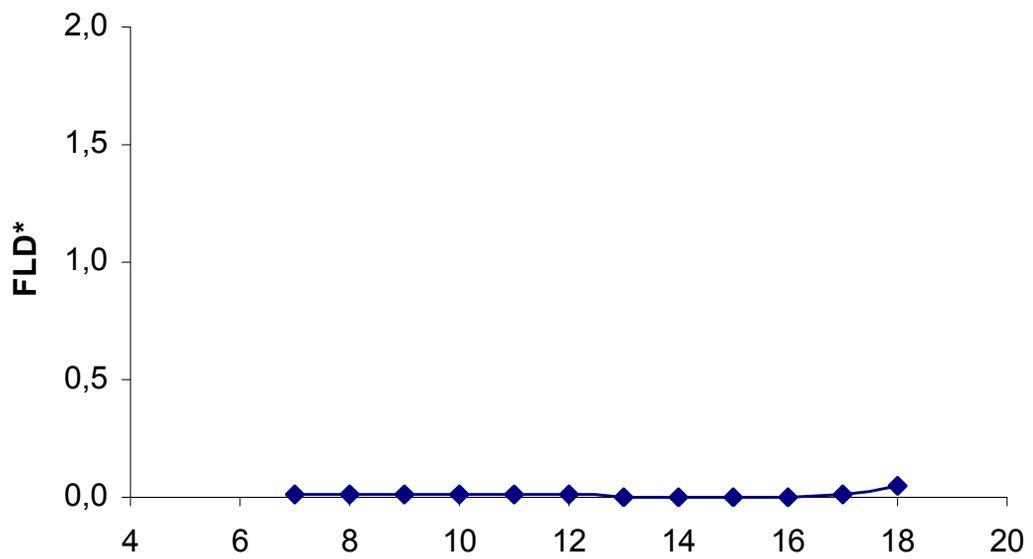
### Ponto nº4



### Ponto nº5

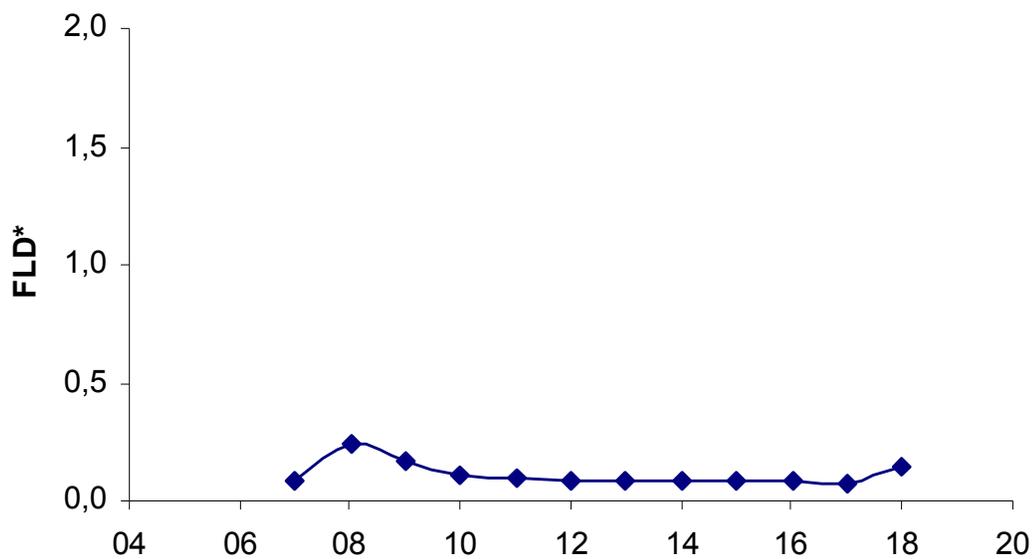


### Ponto nº6

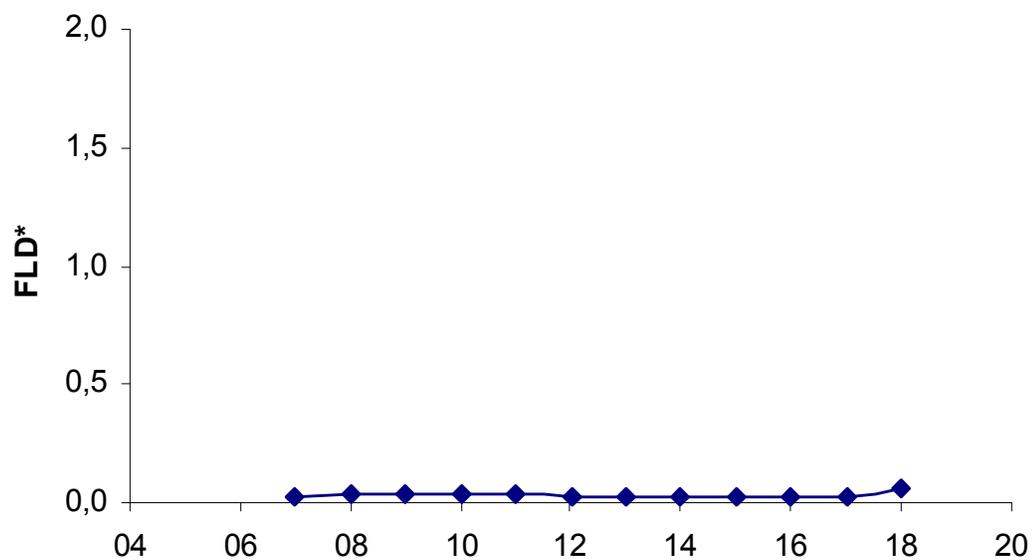


**3ª Situação: Prateleira de Luz Branca horizontal**  
Gráficos do FLD\* (%) X Hora (h)

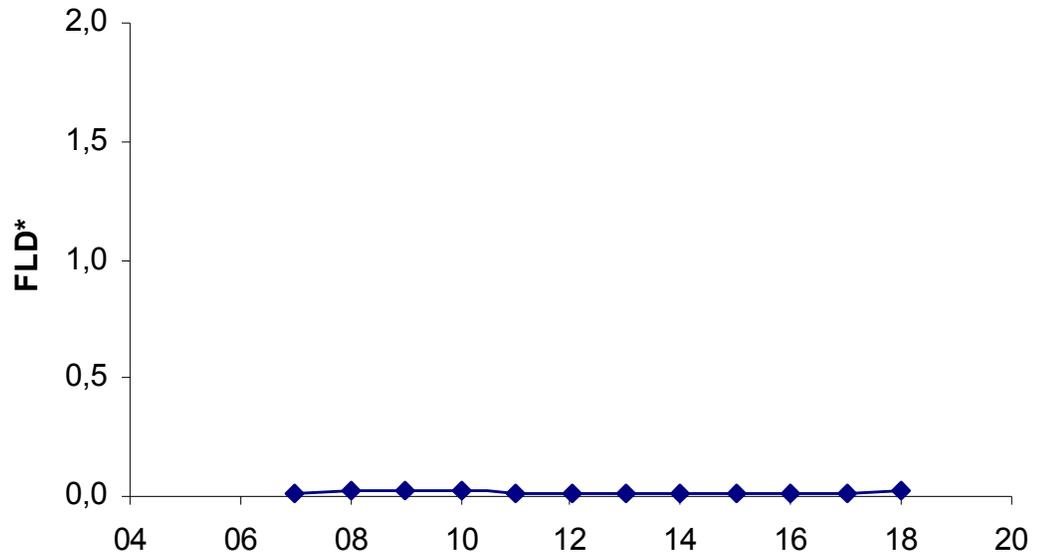
**Ponto nº1**



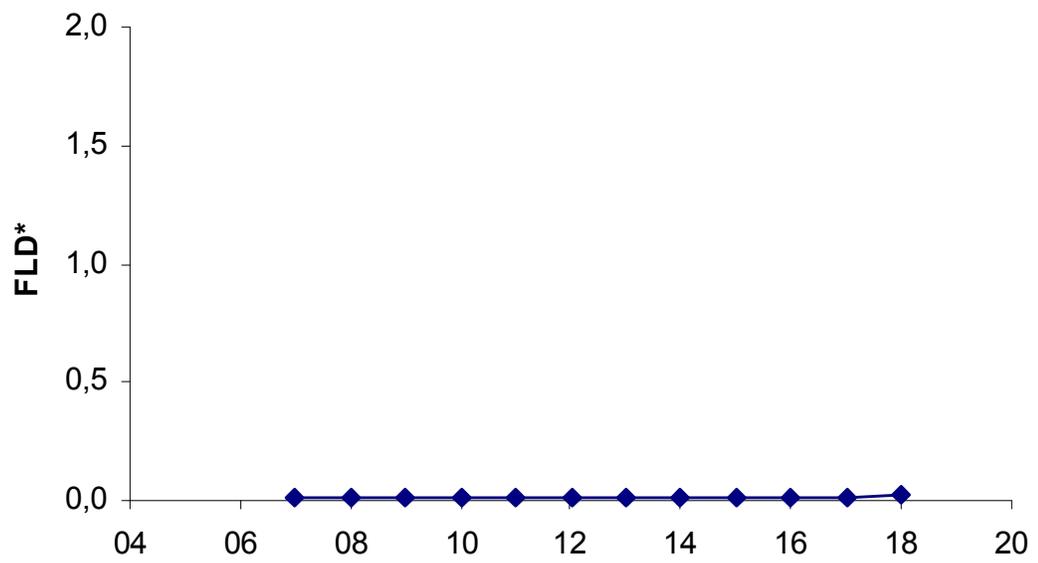
**Ponto nº2**



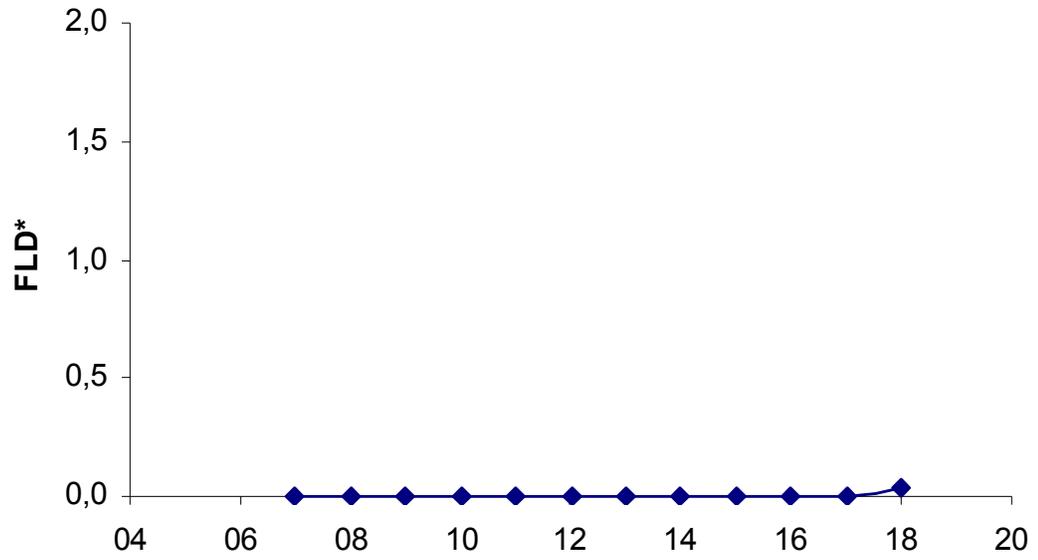
### Ponto nº3



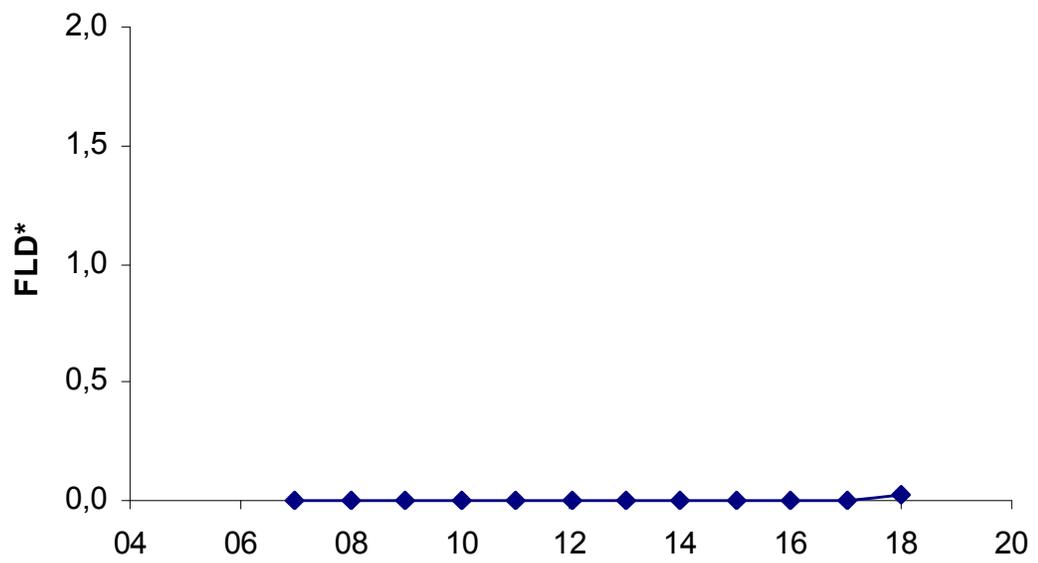
### Ponto nº4



### Ponto nº5

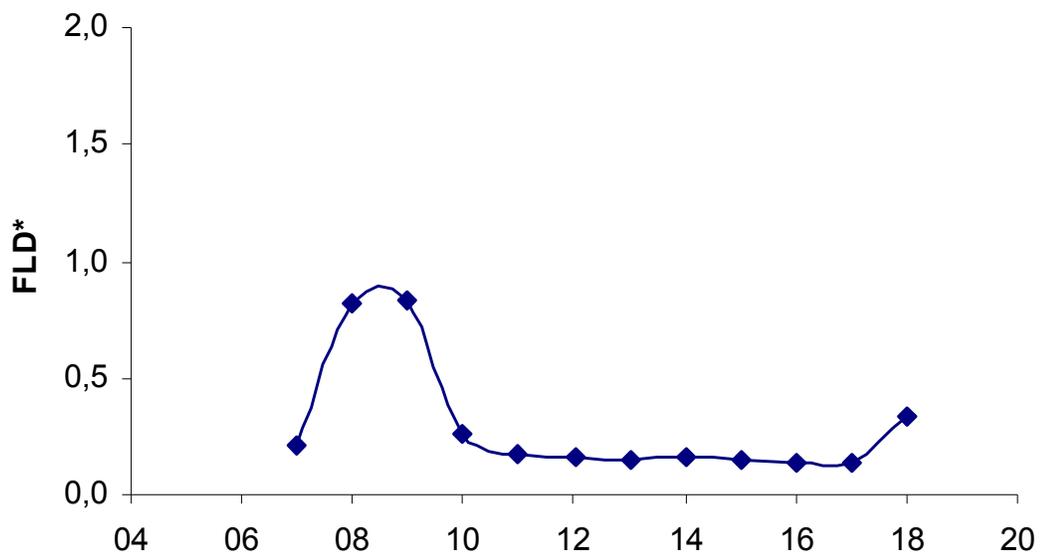


### Ponto nº6

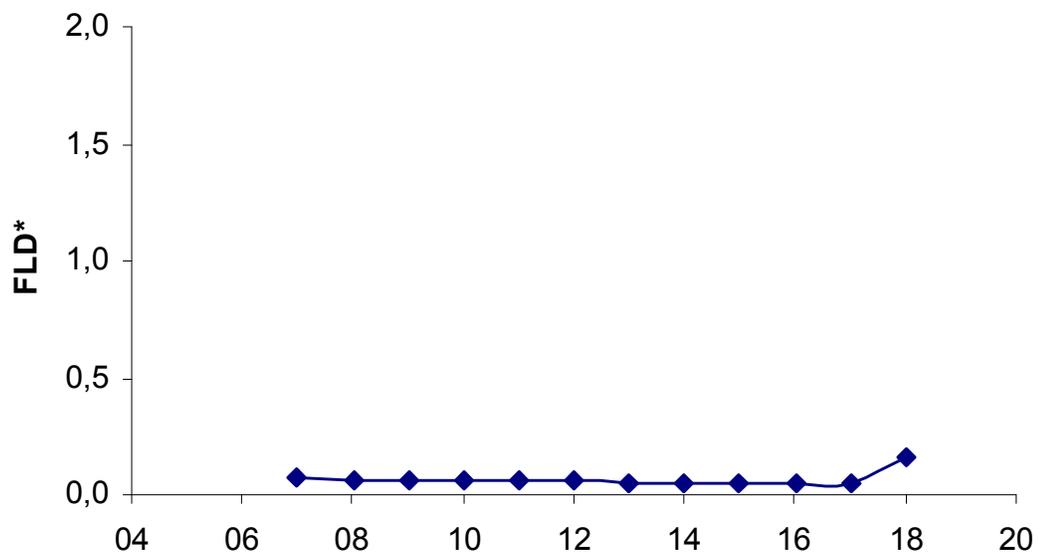


**4ª Situação: Prateleira de Luz Branca 10°**  
Gráficos do FLD\* (%) X Hora (h)

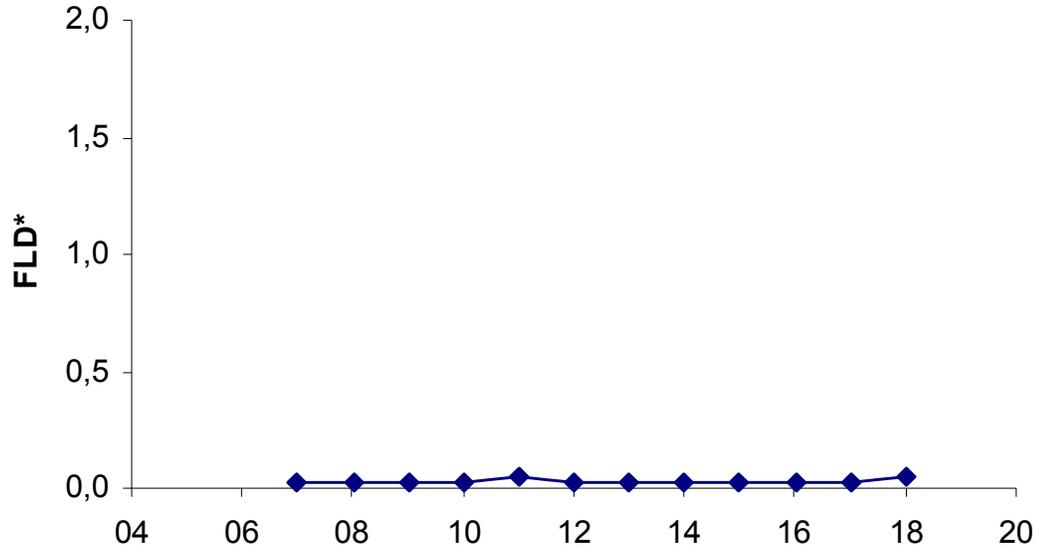
**Ponto nº1**



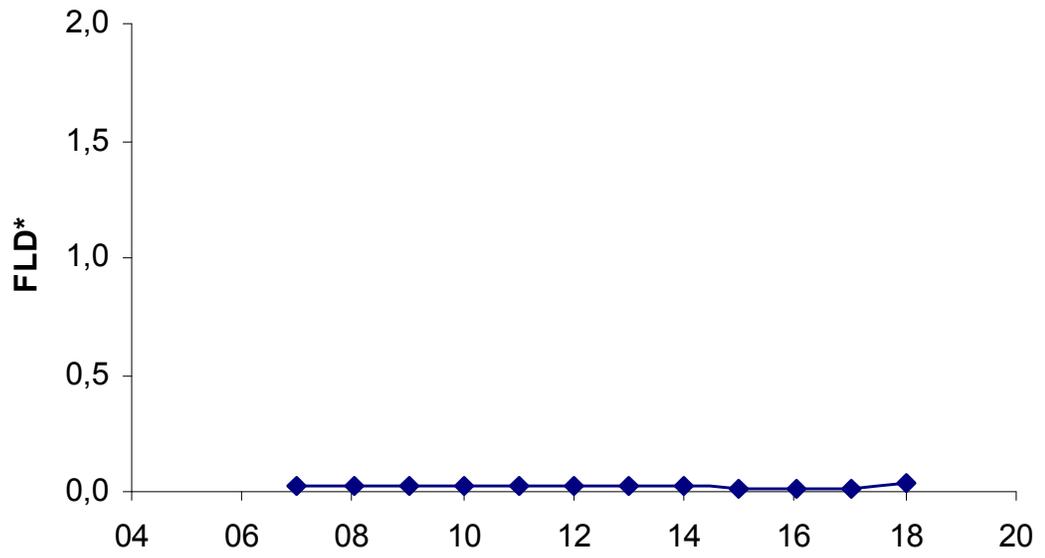
**Ponto nº2**



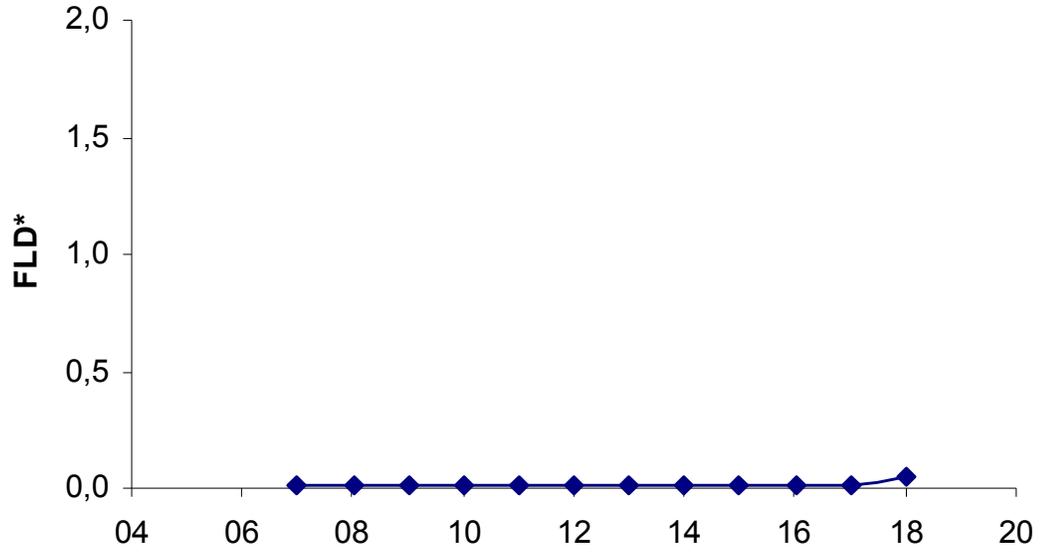
**Ponto nº3**



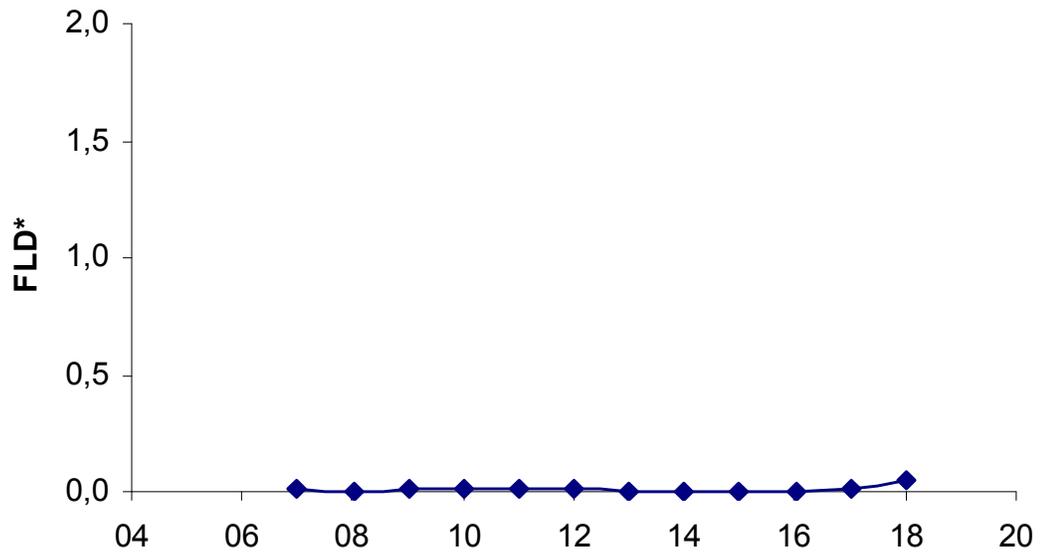
**Ponto nº4**



**Ponto nº5**

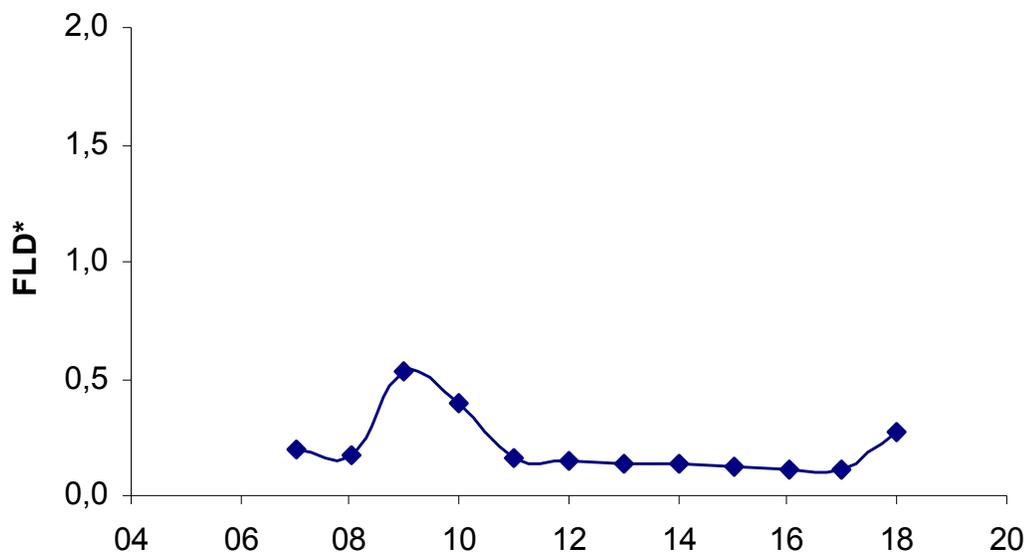


**Ponto nº6**

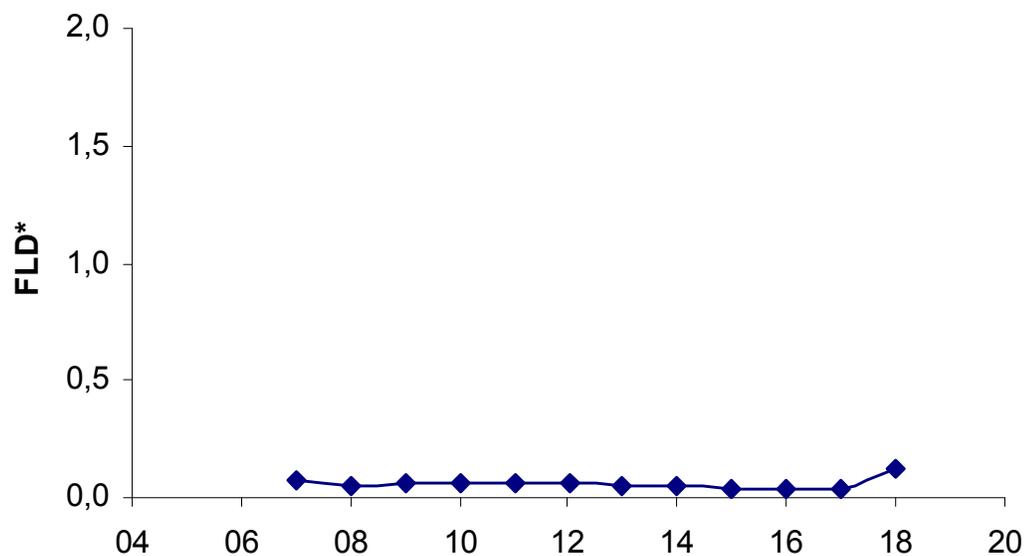


**5ª Situação: Prateleira de Luz Branca 20°**  
Gráficos do FLD\* (%) X Hora (h)

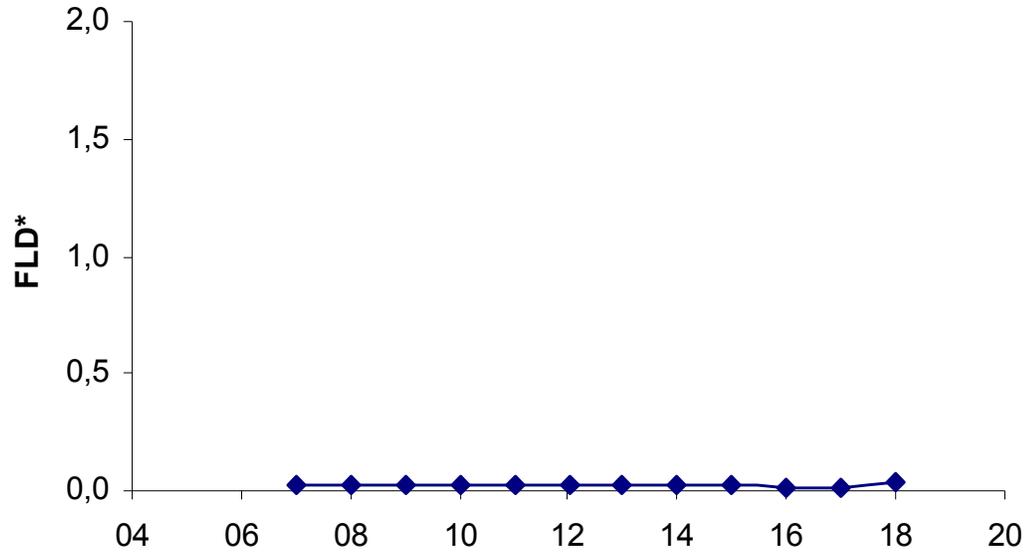
**Ponto nº1**



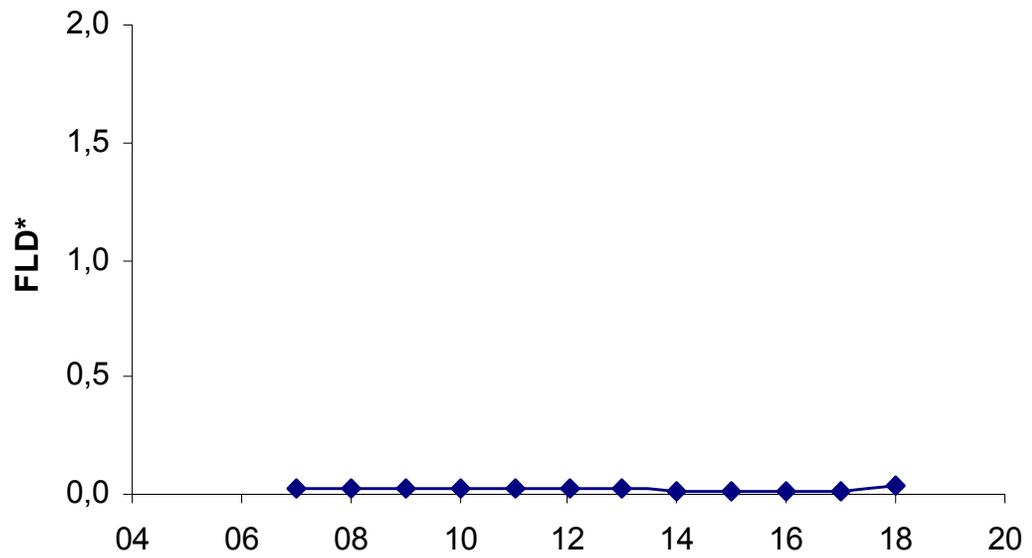
**Ponto nº2**



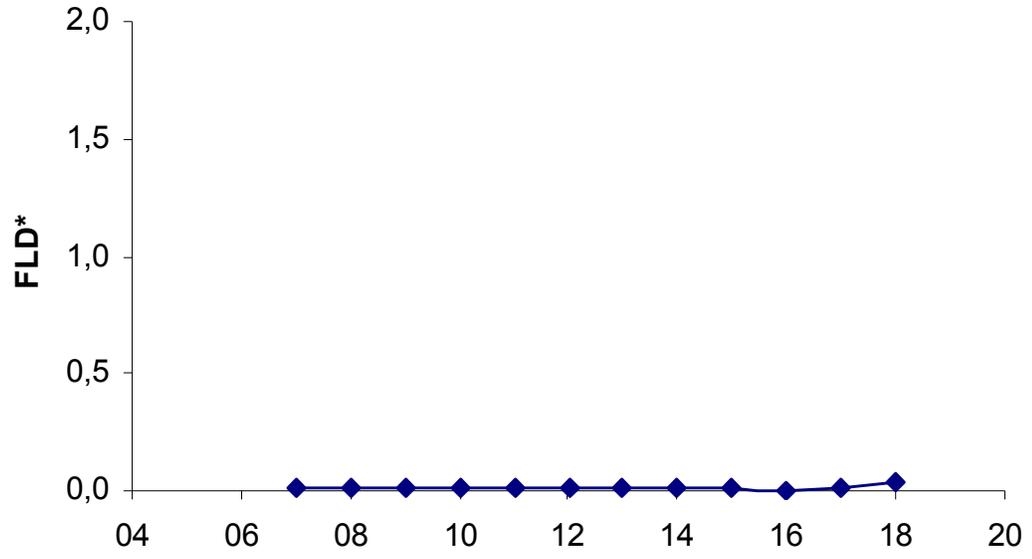
**Ponto nº3**



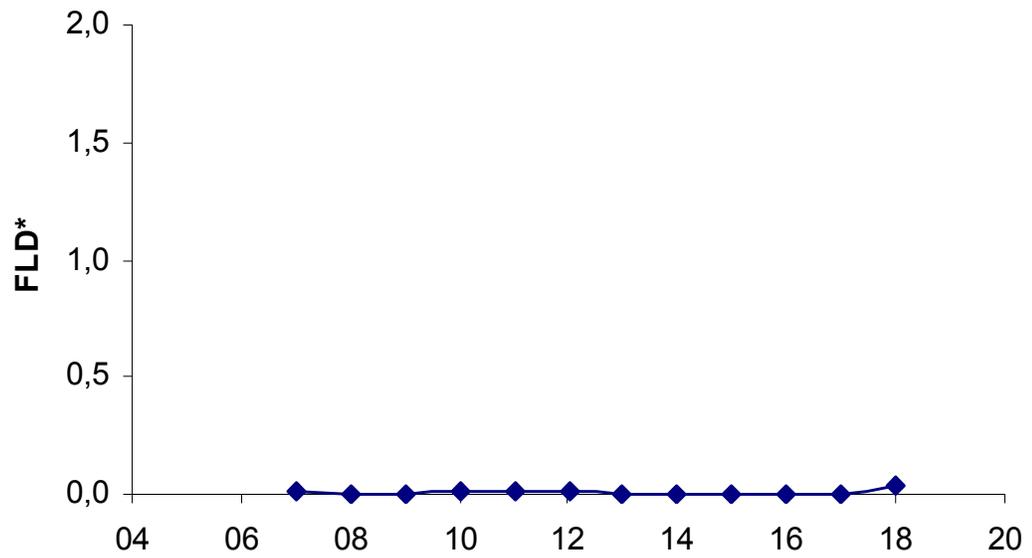
**Ponto nº4**



**Ponto nº5**

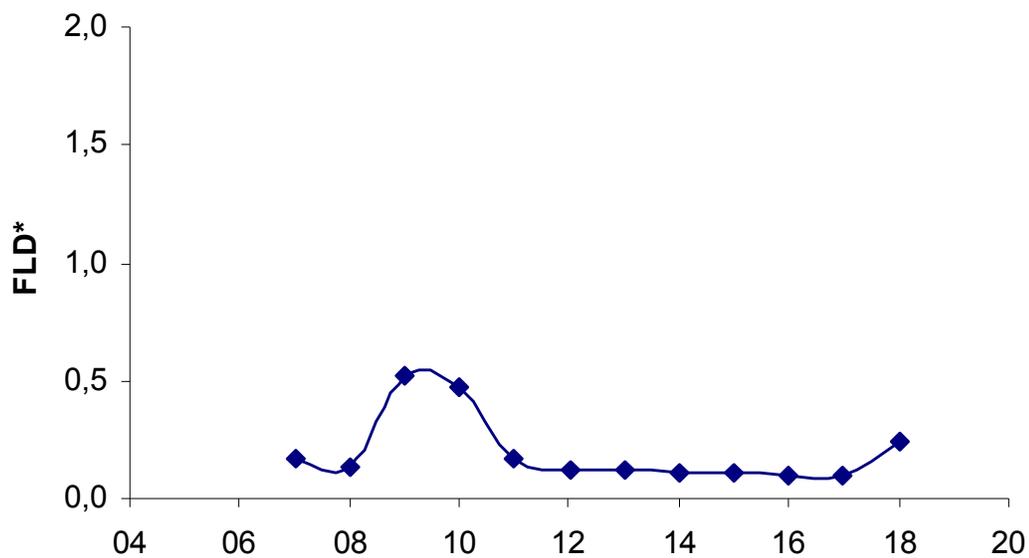


**Ponto nº6**

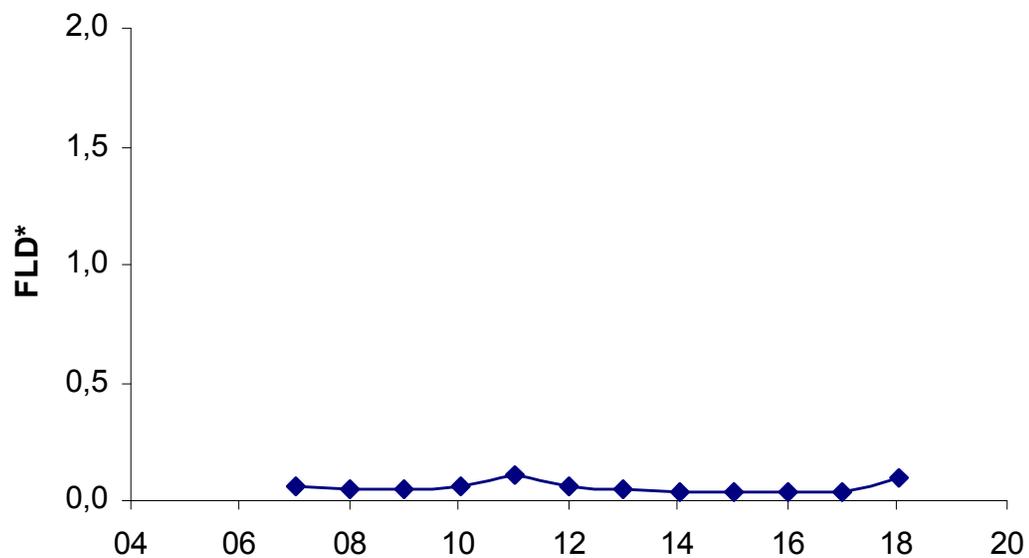


**6ª Situação: Prateleira de Luz Branca 30°**  
Gráficos do FLD\* (%) X Hora (h)

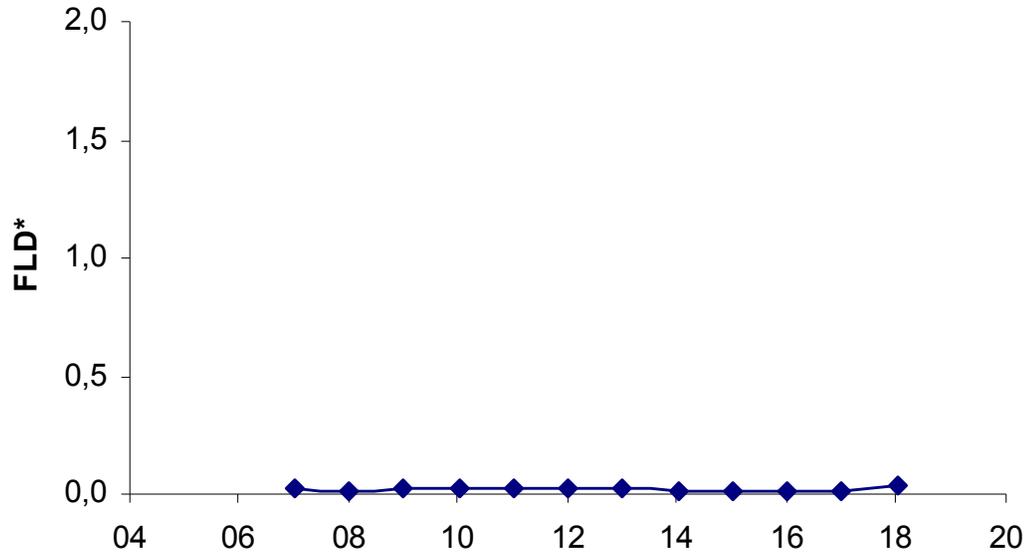
**Ponto nº1**



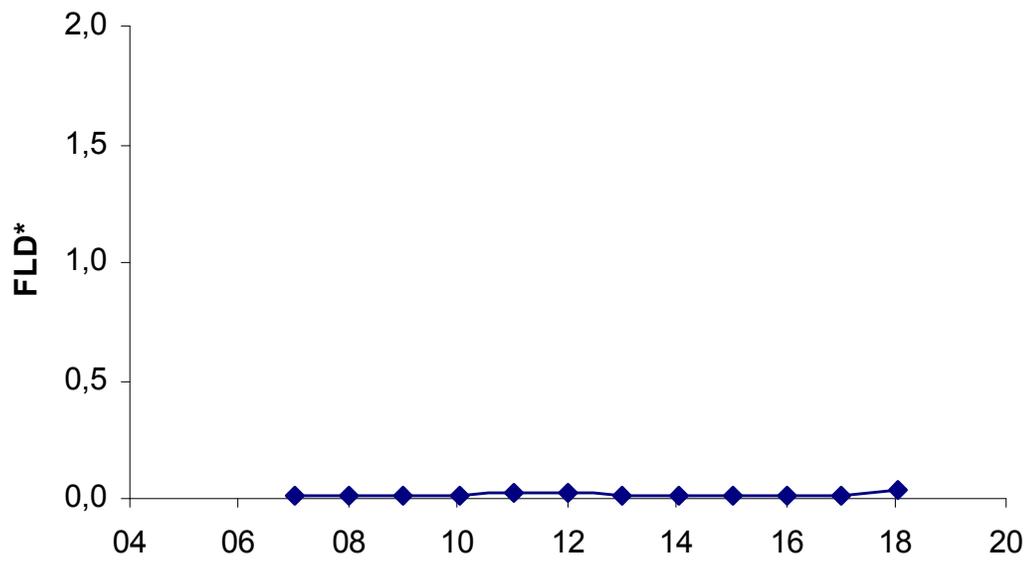
**Ponto nº2**



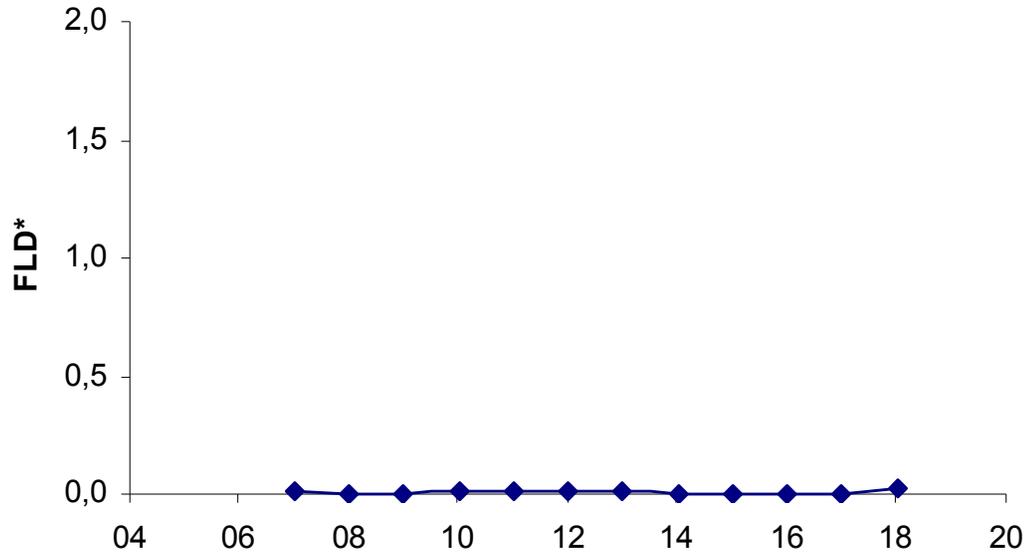
### Ponto nº3



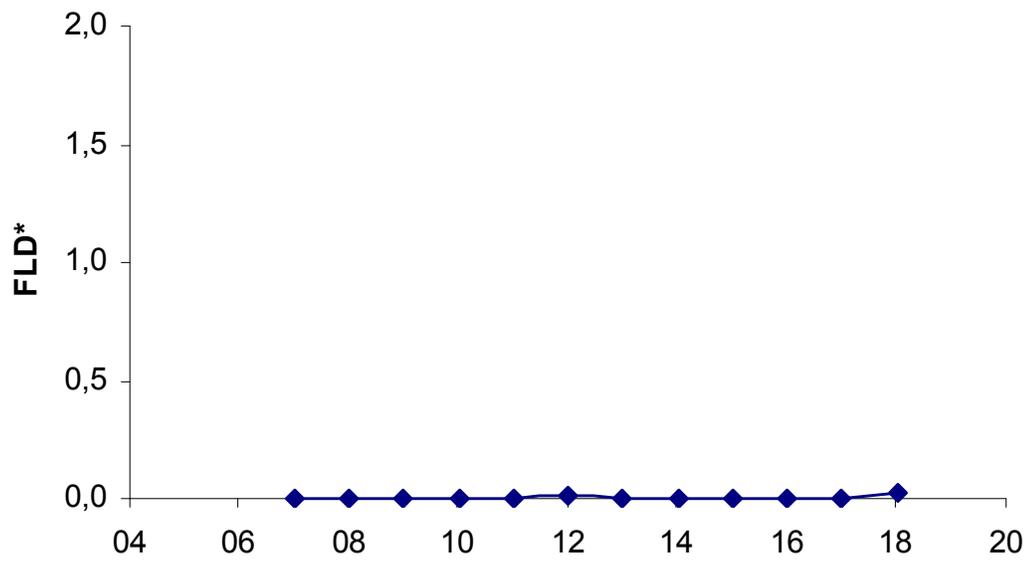
### Ponto nº4



### Ponto nº5

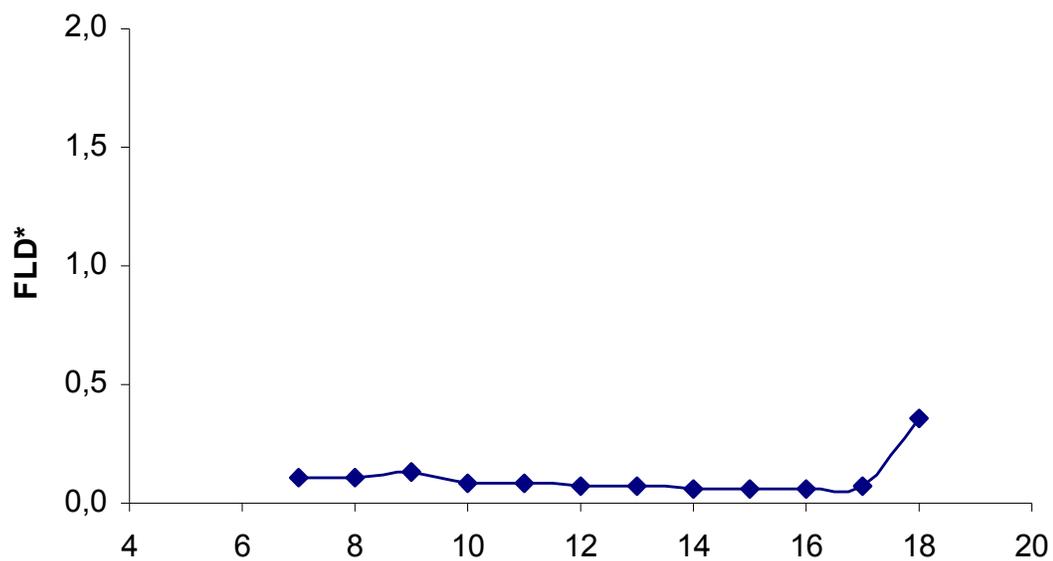


### Ponto nº6

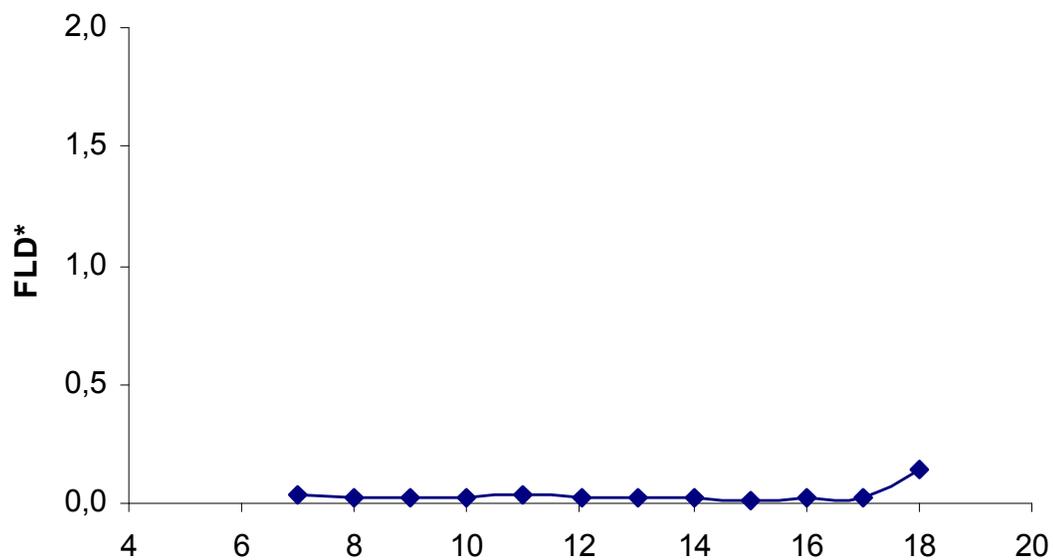


**7ª Situação: Prateleira de Luz Branca Inclinada**  
Gráficos do FLD\* (%) X Hora (h)

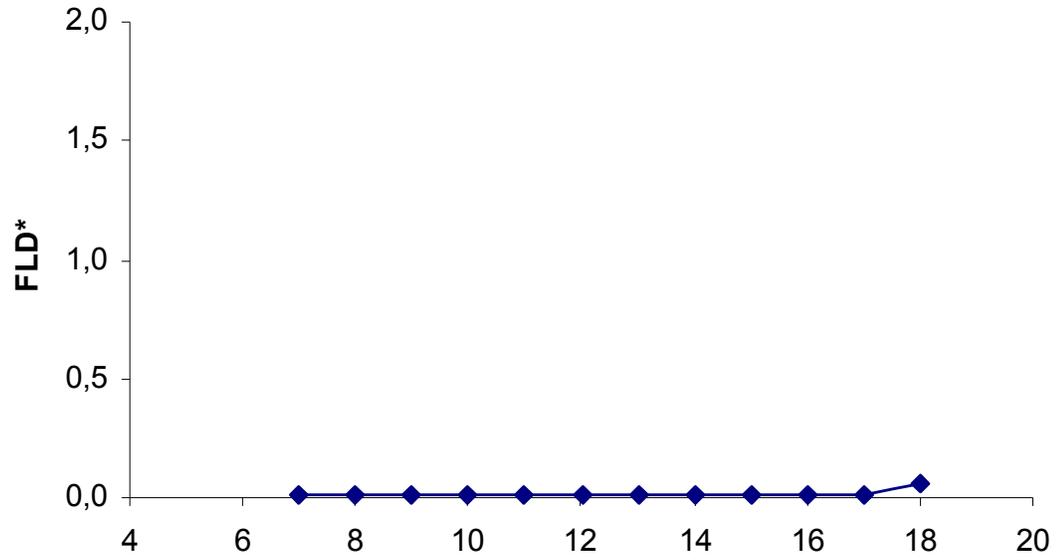
**Ponto nº1**



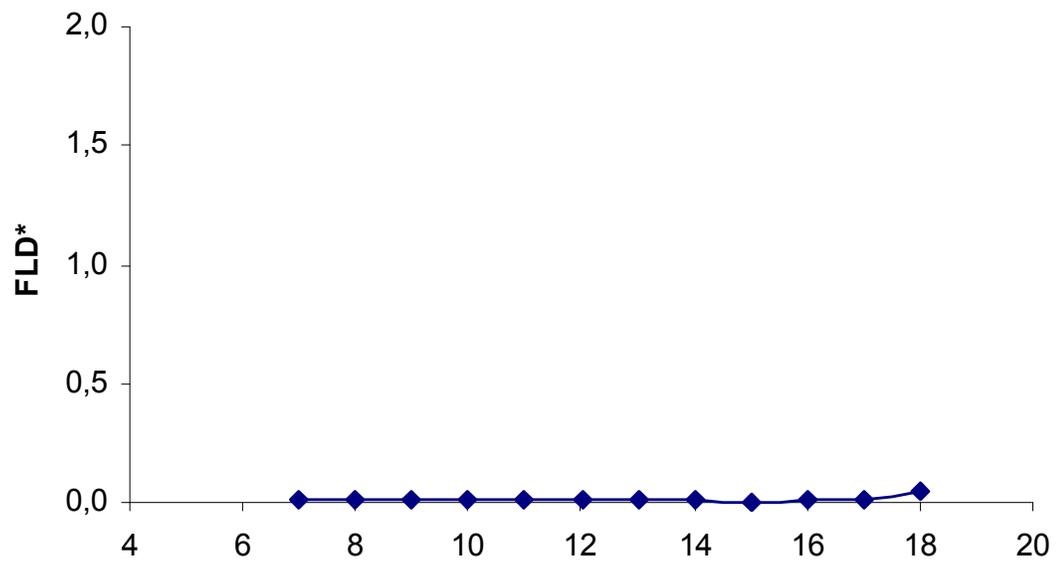
**Ponto nº2**



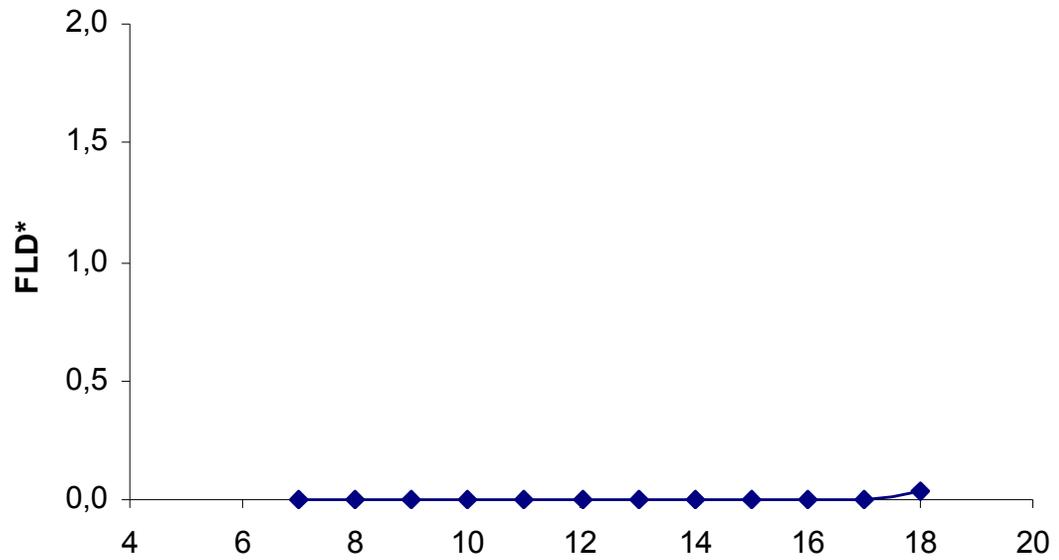
**Ponto nº3**



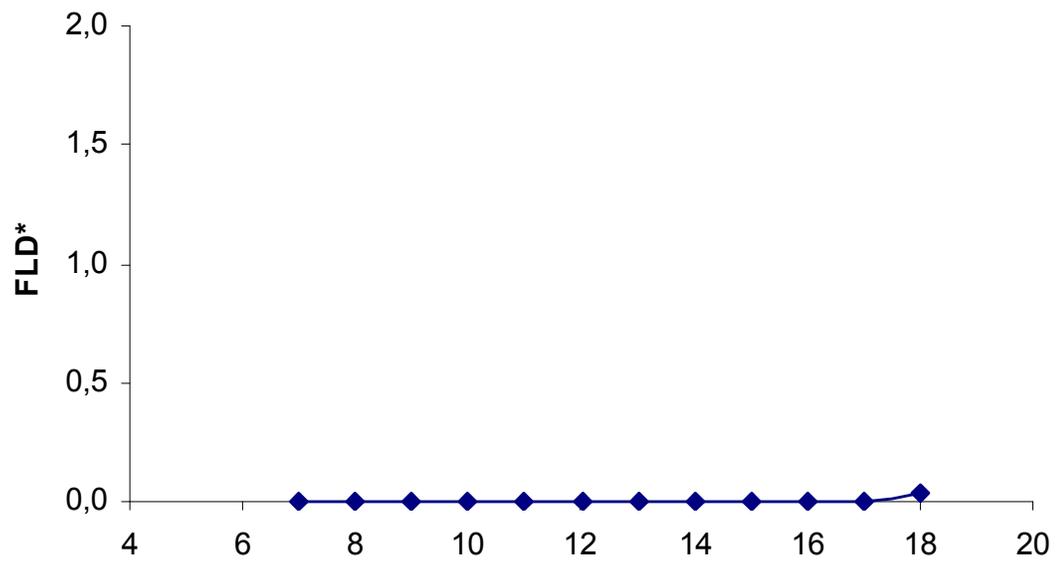
**Ponto nº4**



**Ponto n°5**



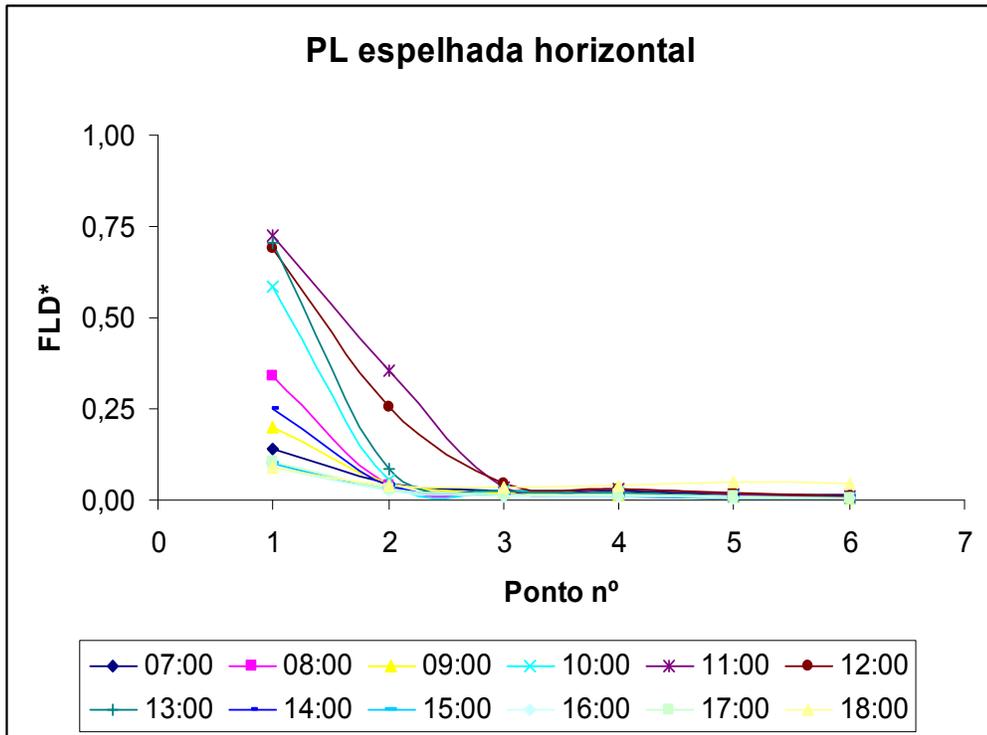
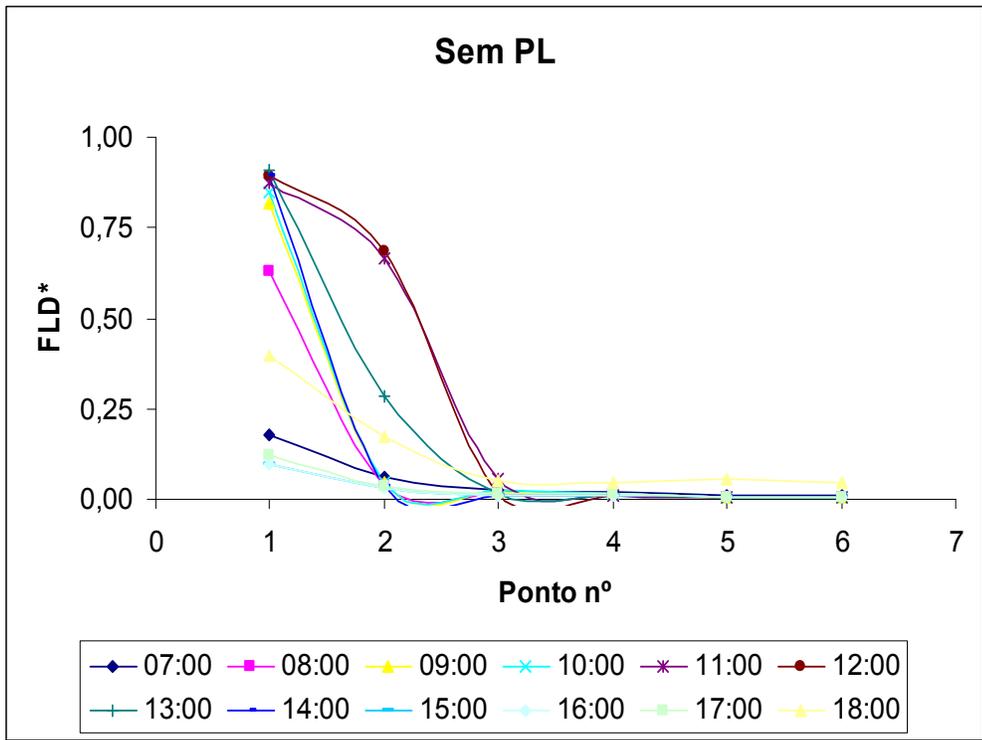
**Ponto n°6**

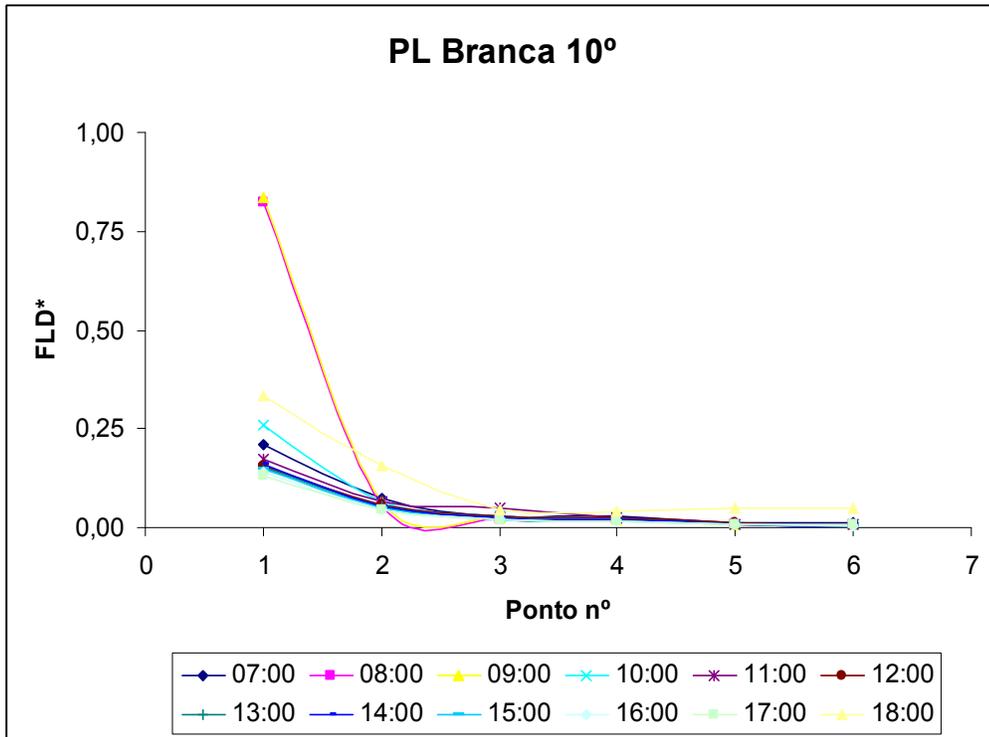
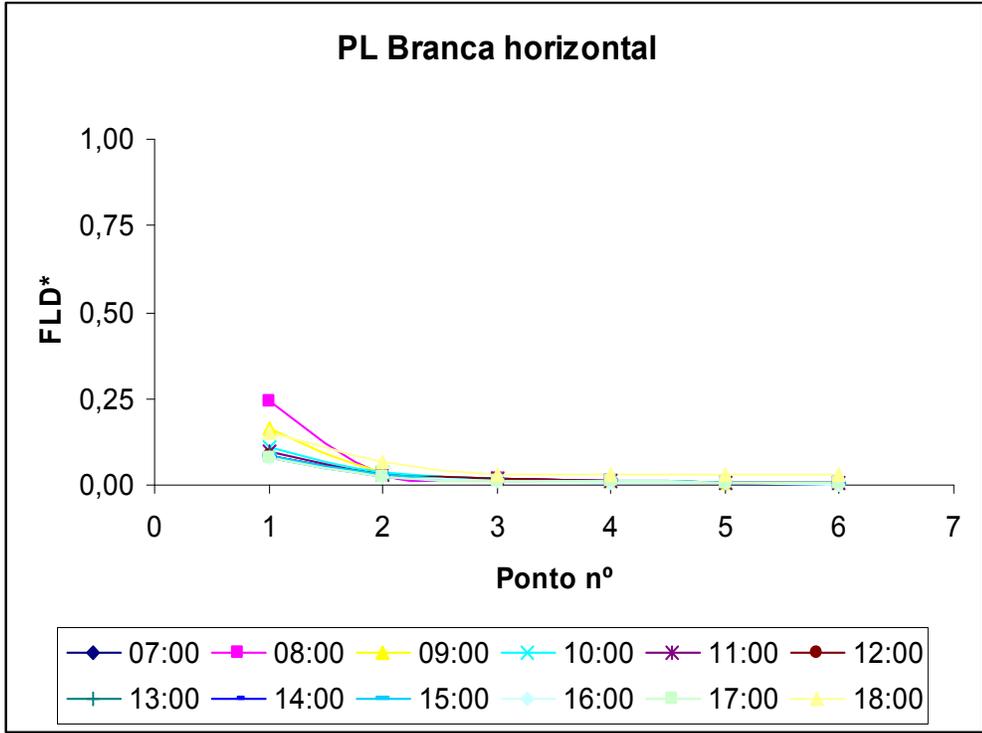


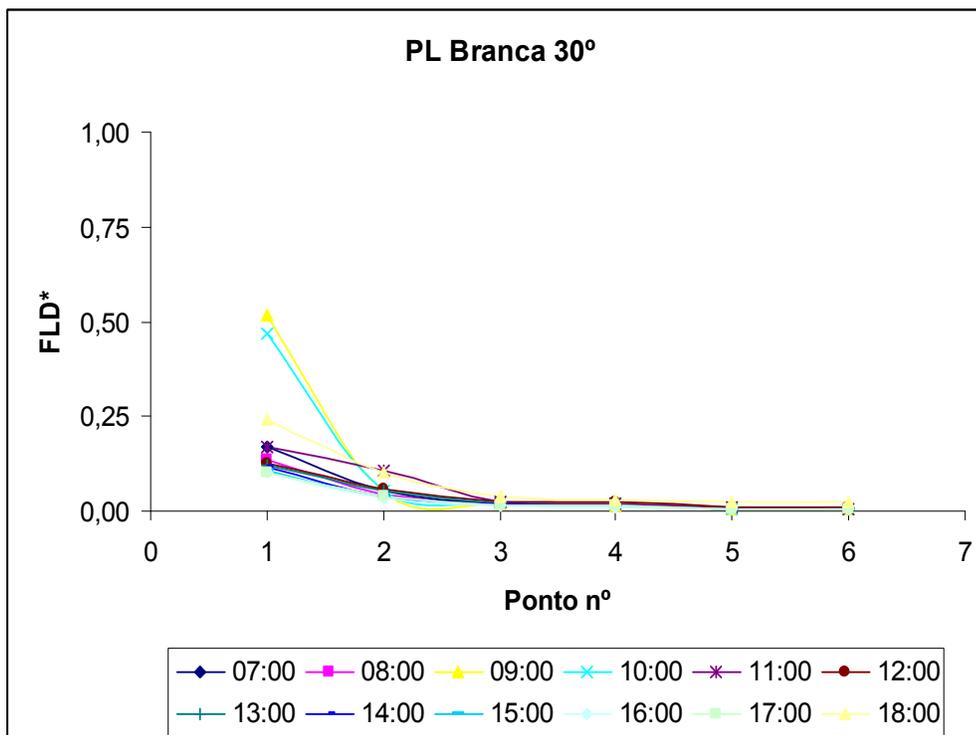
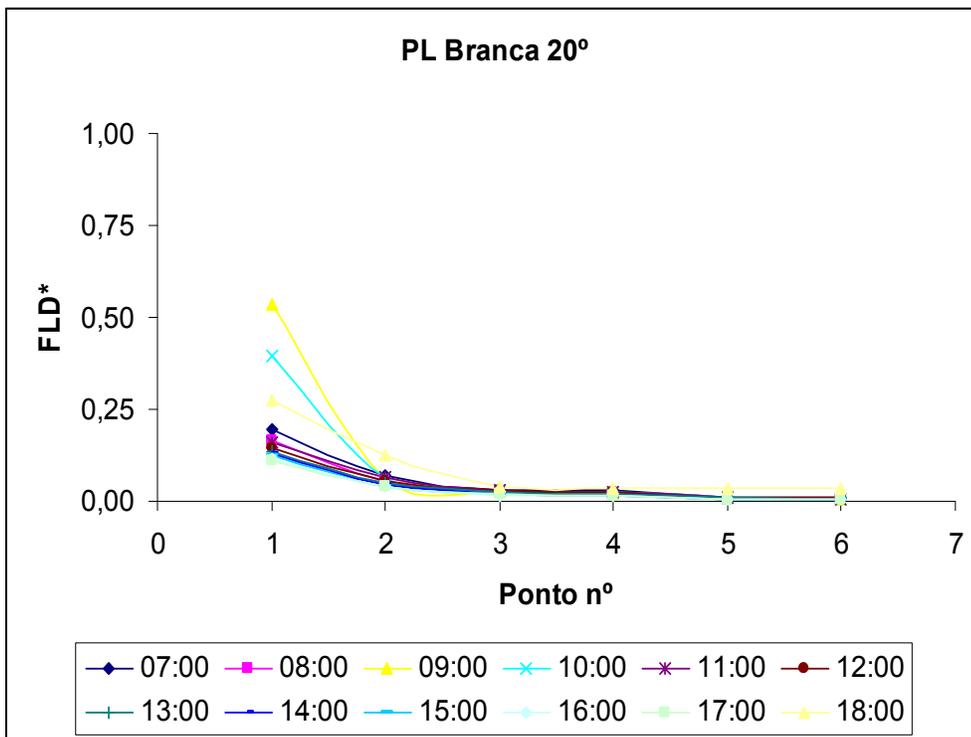
Analisando os gráficos das figuras acima, percebe-se uma variação muito pequena, quando se comparam os valores registrados nos pontos 3, 4, 5 e 6, ao contrário dos pontos 1 e 2, nos quais a variação torna-se significativa, principalmente nas situações sem PL e com PL espelhada horizontal. Para as demais situações, abertura lateral com PL branca horizontal e inclinada, essa diferença se mostrou equilibrada, não se destacando uma grande variação entre os pontos localizados próximos à abertura e os mais profundos.

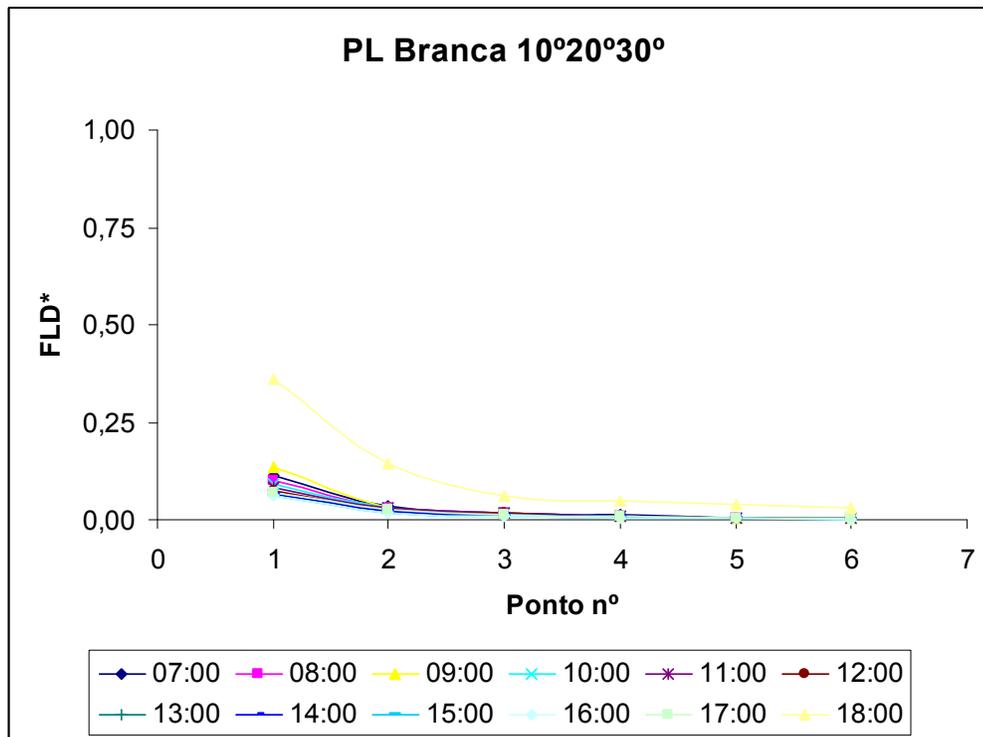
#### **4.2.4 Entrada de luz através dos sistemas que utilizam a luz do sol como fonte de iluminação natural**

Para facilitar a visualização da distribuição da luz no ambiente, foram elaborados gráficos nos quais são encontrados valores de FLD\* em todos os pontos de medição, em cada hora do dia nas sete situações experimentais. Para esses gráficos, também foram utilizados os valores médios de todos os dias de medição, nos períodos de maior atuação da luz direta do Sol.







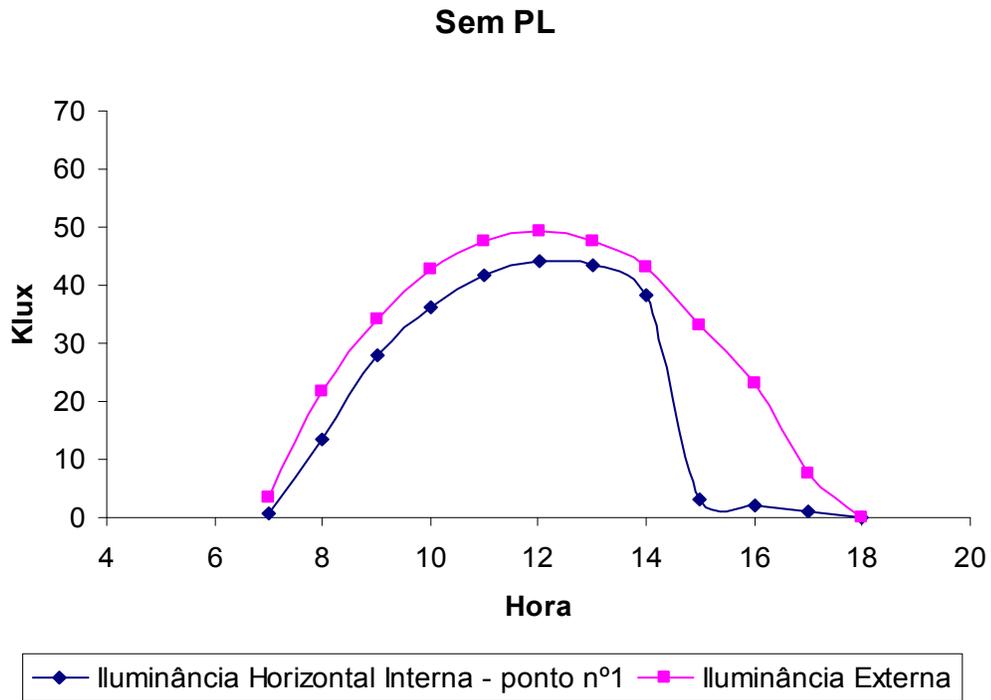


Conforme expectativas, pôde-se visualizar que na situação sem PL, grupo de controle, o valor do FLD\* chega próximo a 1, no sensor próximo à abertura lateral, fazendo com que esse sistema seja o responsável pelos níveis de iluminação interna mais elevados, podendo alcançar registros próximos à 50.000 lux.

Em seguida, adotando uma ordem decrescente, encontra-se o sistema com PL espelhada horizontal, que apresentou reduzida capacidade para bloquear a entrada direta da luz, assim como de distribuir essa luz no interior do ambiente.

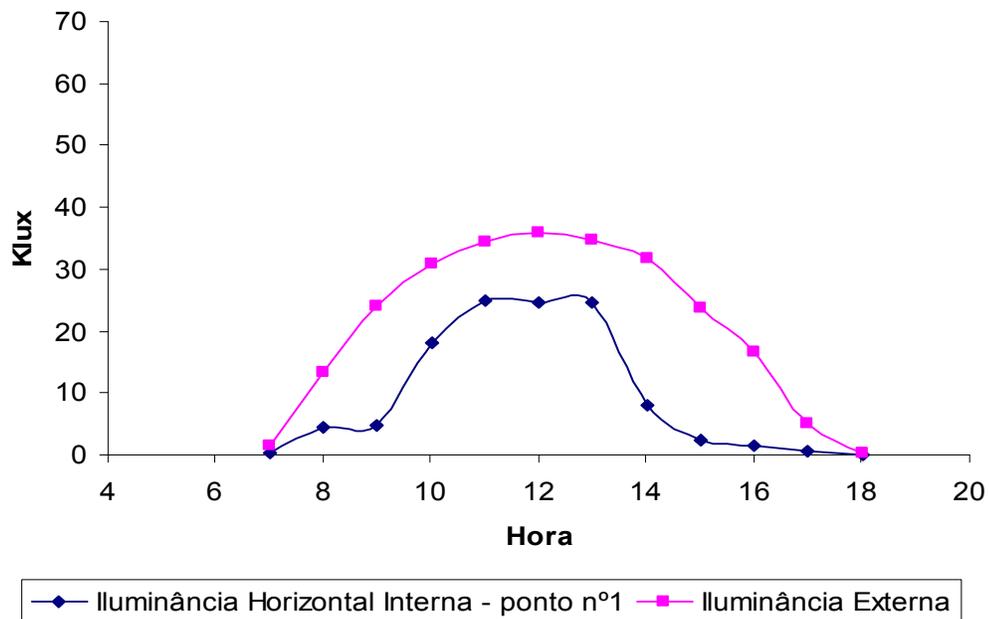
Os demais sistemas analisados, PL branca com diferentes inclinações, apresentaram resultados parecidos nos quais, durante quase todo o período de medição, o valor de FLD\* não ultrapassou 0,5% nos sensores posicionados próximo às aberturas, apresentando resultados satisfatórios, quando a questão é bloquear a luz direta do sol, principalmente quando esses sistemas são comparados com o sistema tradicionalmente encontrado nas construções – abertura lateral.

Na tentativa de esclarecer a capacidade de bloqueio da luz solar do objeto em estudo, desenvolveram-se gráficos de comparação entre a Iluminância externa e Iluminância interna no ponto 1, registrados simultaneamente.



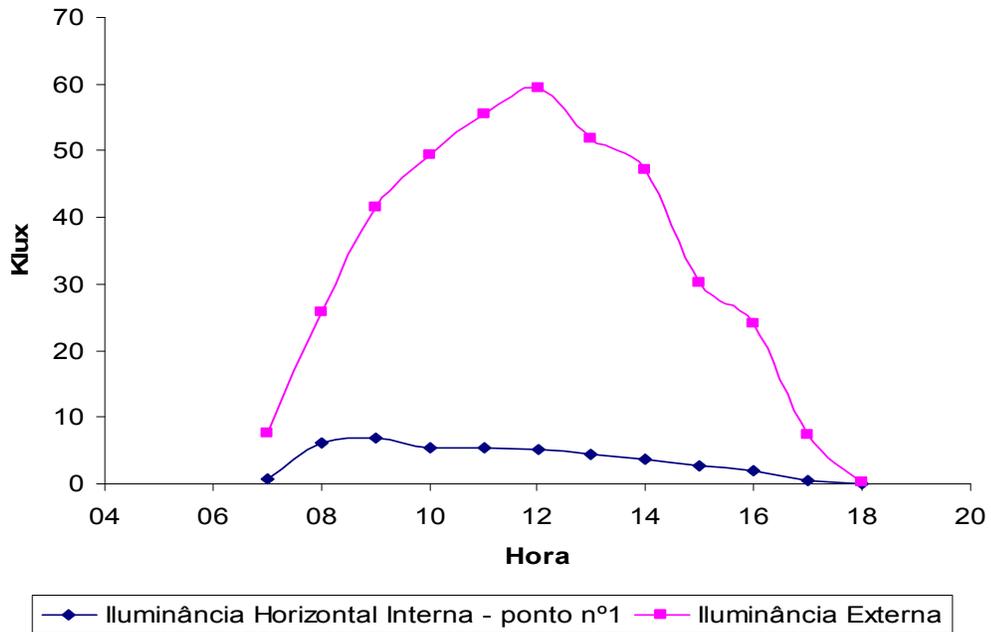
No gráfico anterior, verificou-se que, no sistema com abertura lateral livre, os valores de iluminância apresentados, interna e externamente, não possuem discrepâncias significativas, uma vez que a abertura lateral, posicionada para direção norte, não possui obstruções das PL. A pequena redução apresentada justifica-se pelo fato de o sensor, localizado no ponto 1, não se encontrar na face do protótipo e sim a uma distância 0,1928m.

### PL Espelhada Horizontal



No sistema com PL espelhada horizontal, registrou-se redução da iluminância no primeiro ponto do protótipo, porém essa redução ainda não pode ser considerada significativa, quando comparada com o sistema sem PL. A redução, nesse caso, variou entre 8,93 e 72,25%, apresentando um valor médio de 33,49%.

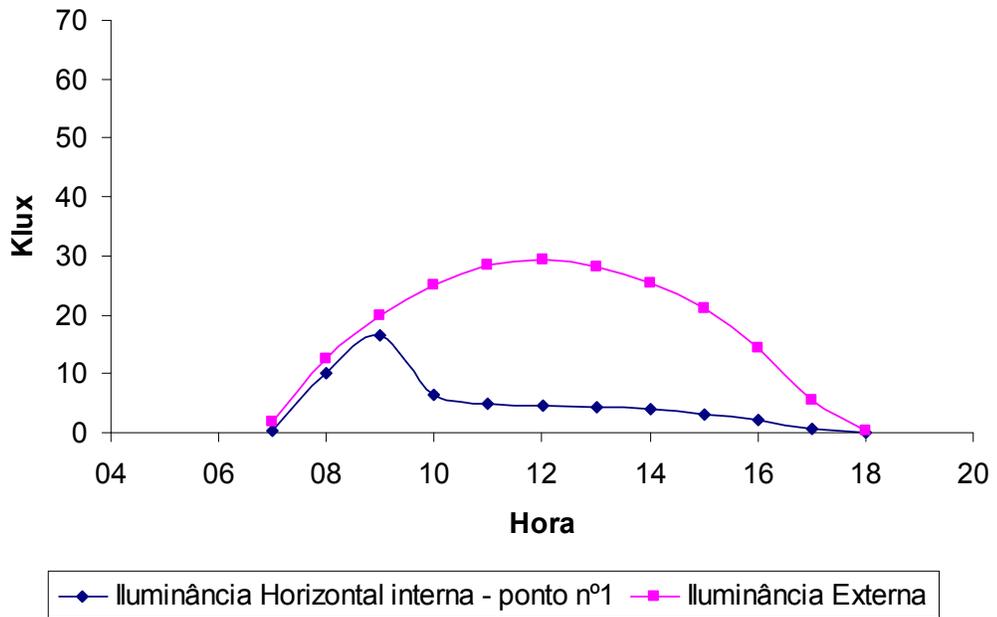
### PL Branca Horizontal



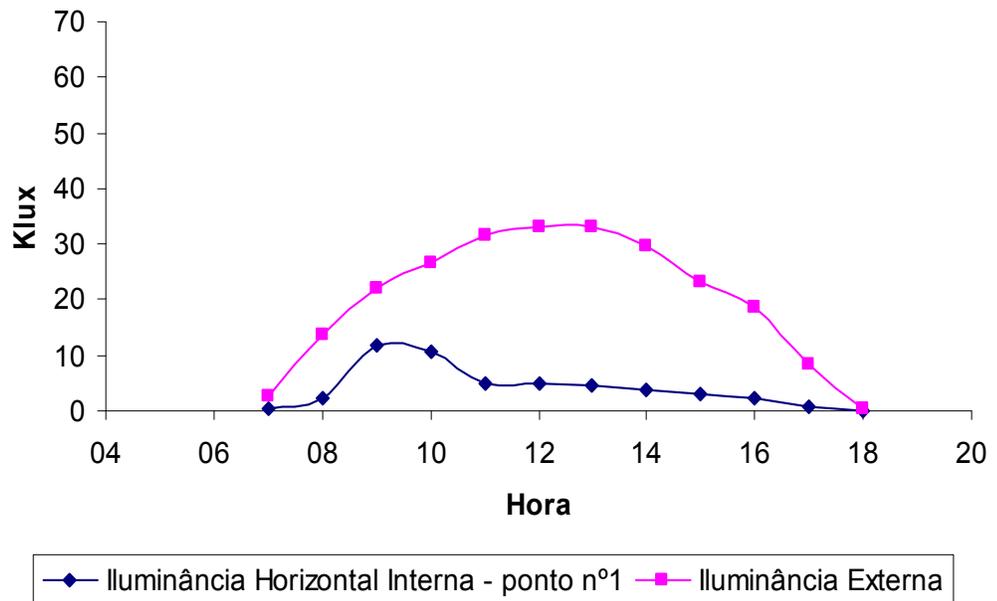
As PL branca horizontal apresentaram grande capacidade de bloqueio da luz direta, como pode ser comprovado no gráfico anterior, apresentando redução entre 7,63e 24,13% e cujo valor médio dos registros foi 11,15%.

Nos próximos três gráficos, os valores de Iluminância externa são inferiores aos registrados nos demais, sobretudo foi possível verificar a grande capacidade de bloqueio da luz direta do sol, próximo à abertura no interior do ambiente.

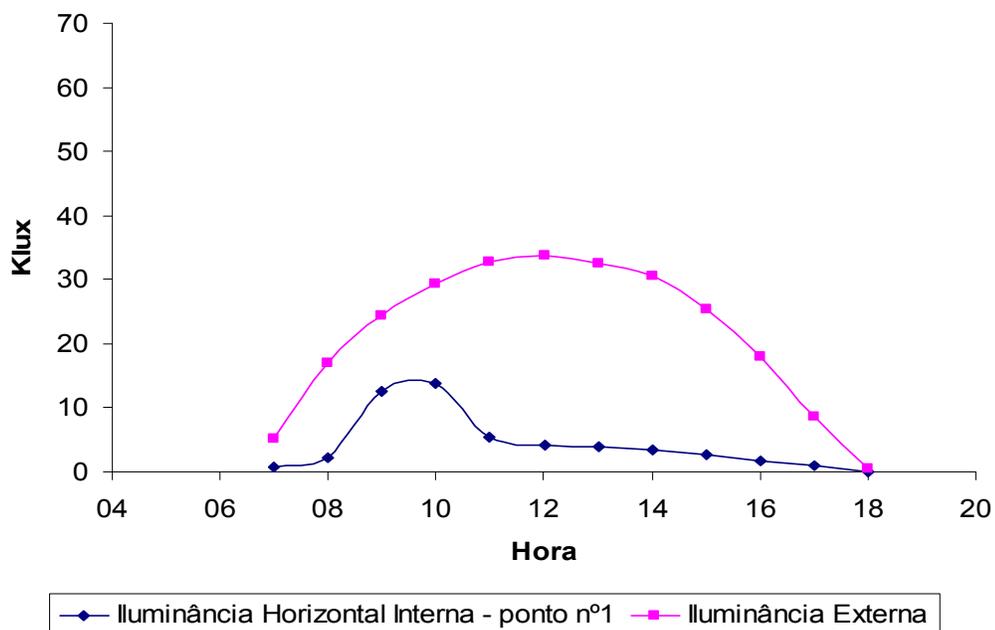
### PL Branca 10°



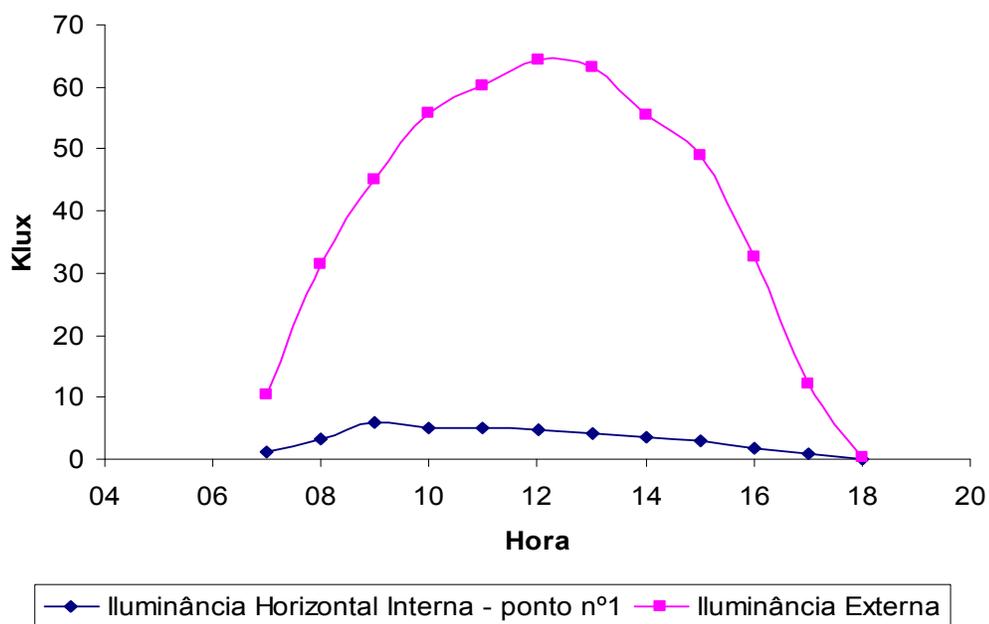
### PL Branca 20°



### PL Branca 30°



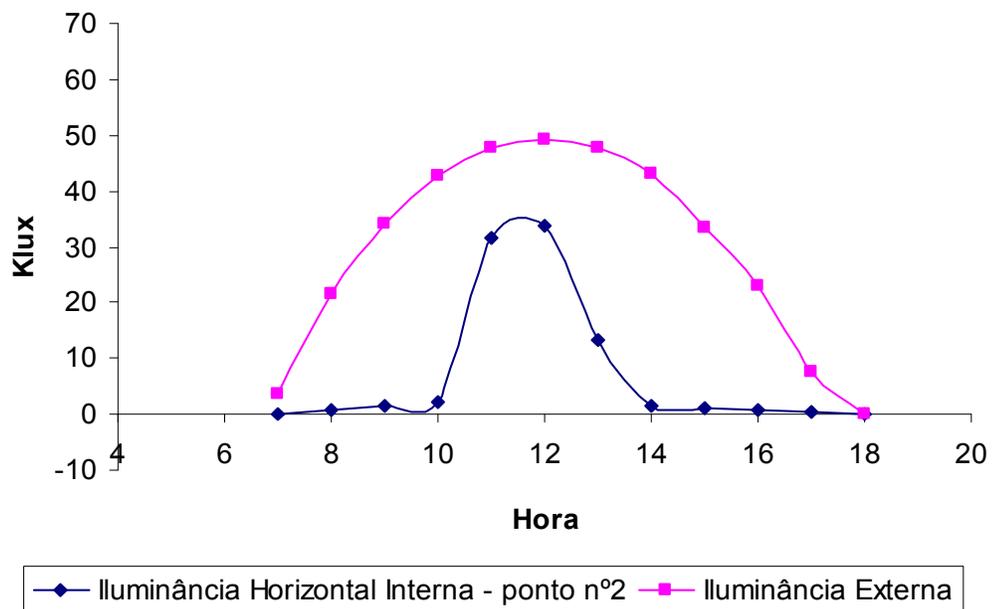
### PL Branca 10°20°30°



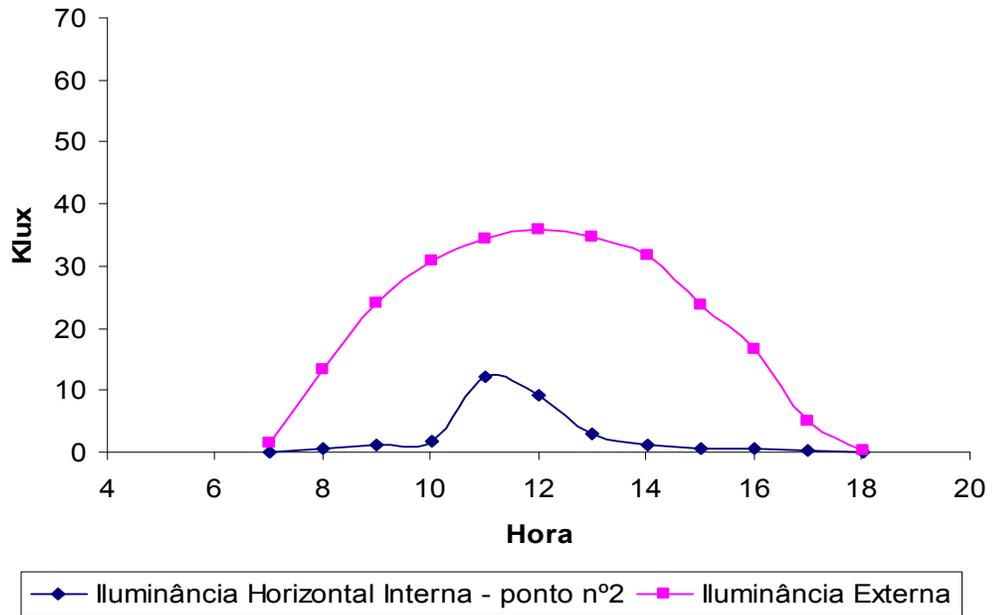
Assim como as quatro situações analisadas acima, com o sistema de PL branca inclinada, esta apresentou grande capacidade de bloqueio da luz direta do sol, reduzindo a entrada dessa luz numa variação de 5,88 e 36,08%, apresentando um valor médio de queda de 10,59%.

### Iluminância Interna ponto nº2

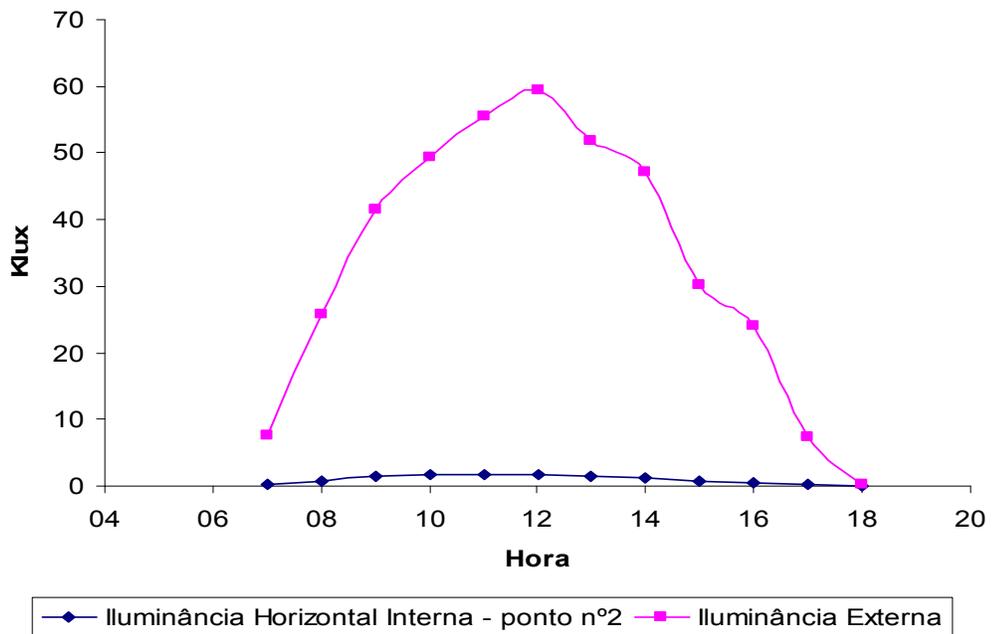
#### Sem PL



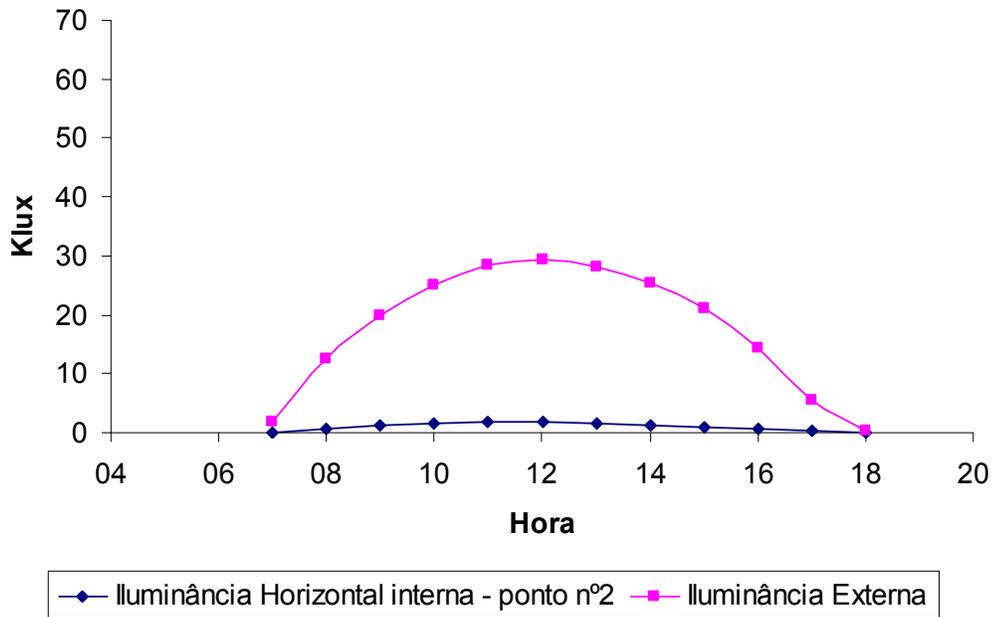
### PL Espelhada Horizontal



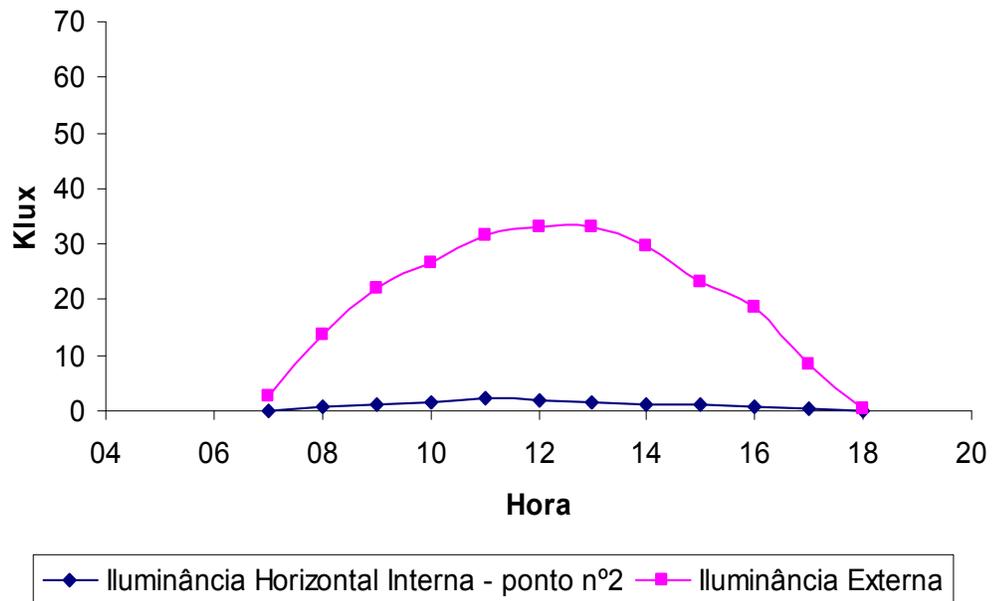
### PL Branca Horizontal



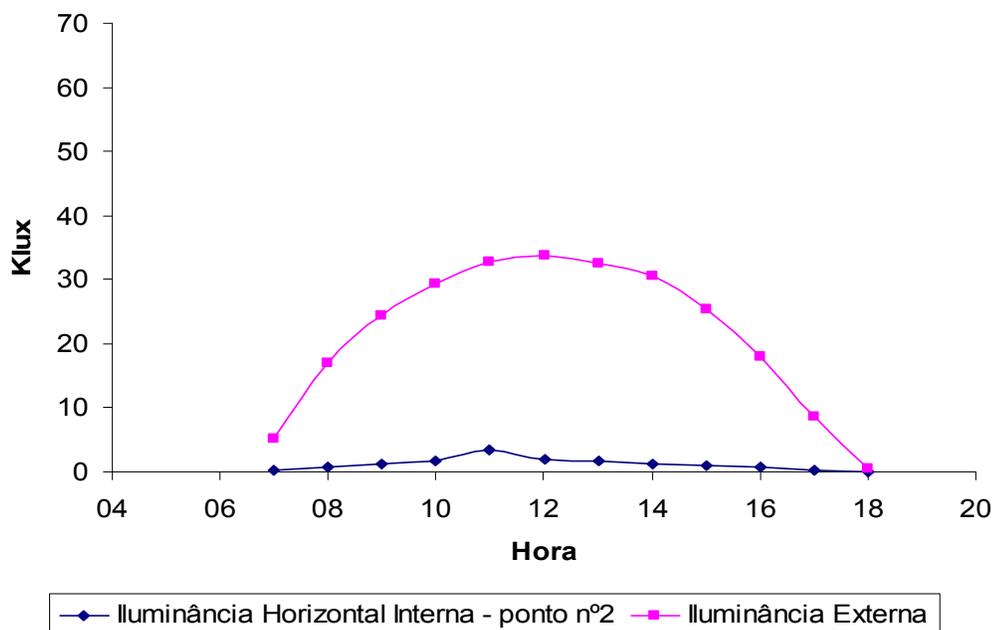
### PL Branca 10°



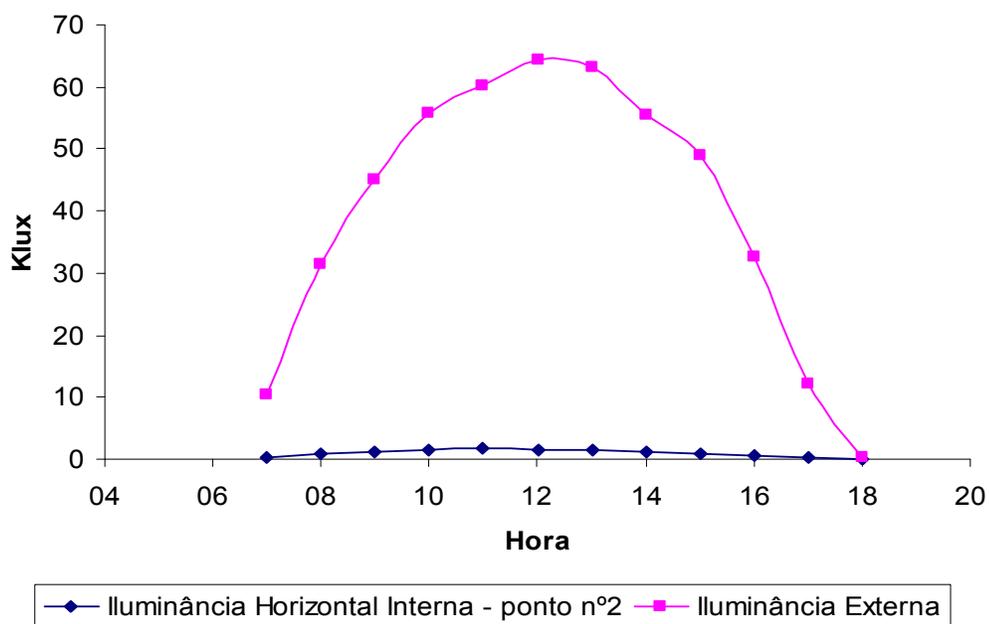
### PL Branca 20°



### PL Branca 30°



### PL Branca 10°20°30°



É importante salientar que a utilização das PLs proporciona reduções significativas na iluminância interna, nos períodos em que os ambientes estão sujeitos a um excesso de luminosidade, caso a situação fosse de abertura lateral simples.

Apesar da significativa redução de iluminância num ponto com a utilização da PL, esse ainda não pôde ser considerado como um sistema satisfatório, uma vez que, de acordo com a NBR 5413/1992, que especifica valores de iluminâncias para interiores, o nível cômodo de iluminação, relacionado com a natureza da tarefa visual, é de 500 lux para salas de aula, salas de leitura, escritórios, entre outros.

Nas medições experimentais, as situações que mais se aproximaram do valor de norma foi com PL branca horizontal e inclinadas. Mesmo assim, em horários de forte atuação do sol, esses valores ultrapassaram o dobro aceitável: 1.000 lux, resultando uma fadiga visual que vem a crescer com o aumento da luminosidade.

A partir dos resultados, concluiu-se que, em horários em que o nível de iluminância externa era extremamente elevado, com a utilização de sistemas redirecionadores da luz natural, quando dimensionados adequadamente, os mesmos são capazes de controlar a radiação solar e reduzir o desconforto causado pelo excesso de luminosidade no ambiente interno.

#### **4.2.5 Distribuição da luz no interior do ambiente**

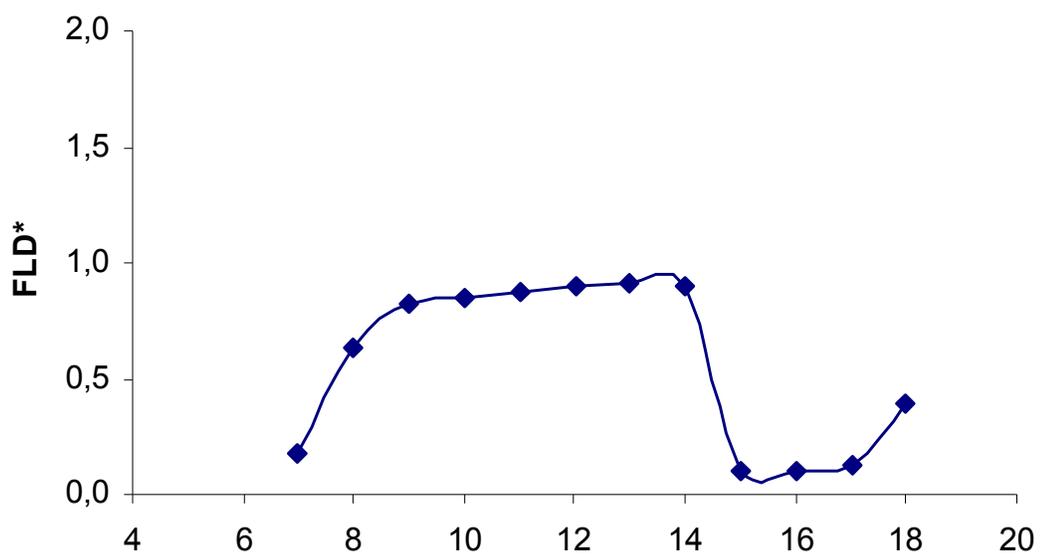
Para um sistema de proteção solar ser considerado satisfatório, além de controlar a passagem de luz para o interior, este deve ser capaz de distribuir uniformemente essa luz no ambiente.

Para melhor visualização dessa distribuição de luz, proporcionada por cada sistema no interior do protótipo, fez-se uso do FLD\* para cada ponto de medição.

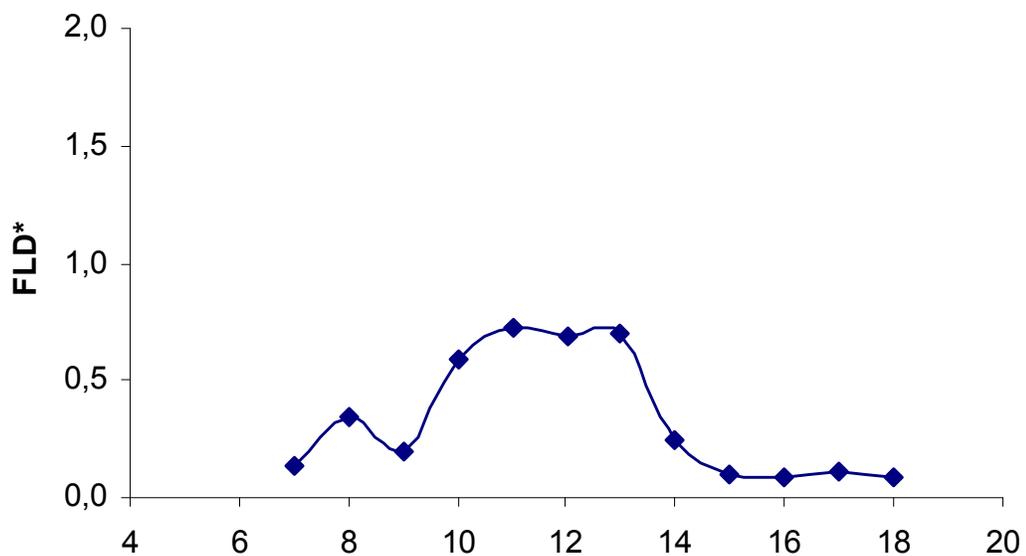
Comprando-se os resultados experimentais no ponto nº1 e o grupo de controle sem PL, observaram-se os seguintes resultados:

### FLD\* para Ponto nº1

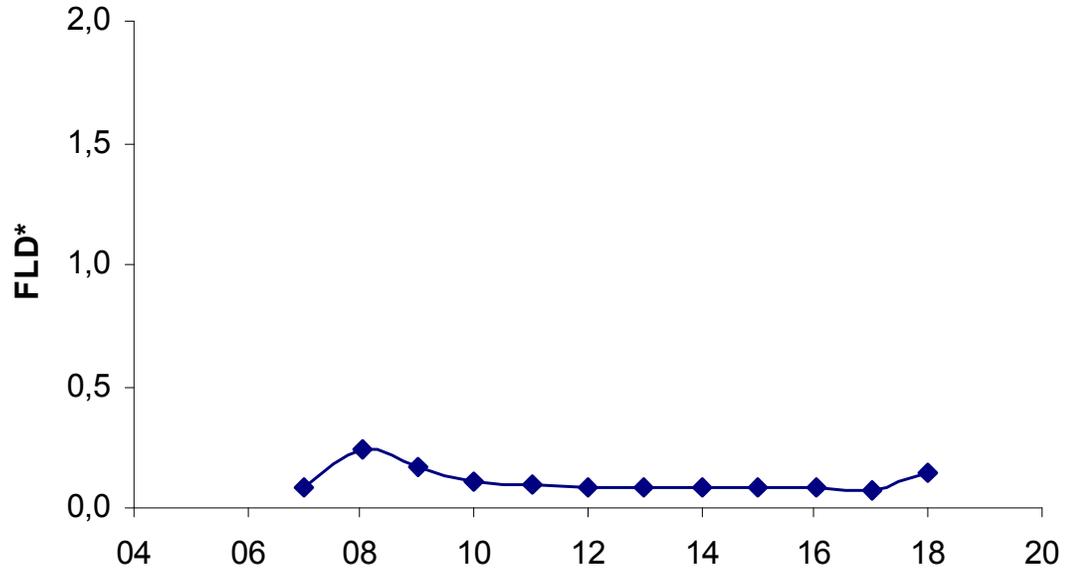
#### Sem Prateleira



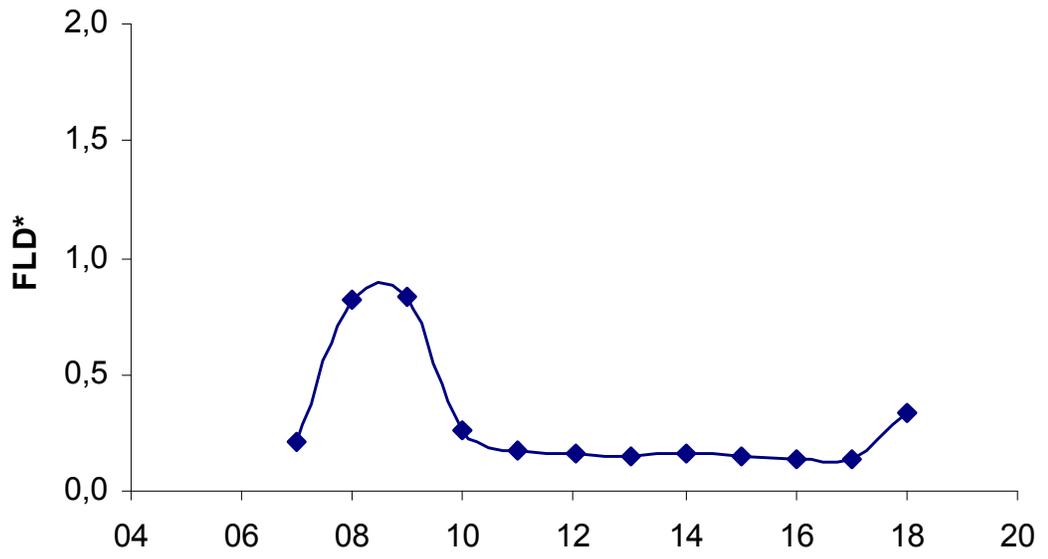
#### PL espelhada horizontal



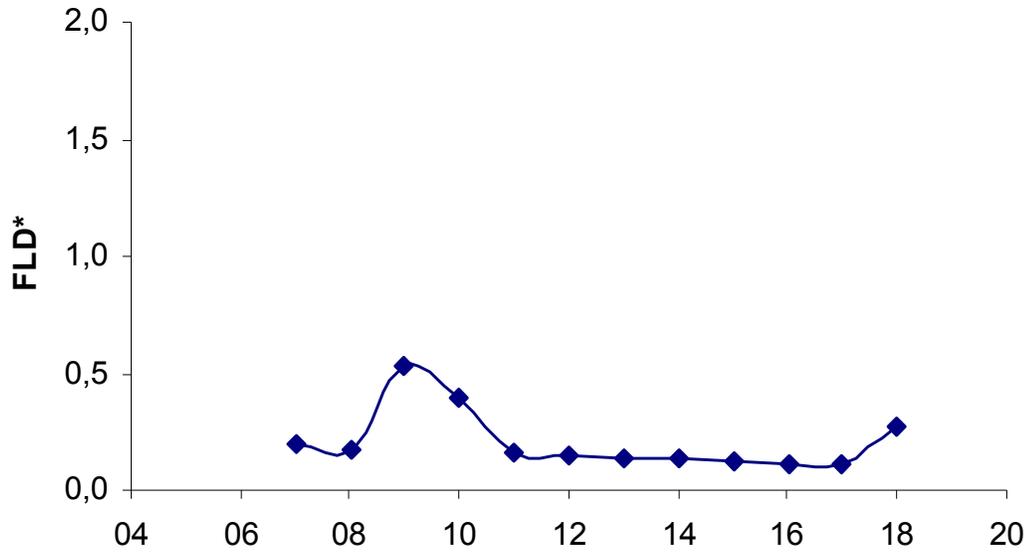
### PL Branca horizontal



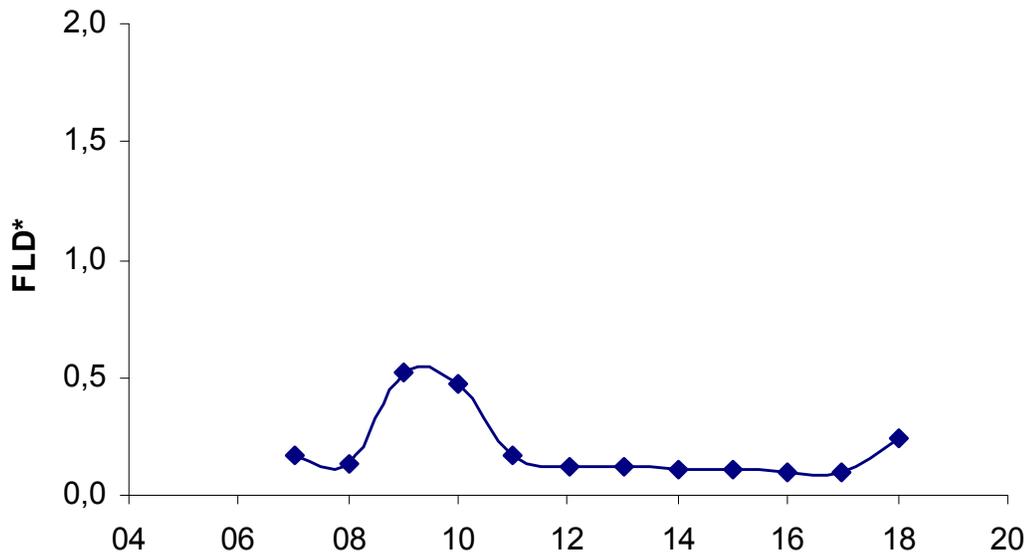
### PL branca 10°



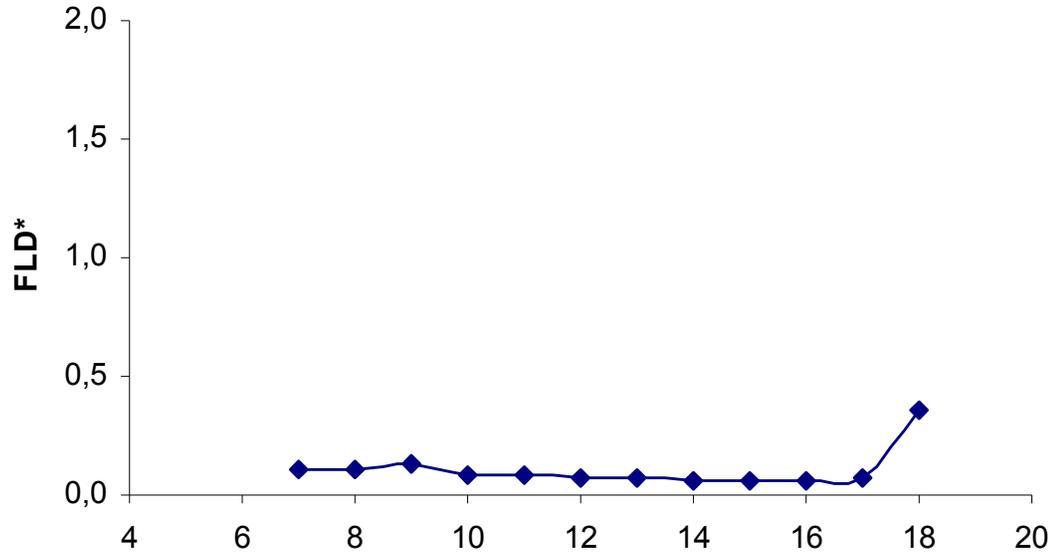
### PL branca 20°



### PL branca 30°



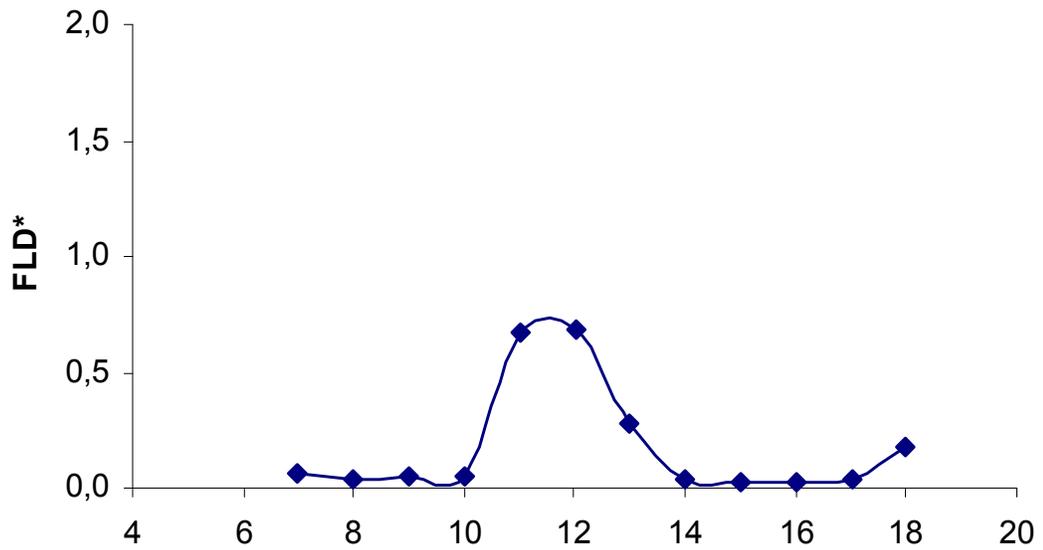
### PL branca 10°20°30°



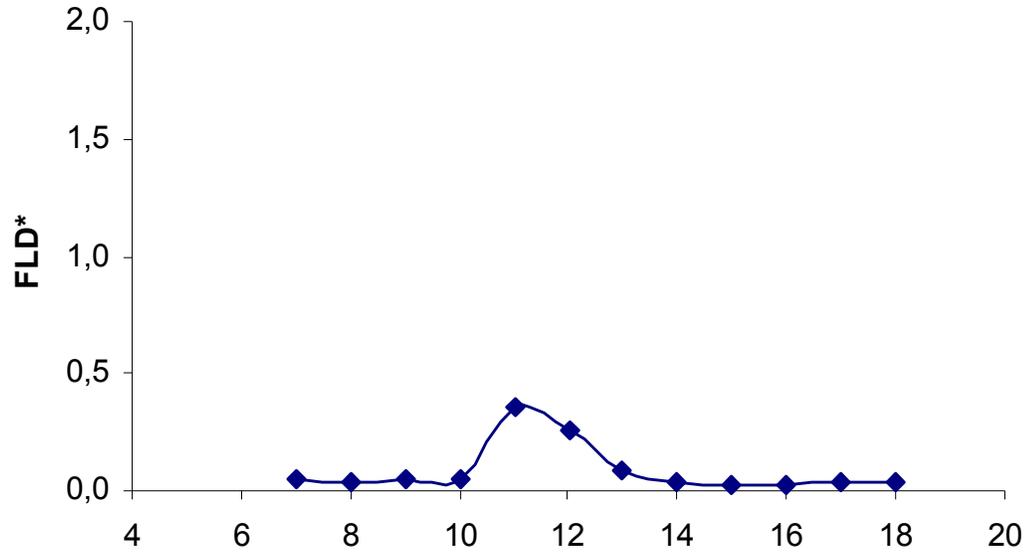
Agora com o ponto n°2:

### FLD\* para Ponto n°2

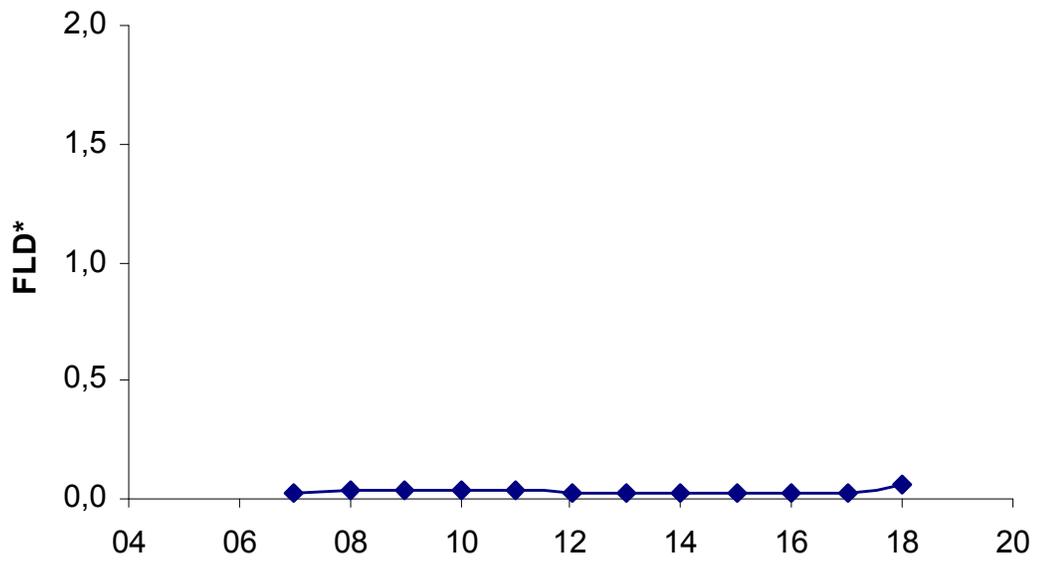
Sem Prateleira



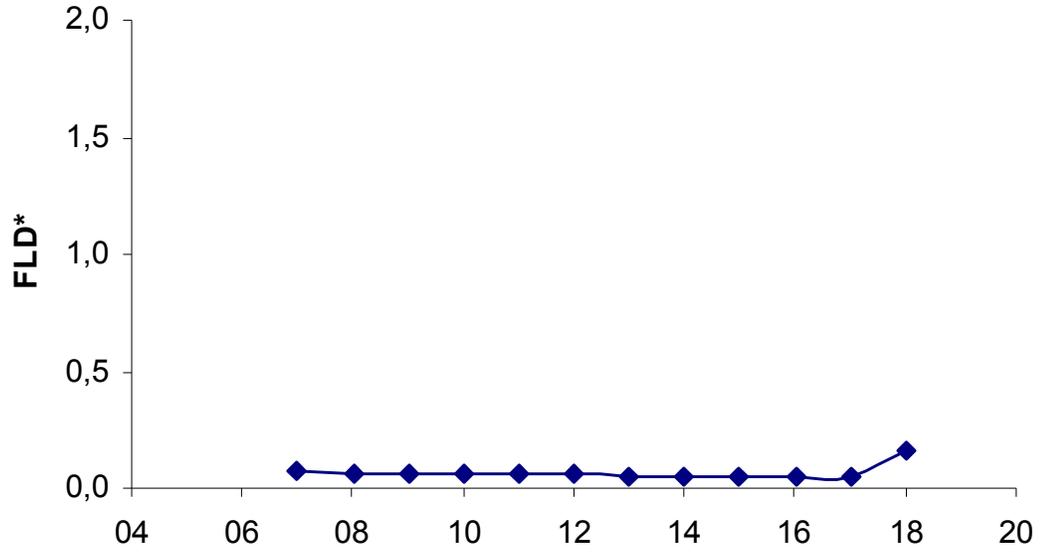
### PL Espelhada horizontal



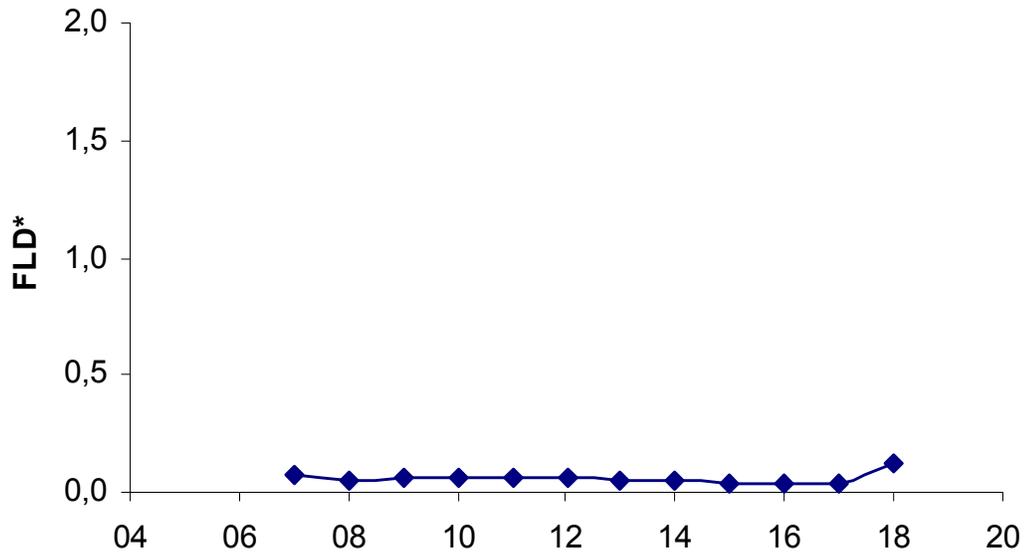
### PL Branca horizontal



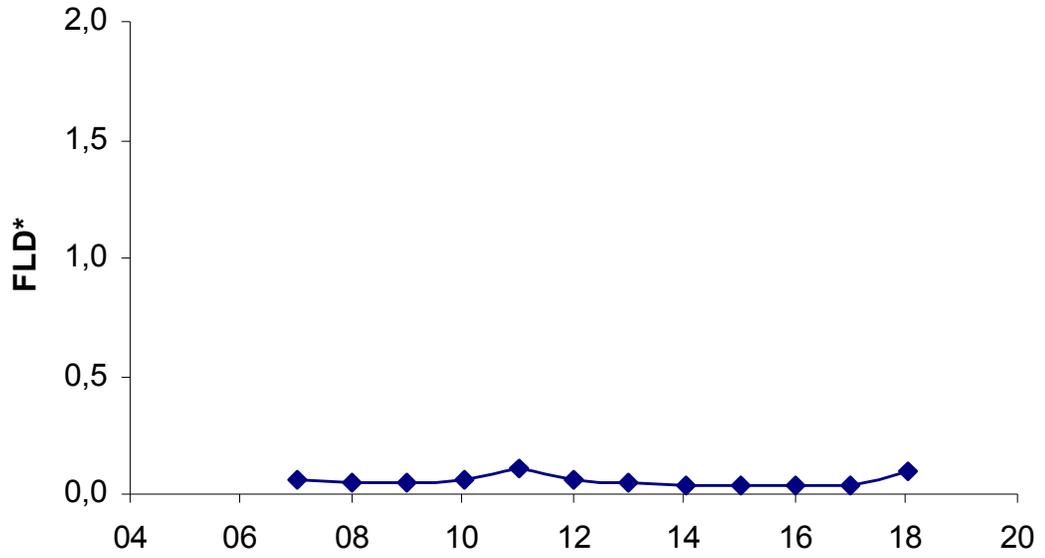
### PL branca 10°



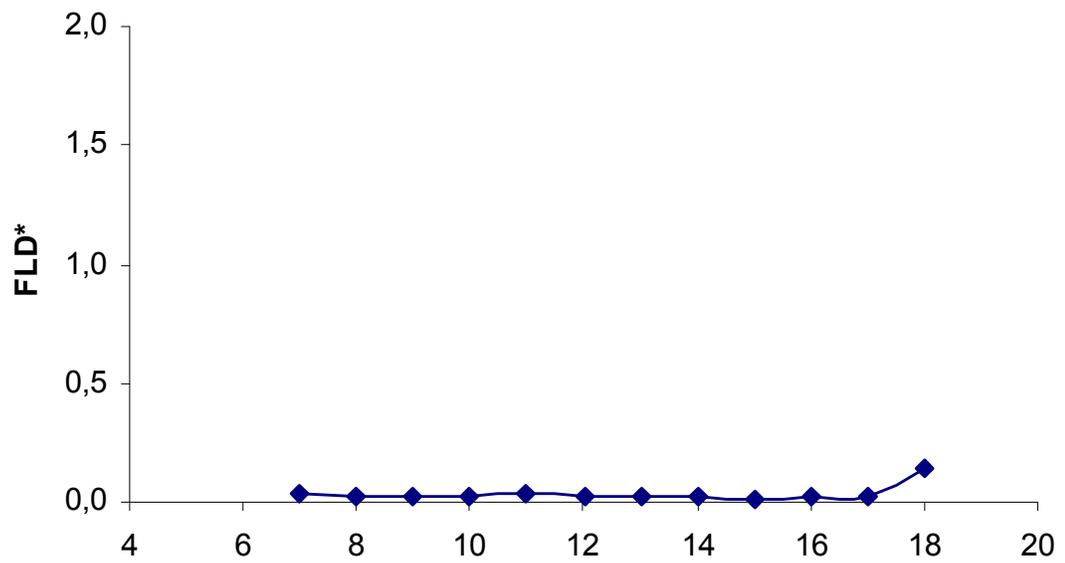
### PL branca 20°



### PL branca 30°



### PL branca 10°20°30°



Nos demais pontos, a variação entre os sistemas torna-se insignificante.

Conforme apresentado nos gráficos anteriores, a abertura lateral sem PL é o sistema que proporciona uma iluminação menos uniforme no ambiente. No ponto nº2, observa-se que o ápice da má distribuição da luz ocorre no período das 10 às 14 horas.

Quando comparado com o sistema de controle, principalmente no ponto nº1, as PL apresentam melhor desempenho, devido à sua capacidade de bloquear e redistribuir a luz do sol para o interior do ambiente. Entretanto, a PL espelhada horizontal não apresentou uma significativa redução de luz nesse ponto, quando comparada com os demais sistemas avaliados. Observando-se, nesse caso, uma distribuição da luz irregular, principalmente no intervalo das 10 horas às 13 horas.

Para PL branca, o resultado foi otimizado, uma vez que se observou uma distribuição mais uniforme da luz natural no interior do ambiente. Todavia, nem todos os pontos interiores atenderam ao recomendado, estando os níveis de razão entre iluminância interna e externa, em sua maioria, inferiores a 0,5%, valor tido como mínimo aceitável, na teoria do Fator de Luz Diurna tradicional.

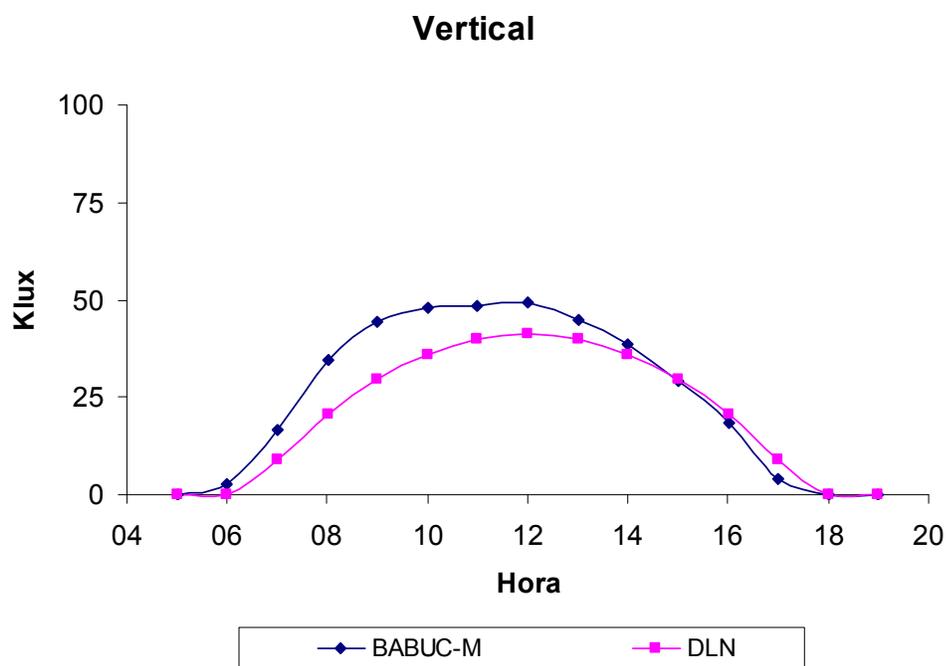
Conforme expectativas, em ambientes iluminados lateralmente, os níveis de iluminância decresceram com ao aumento da distância da abertura lateral.

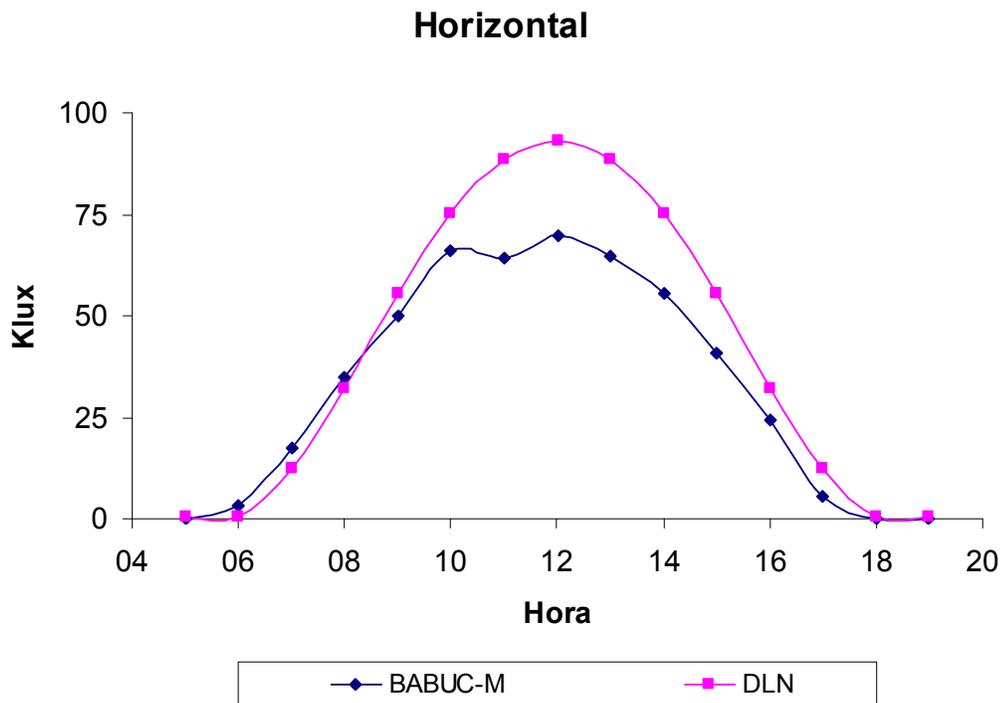
A obstrução solar direta, no sistema de PL, mostrou-se positivo quando comparado com o sistema de abertura lateral sem prateleira.

A partir das análises e gráficos anteriores, verificou-se que os sistemas que controlam a radiação solar não só reduzem os níveis de iluminação no interior do ambiente, como também são responsáveis pela uniformidade na distribuição da luminosidade.

## 4.2.6 Comparação dos resultados experimentais com os valores disponíveis no software DLN

A avaliação da qualidade dos resultados experimentais adquiridos realizou-se por meio de comparações entre os valores experimentais, fornecidos pelo aparelho BABUC-M, e os valores disponíveis no software DLN.





Os valores adquiridos no software DLN para céu parcialmente encoberto, situação mais próxima da realidade das médias dos dias em que foram realizadas as medições, tanto para vertical (Norte), como para horizontal, apresentaram resultados próximos dos adquiridos na medição experimental.

Apesar de o valor registrado na horizontal ser inferior ao do software, pode-se considerar a comparação positiva, uma vez que os gráficos apresentam forma geométrica semelhante e, levando-se em conta as incertezas de um programa computacional, além da variação das características da natureza, os valores adquiridos experimentalmente passam a ser considerados adequados para que sejam tomadas decisões, bem como para que conclusões sejam tiradas a partir dessas medições.

## **5 CONCLUSÃO**

### **5.1 Introdução**

A partir dos resultados obtidos na pesquisa e com o auxílio da literatura revista, observou-se que o sistema de iluminação natural estudado apresenta capacidade considerável de conservação de energia em ambientes internos, reduzindo, durante boa parte do dia, a utilização da luz artificial para obter ambientes com iluminação adequada.

O sistema em estudo proporciona iluminação natural mais uniforme do que os sistemas convencionais, gerando ambientes mais agradáveis (conforto visual) e com alta capacidade de economia de energia. As prateleiras de luz bloqueiam a entrada da luz solar direta, reduzindo a insolação, e redirecionam o fluxo luminoso para o teto, redistribuindo, de maneira uniforme, a luz para áreas profundas e distantes das aberturas laterais.

Ao final da pesquisa, foram obtidas características luminosas do sistema de Prateleiras de Luz: espelhada horizontal, branca horizontal, branca 10°, branca 20°, branca 30° e branca 10°20°30°. As PL foram indicadas como alternativa para melhorar o conforto e a eficiência energética na edificação, na cidade de Campinas.

A partir das análises realizadas puderam-se formular as seguintes conclusões:

- A metodologia proposta no trabalho mostrou-se apropriada para análise com comportamento luminoso do sistema de redirecionamento da luz natural, por meio do dispositivo “prateleira de luz”. Certamente, esse foi um importante aspecto do estudo, comprovando a eficiência da metodologia, no desempenho luminoso do sistema de iluminação natural, analisado a partir dos dados experimentais recolhidos em campo.
- Os dispositivos de redirecionamento da luz solar devem ser adequadamente projetados, uma vez que a variação do material utilizado resultou em significativo aumento no desempenho da PL, reduzindo a luz natural próxima à abertura e distribuindo-a para as áreas mais afastadas, no interior do ambiente em estudo.
- Os sistemas de aberturas laterais simples, que não possuem elementos de controle da luz solar direta, distribuíram a luz de forma irregular, causando ofuscamento, devido ao excesso de luminosidade nos ambientes próximos às aberturas.
- O sistema construído com PL espelhada horizontal, como redirecionamento da luz natural, não contribuiu significativamente para o melhoramento do nível de luminosidade interna.
- Quanto ao material utilizado, o modelo físico mostrou-se uma ferramenta adequada, comportando-se satisfatoriamente para aquisição dos valores da pesquisa. Além disso, a geometria interna do sistema de iluminação natural e da superfície interna, juntamente com a refletividade das superfícies interiores (somente teto refletor), são parâmetros importantes na aquisição dos resultados.

## **5.2 Limitações do Trabalho**

Para realização das medições dos níveis de iluminância interna e externa foi utilizado o aparelho BABUC – M, cujos sensores não estavam devidamente calibrados e, por diversos motivos, desenvolveu-se um método próprio para calibração dos sensores. Além disso, fez-se necessária a utilização de um filtro para que o aparelho não alcançasse sua capacidade de registro máximo, acarretando danos ao aparelho.

A metodologia utilizada baseou-se na realização de uma investigação experimental sob condições de céu real, por isso deve-se considerar que as medições foram sujeitas a grandes variações durante o dia. Para uma análise mais precisa (quantitativa) seria necessário um grande número de medições, distribuídas durante todo o ano.

Também vale salientar que os valores experimentais correspondem a um determinado dia, hora e a um ângulo de incidência, uma vez que o sistema não foi exposto a todas as possibilidades de orientações e ângulos de incidência da radiação sistema solar. Estas limitações impossibilitaram gerar diretrizes de projetos mais abrangentes.

### **5.3 Trabalhos Futuros**

Estudos com modelo em escala, para avaliar o desempenho luminoso do de Prateleiras de Luz para diferentes orientações da abertura lateral (Leste, Oeste e Sul).

Desenvolver base de dados para o sistema de PL sob a incidência de diferentes ângulos de incidência da radiação solar (durante todo o ano).

### **5.4 Conclusão**

Com os resultados obtidos, percebe-se que o sistema de PL apresenta grande capacidade para conservação de energia, quando projetado adequadamente. Pelos

valores com a utilização da PL branca, pode-se considerar dispensável a utilização da luz artificial em algumas horas do dia, além de proporcionar mais uniformidade na distribuição da luz no ambiente do que os sistemas tradicionais, o que gera maior conforto e eficiência energética, quando se compara com o sistema de abertura lateral – janelas.

A partir do estudo, foi possível obter características luminosas do sistema de PL horizontal e com inclinações, identificando a influência de diferentes ângulos no resultado de luminosidade no interior dos ambientes. Esse sistema pode ser adotado como uma alternativa para melhorar o conforto e a eficiência energética das edificações, possibilitando a introdução e o controle da luz solar em quantidades adequadas, como uma opção de iluminação natural.

A PL, quando adequadamente posicionada, também pode solucionar problemas de introdução da luz natural em espaços internos profundos.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BECCALI, M.; FERRARI, S. **Energy Saving and Comfort in Office Building: Performance of Different Combinations of Window Technologies and Lighting Control Strategies** In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 20., 12 de novembro de 2003, Santiago - Chile.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2000/Ano Base 1999**, Brasília, MME, 2000.

\_\_\_\_\_, **Balanco Energético Nacional 2005/Ano Base 2000**, Brasília, MME, 2005.

BRASIL, Ministério da Indústria e do Comércio. **Comissão Nacional da Indústria da Construção Civil. "Consumo energético nos edifícios"**, Rio de Janeiro, 1984.

COURRET, G.; SCARTEZZINI, J.L.; FRANCIOLI, D.; MEYER, J.J. Design and assessment of an anidolic light-duct. **Energy and Buildings**, v. 28, p. 79-99, 1998.

CYSNEIROS, D.J. **Avaliação Lumínica das salas de aula da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco**. 2004. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco,

EDMONDS, I.R. ; MOORE, G.I. ; SMITH, G.B. ; SWIFT, P.D. Daylighting enhancement with light pipes coupled to laser-cut light-deflecting panels. **Lighting Research & Technology**, Brisbane, v. 27, n. 1, p. 27-35, 1995.

ELMUALIM, A.A.; SMITH, S.; RIFFAT, S.B.; SHAO, L. Evaluation of dichroic material for enhancing light pipe/natural ventilation and day lighting in an integrated system. **Applied Energy**, Nottingham, v. 62, n. 4, p. 253-266, abril 1999.

GHISI, E.;TINKER. J. **Optimizing energy consumption in offices as function of window area and room size.** In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 17<sup>a</sup>, 2001, Rio de Janeiro - Brasil.

HOPKINSON, R.G. **Iluminação Natural.** 2 ed. Lisboa, Fundação C. Gulbenkian, 1980. 776 p.

LAM, William M. C.(1986). **Sunlighting as formgiver for architecture.** Nova York: Van Nostrand Reinold Company.

LEE, A.S.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R. **Verificação da eficiência energética de um edifício de escritórios através de simulação computacional: Estudo de caso no departamento de engenharia civil da UFSC** In: ENCAC - VI ENCONTRO

LESLIE, R.P. **Capturing the day lighting dividend in buildings: why and how?** In: BUILDING AND ENVIRONMENT, 2002, Nova York - EUA.

LYNES, A.J. et al. **Bracelet for total solar shading.** Lighting Research and Technology. Vol 20. No.3 (1988).

MACÊDO, C.C. **Análise do Desempenho Térmico e Luminoso de Sistemas de Iluminação Natural que Utilizam a Luz Direta do Sol.** Florianópolis - SC, 2002. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

MAGALHÃES, L.C. **Orientações Gerais para conservação de energia elétrica em edificações.** Eletrobrás, 2002.

MASCARÓ, J. L., MASCARÓ, L. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios.** Porto Alegre: Luzzato, 1989.

NBR15215-4/2005. **Iluminação Natural, Parte 4: Verificação Experimental das Condições de Iluminação Interna de Edificações.**

NBR 5413/1992. **Iluminância de interiores.**

PROCEL, **Manual de Conservação de Energia Elétrica em Edifícios Comerciais e Públicos.** Eletrobrás. Rio de Janeiro – RJ, 1988.

PROCEL, **Manual de Conservação de Energia Elétrica em Edifícios Comerciais e Públicos.** Eletrobrás, 2005.

ROSENFELD, A. H. & SELKOWITZ, S. E., (1977). **Beam Day lighting: an Alternative Illumination Technique.** IES Lighting Review .

SARA, V. Researches make sunlight 'cool'. **Australian Research Council-ARC,** Canberra - Australia, jan. 2003.

SHAVA, M. **Mudança de Comportamento, elemento essencial na conservação de energia.** *In:* ENCAC, VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre conforto no ambiente construído, 2001, São Pedro - SP.

SILVA, A.D. **Avaliação Teórica e Experimental do Desempenho de Dutos de Luz.** São Carlos - SP, 2005. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos.

SWIFT, P.D. ; SMITH, G.B. Cylindrical mirror light pipes. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, Amsterdam, v. 36, n. 2, p. 159-168, fevereiro 1995.

URRIOL, J.J.E.; LARA, M.A.; PIACENTINI, R.D. Passive Solar Light-ducts. **Applied Energy**, p. 95-105, 1987.

YAMAMOTO, I.; KRÜGRER, E.; DUMKE, E. **Avaliação do potencial de prateleiras de luz na redução do consumo de energia elétrica em ambiente escolares Curitiba,** 2003. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - CEFET-PR, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

ZHANG, X.; MUNEER, T. Mathematical model for performance of light pipes. **Lighting Research and Technology**, Great Britain. The Chartered Institution of Building Services Engineers, v. 32, n. 3, p. 141-146, 2000.

<[www.epa.gov/globalwarming/emissions/individual/index.html](http://www.epa.gov/globalwarming/emissions/individual/index.html)>. Acesso em jan. 2005.

<[www.eppleylab.com/PrdShadingDevices.htm](http://www.eppleylab.com/PrdShadingDevices.htm)>. Acesso em nov. 2005.

<[www.comciencia.br/reportagens/2004/12/02.shtml](http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/02.shtml)>. Acesso em nov. 2005.