



CONTRIBUIÇÃO DE DUTOS DE LUZ À QUALIDADE DA ILUMINAÇÃO PROPORCIONADA POR JANELA LATERAL

Andrigo Demétrio da Silva (1); Mauricio Roriz (2); EneDir Ghisi (3)

(1) Universidade Federal de São Carlos – São Carlos, SP. (16)3306-8386.andrigosilva@yahoo.com.br

(2) Universidade Federal de São Carlos – São Carlos, SP. (16)3361-1442.m.roriz@terra.com.br

(3) Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, SC. (14)331-5185.enedir@labeee.ufsc.br

RESUMO

Grande parte das edificações adota aberturas laterais para captação da luz natural. Esta solução, entretanto, provoca má distribuição das iluminâncias internas, com níveis geralmente muito baixos nos pontos mais distantes da janela, podendo gerar a necessidade de iluminação elétrica diurna complementar. Ampliar as dimensões das janelas, além de não melhorar a distribuição da luz, costuma agregar indesejável carga térmica à edificação. Desenvolveu-se, então, uma pesquisa experimental para quantificar a contribuição que poderia ser proporcionada por Dutos de Luz (DLs), se adicionados ao ambiente. Os experimentos foram realizados na cidade de São Carlos (SP), em modelo de sala de aula construído em escala reduzida, onde foram medidas as iluminâncias internas, com o Duto de Luz ou sem ele, durante algumas horas de nove dias, entre dezembro de 2004 e fevereiro de 2005. Considerando-se os níveis de iluminação recomendados pela ABNT, os resultados indicaram que o DL pode melhorar a distribuição da luz e dispensar a iluminação elétrica diurna.

Palavras-chave: Duto de Luz, Eficiência Energética, Conforto Lumínico, Iluminação Natural.

ABSTRACT

In most buildings the provision of daylight is achieved through windows. However, the daylight distribution is uneven and decreases quickly as the distance from the window wall increases; and the use of artificial light may be necessary to complement the lighting requirements. Increasing the window area may not improve the daylight distribution and may contribute to increasing the thermal load into the building. Thus, the main objective of this research was to evaluate the contribution of light pipes to increase daylighting levels supplied by windows. The measurements were performed with and without light pipes and took place during some hours in nine days over the period December 2004 - February 2005. Scale models representing classrooms in the city of São Carlos, state of São Paulo, were used for the measurements. Taking into account the illuminance levels recommended by the Brazilian standards for classrooms, results indicate that light pipes can improve daylight distribution in the space and minimise the use of artificial lighting.

Keywords: light pipes, energy efficiency, visual comfort, daylighting

1. INTRODUÇÃO

Os transtornos provocados recentemente no Brasil pelo racionamento de energia começaram a despertar nos diversos setores da sociedade uma consciência sobre a importância de procurar-se formas mais sustentáveis para a obtenção de energia. Os sistemas elétricos de iluminação de ambientes são responsáveis por significativa parcela do total de energia consumida em edificações. A luz natural, por outro lado, é abundante, gratuita e oferece o espectro mais favorável à saúde e à eficiência das pessoas em suas atividades produtivas. Entretanto os sistemas convencionais de iluminação natural, que adotam apenas aberturas laterais (janelas), apresentam sérias limitações quanto à distribuição dos

níveis de iluminância dos ambientes. Tais limitações podem ser atenuadas, ou mesmo superadas, pela utilização de mecanismos de redirecionamento da luz solar, como os chamados Dutos de Luz (DLs). Assim como a água é normalmente distribuída por meio de dutos em uma edificação, a luz também pode ser, aplicando-se racionalmente as propriedades ópticas dos materiais. Os DLs captam a luz natural e a conduzem, por meio de sucessivas reflexões, distribuindo-a no interior do ambiente. Se bem utilizada, a iluminação por meio de DLs pode trazer um maior conforto visual aos usuários, ao proporcionar boa distribuição da luz e fidelidade de cores sem o consumo de energia elétrica. Quando aliada a outros aspectos de conforto ambiental, interfere positivamente no conforto e bem-estar das pessoas e, conseqüentemente, no seu desempenho nas diversas atividades num edifício (CALIFORNIA, 2003), além de ser, a luz natural, indispensável à saúde humana. A produção científica é grande, mas ainda existem muitos aspectos a serem estudados e alguns deles dependem do céu e latitude locais, não podendo ser generalizados. Aspectos como a distribuição da luz, a melhor geometria e o alcance dos DLs não estão bem esclarecidos. A busca pela adequação dos estudos às características do Brasil, contribuindo para a melhor compreensão dos aspectos ainda não resolvidos motiva a realização deste projeto.

A importância do estudo é confirmada pelo fato de haver pesquisas recentes (a partir da década de 80) realizadas na Argentina (URRIOL et al., 1987), Europa (COURRET et al, 1998; ELMUALIM et al, 1999; OAKLEY et al, 2000) e Ásia (CHIRARATTANANON et al, 2000) e relativamente poucas pesquisas no Brasil, país onde as condições climáticas são favoráveis ao uso da iluminação natural.

O presente trabalho buscou comparar a iluminação interna numa maquete com e sem o uso de DL, através da obtenção das curvas de distribuição de iluminâncias e comparação com os níveis recomendados pela norma brasileira (ABNT, 1991).

2. DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

O projeto e a construção da maquete (figuras 1 e 2) tiveram como objetivo a possibilidade de realizar modificações – em paredes, forro e piso – na disposição de aberturas, tipo e posicionamento do DL e na altura do pé-direito. Além disso, a maquete precisaria ser leve, fácil de transportar, mas que resistisse ao transporte e à manipulação. As paredes foram feitas de poliestireno expandido reforçado com papel cartão, colado nas duas faces, e podem ser removidas e substituídas, dependendo do estudo a ser realizado. Para dar rigidez e estabilidade ao conjunto, fez-se a estrutura com perfis de alumínio e base em madeira aglomerada. Para o forro, optou-se por PVC, que se ajustou à modulação da maquete, possibilitando variar as posições ou as dimensões do DL. Pode-se, ainda, alterar o pé-direito, para reproduzir as proporções típicas de edificações residenciais, escolares, ou industriais.

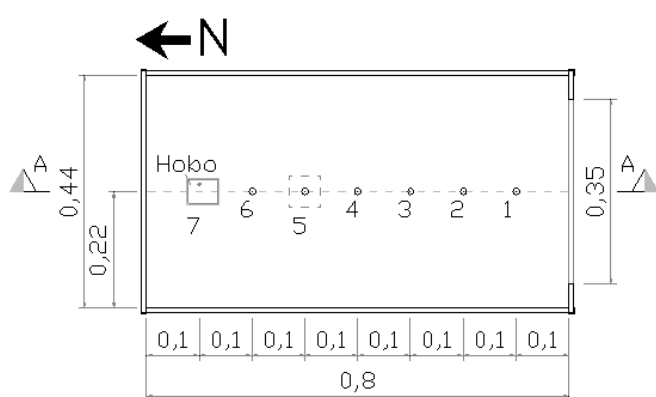


Fig. 1: Planta da maquete (medidas em metro)

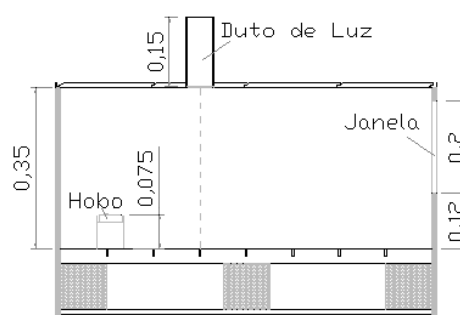


Figura 2: Corte A-A da maquete

A maquete foi posteriormente coberta internamente com papel preto fosco, de modo a eliminar a reflexão da luz nas paredes, forro e piso. Isso foi feito com a intenção de diminuir o número de variáveis que interferem no processo, o que será importante em etapas futuras deste projeto de pesquisa. Os elementos que contêm vidro, na escala real, foram deixados sem material algum na maquete. A maquete possui comprimento de 0,80 metros e largura de 0,44 metros, e o pé-direito pode

variando até um máximo de 0,45 metros, na escala 1:10. As dimensões da maquete, indicadas nas figuras 1 e 2, correspondem a um ambiente real de 8,0 x 4,4 x 3,5 metros.

O Duto de Luz foi feito de espelho comum, com seção quadrada – de lados com 0,06 metros (1:10) – constante ao longo do comprimento, que é de 0,15 metros (1:10). Para fazer a distribuição da luz no ambiente, utilizou-se como material difusor o acrílico leitoso, por ser um material fácil de adquirir, com preço acessível e que proporciona um bom espalhamento da luz.

Foram usados dois registradores Hobo – que medem e armazenam dados de iluminância – para as medidas internas e um luxímetro manual Gössen para as iluminâncias externas no plano horizontal.

3. METODOLOGIA

Foram feitas medições em nove dias diferentes, entre Dezembro de 2004 e Fevereiro de 2005, período em que vigorava o horário de verão. As medições dependeram da ausência de chuva e mau-tempo, da presença de funcionários na obra para acesso ao local de medição e da disponibilidade dos aparelhos, também utilizados em outras pesquisas. Foram verificadas as diferenças entre os níveis de iluminação com o Duto de Luz e sem ele, bem como o atendimento às recomendações da norma brasileira para salas de aula (ABNT, 1991).

As iluminâncias internas foram obtidas em sete pontos, com distância de dez centímetros entre eles, ao longo de um eixo central no ambiente, perpendicular à parede na qual está a janela. Um registrador permaneceu na posição 1, a dez centímetros da janela, e registrou os valores de iluminância tomados como de referência (E_{ref}) e o outro registrou os valores das iluminâncias (E) nas outras posições (pontos 2 a 7). O sensor ficou a uma altura de 7,5 centímetros do piso da maquete. Em cada ponto, o aparelho permaneceu durante 30 minutos. O valor que representa cada ponto é a média de sete valores. Ao tomar como referência o ponto 1, pode-se fazer a proporção entre os valores obtidos, ao mesmo tempo, neste e em diferentes pontos. O ponto 1 serve como correção da variação de iluminância do céu, para que se possa comparar os valores obtidos em tempos diferentes.

Esse método foi adotado pelo fato de não se dispor de mais aparelhos para a medição simultânea de vários pontos. O valor estimado das iluminâncias médias é, então, obtido ao multiplicar os fatores (E/E_{ref}) pela média das iluminâncias externas obtidas durante o período de medição. Embora aproximado, este procedimento possibilita a análise dos dados. Os fatores (E/E_{ref}) calculados e os valores absolutos (lux) foram usados para comparar a luz provida pela janela e pela janela mais DL. Foram analisadas as iluminâncias, em comparação às indicadas pela norma.

As medições foram realizadas na cobertura de um edifício em construção, com horizonte pleno, na cidade de São Carlos, região central do estado de São Paulo. A maquete foi coberta com plástico preto para evitar o vazamento de luz e posicionada de modo que a parede com janela ficasse orientada ao Sul. O DL foi colocado sobre o ponto 5, este a cinco metros da janela.

Os valores foram representados em gráficos que mostram no eixo y, de um lado, os valores da razão entre os resultados medidos no ponto 1 e nos outros e, do outro lado, os valores de iluminância corrigidos (ver o exemplo da Tabela 1). No eixo x, tem-se a distância do ponto à janela, em metros.

Tabela 1: Exemplo de cálculo das iluminâncias internas.

Janela + Duto de Luz				Apenas Janela			
Distância da janela	Emédia (lux)	E/Eref	E (lux)	Distância da janela	Emédia (lux)	E/Eref	E (lux)
1	2391	1,000	2391	1	2391	1,000	2391
2	2391	0,660	1578	2	2391	0,659	1575
3	2391	0,383	916	3	2391	0,339	810
4	2391	0,293	701	4	2391	0,185	441
5	2391	0,216	515	5	2391	0,113	271
6	2391	0,104	248	6	2391	0,057	137
7	2391	0,067	161	7	2391	0,038	92

4. RESULTADOS

Segundo a NB 57 (ABNT, 1991), o nível mínimo de iluminância para salas de aula é de 200 lux e o máximo adequado é 500 lux, representados pelas linhas escuras nos gráficos.

Pelas figuras 5 a 7, vê-se que a iluminação fornecida pela abertura lateral não é suficiente para atender aos requisitos da norma nas regiões mais distantes da janela. Com o uso do DL, no entanto, o nível de iluminância passa a atender, na maioria dos pontos, os requisitos da norma.

Em alguns casos, o nível de iluminância com a utilização do DL foi cinco vezes maior. Isso indica um grande potencial de uso, mas é necessário dimensionar adequadamente os elementos que provêm a iluminação natural ao ambiente, de maneira a atender os níveis satisfatórios e não provocar ofuscamento.

Em salas de aula é importante ter uma boa distribuição de iluminâncias, pois os alunos trocam constantemente o campo de visão, ao alternar entre quadro-negro e caderno. Os níveis mínimo e máximo da iluminância para salas de aula foram usados para mostrar a melhoria que se consegue com o uso de DLs, mas a análise pode ser feita para qualquer tipo de ambiente. No caso de ambientes com atividades que exigem maior acuidade visual, é necessário um nível maior de iluminância. Nesses casos, pode-se utilizar um ou mais DLs e posicioná-los no ambiente conforme a necessidade.

Nos gráficos obtidos para os dias 02/12 e 06/12/2004 (Figuras 3 e 4), observa-se que o nível de iluminância aumenta, com o uso do DL, a partir do ponto 3. No dia 02/12, apesar do excesso de luz, um reposicionamento do DL poderia trazer um bom resultado. Já no dia 06/12 seria preciso um redimensionamento da janela e do próprio DL, visto que na maior parte dos pontos há excesso de luz.

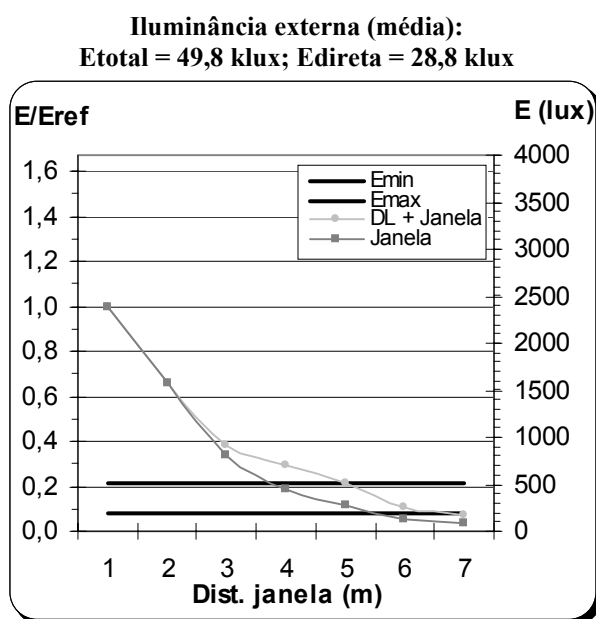


Figura 3: Iluminância em relação à distância da janela – 02/12/2004, 8 às 11h

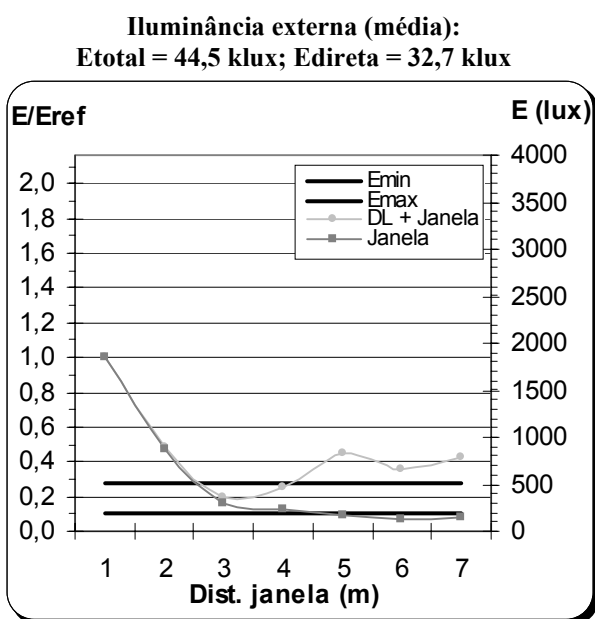


Figura 4: Iluminância em relação à distância da janela – 06/12/2004, 8 às 11h

O DL proporcionou um aumento maior nos níveis de iluminância no dia 06/12 por que, neste dia, as nuvens não estavam na região do sol, ou seja, não encobriam o sol, permitindo a passagem da luz direta. No dia 02/12, as nuvens transitaram na região do sol diminuindo a passagem da luz direta.

Através da análise dos gráficos obtidos para o dia 13/01 (Figuras 5 e 6), verifica-se que o nível de iluminância é melhorado, com o uso do DL, nos pontos 4, 5 e 6. No ponto 3, onde há iluminação em excesso, o DL pode aumentar ou provocar a sensação de ofuscamento, e no ponto 7, mesmo com o DL, a iluminação é insuficiente. Uma mudança na posição do DL pode melhorar a iluminância nos pontos 3 e 7. As diferenças entre os níveis de iluminância devem-se ao movimento relativo do sol e às variações nas condições de céu (movimentação e quantidade de nuvens).

Iluminância externa (média):
 $E_{total} = 44,6$ klux; $E_{direta} = 27,6$ klux

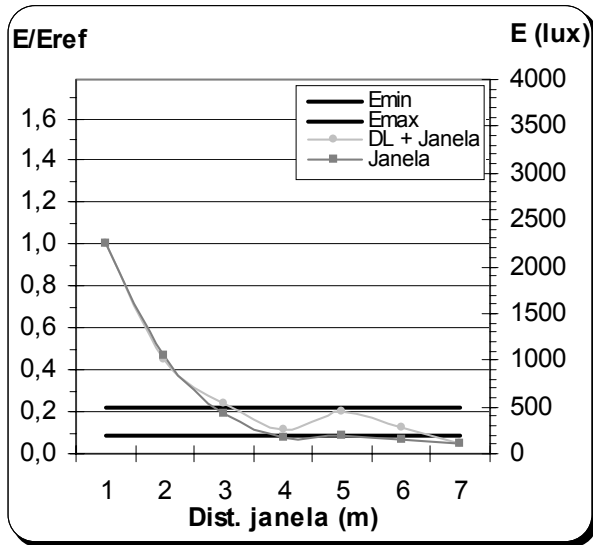


Figura 5: Iluminância em relação à distância da janela – 13/01/2005, 8 às 11h.

Iluminância externa (média):
 $E_{total} = 68,1$ klux; $E_{direta} = 40,8$ klux

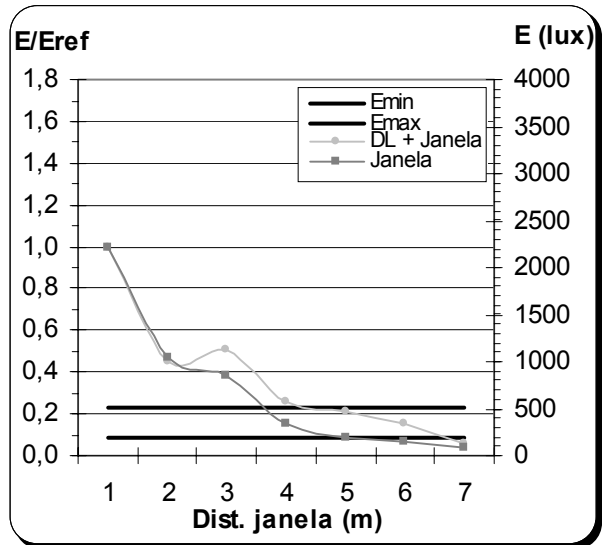


Figura 6: Iluminância em relação à distância da janela – 13/01/2005, 11 às 14h.

Nos gráficos do dia 31 (Figuras 7 e 8), vê-se que o nível de iluminância é melhorado, com o uso do DL, na região entre os pontos 3 e 7. Com exceção do ponto 3, que já atendia aos requisitos da norma, nos outros pontos o uso do DL permitiu que se atingisse um nível adequado de iluminação. As diferenças entre os níveis de iluminância (Figuras 7 e 8) deve-se ao movimento relativo do sol. O céu apresentou-se limpo no período de medição.

Iluminância externa (média):
 $E_{total} = 46,0$ klux; $E_{direta} = 40,0$ klux

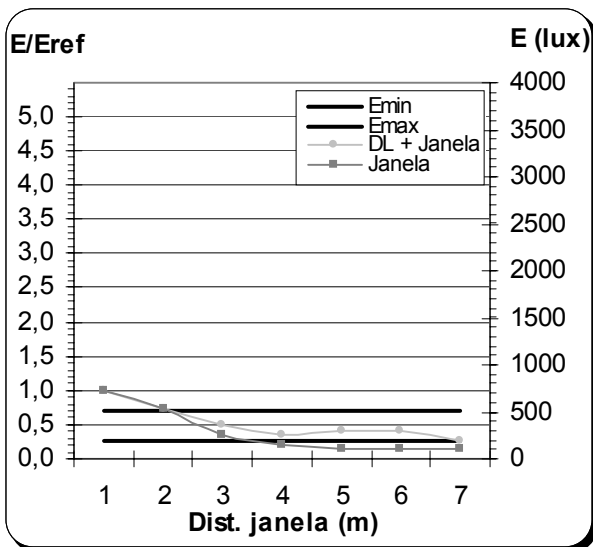


Figura 7: Iluminância em relação à distância da janela – 31/01/2005, 8 às 11h.

Iluminância externa (média):
 $E_{total} = 82,6$ klux; $E_{direta} = 74,1$ klux

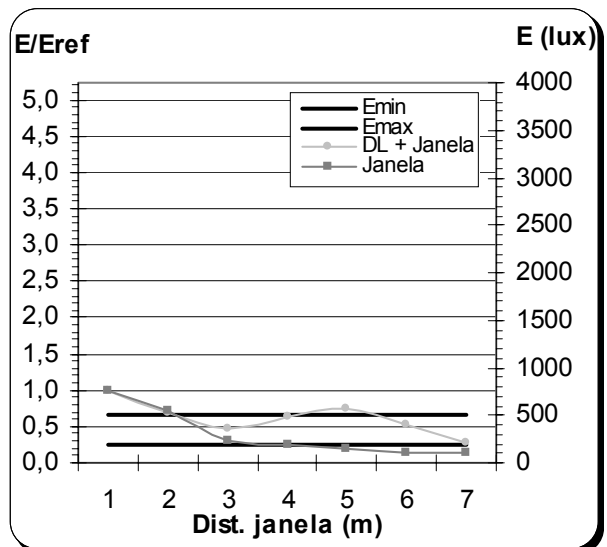


Figura 8: Iluminância em relação à distância da janela – 31/01/2005, 11 às 14h.

No dia 01/02, a iluminação através da janela foi insuficiente nos pontos 5 a 7 (Figura 9). Nesses pontos, o nível de iluminância, com o uso do DL, passa a atender os requisitos da norma. O céu estava limpo e o período de medição foi entre 8 e 11h.

Iluminância externa (média): $E_{total} = 47,7$ klux; $E_{direta} = 40,1$ klux

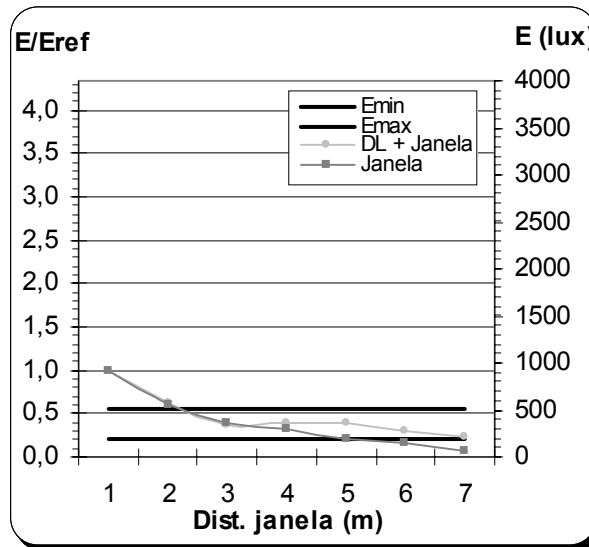


Figura 9: Iluminância em relação à distância da janela – 01/02/2005, 8 às 11h.

O dia 03/02 apresentou uma característica raramente encontrada nos dias de medição, o céu totalmente encoberto. A janela apresenta maior eficiência quando está sob essa condição de céu, e isso pode trazer um excesso de iluminação nas regiões próximas à abertura lateral, o que é comprovado com os altos valores obtidos, principalmente, nos pontos 1, 2 e 3 (Figuras 10 e 11). Nesse caso, uma diminuição na área da janela e uma mudança na posição do DL podem melhorar a distribuição e os níveis de iluminância.

Iluminância externa (média):
 $E_{total} = 33,6$ klux; $E_{direta} = 9,7$ klux

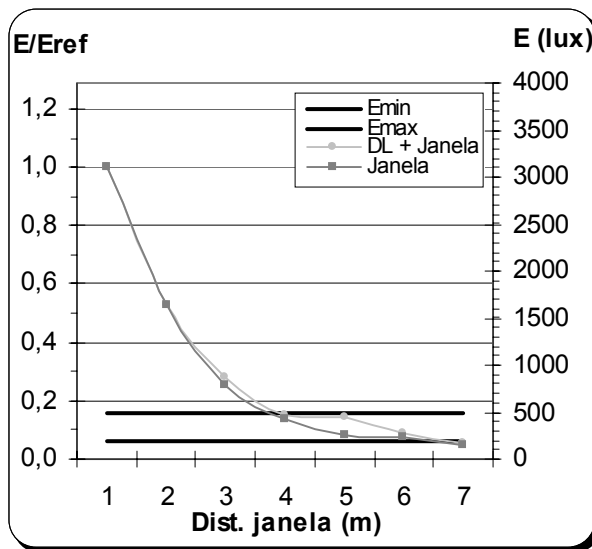


Figura 10: Iluminância em relação à distância da janela – 03/02/2005, 8 às 11h

Iluminância externa (média):
 $E_{total} = 69,5$ klux; $E_{direta} = 37,0$ klux

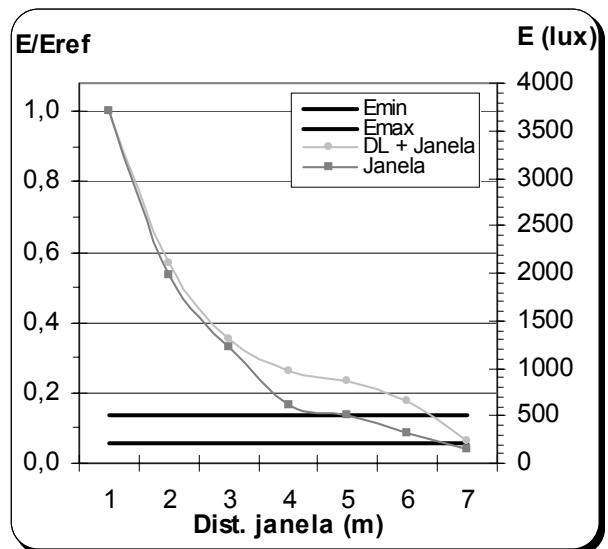


Figura 11: Iluminância em relação à distância da janela – 03/02/2005, 11 às 14h

Os valores de iluminâncias obtidos nos dias 04 e 10/02 apresentam a mesma ordem de grandeza (Figuras 12 e 13) devido à condição de céu parcialmente encoberto, presente nos dois dias, até certo horário (antes das dez horas). A partir desse horário, o céu fica limpo no dia dez e uma diferença nas iluminâncias internas é percebida nos pontos de 4 a 7, pois a medição nesses pontos ocorreu exatamente a partir do momento em que as condições de céu começam a diferenciar-se. No dia quatro, a posição na qual estava o DL não permitiu que este contribuísse de forma significativa na iluminação

interna. Já no dia 10, a contribuição foi adequada e fez com que as iluminâncias nos pontos 5, 6 e 7 passassem a atender os níveis especificados na norma.

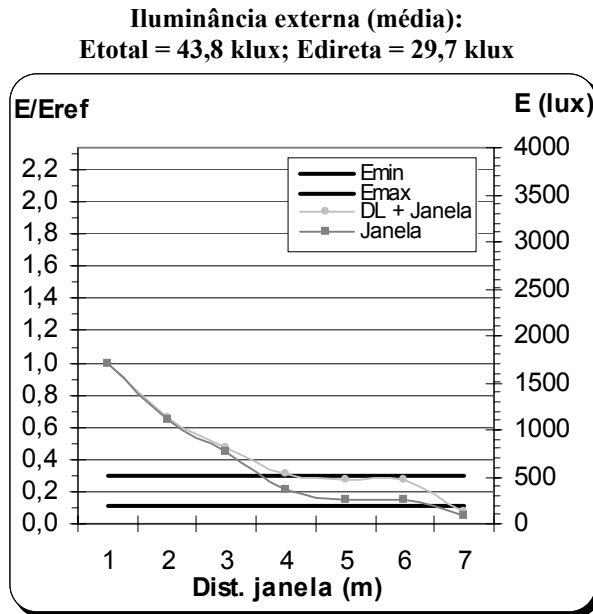


Figura 12: Iluminância em relação à distância da janela – 04/02/2005, 8 às 11h

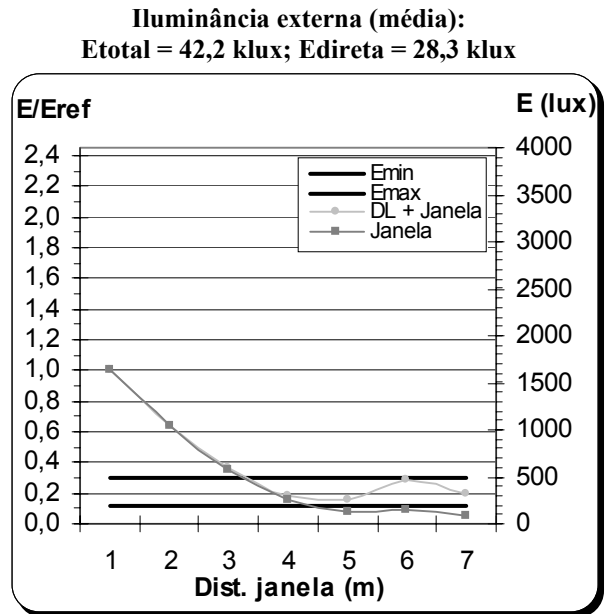


Figura 13: Iluminância em relação à distância da janela – 10/02/2005, 8 às 11h

No dia 11/02, há uma diferença na ordem de grandeza das iluminâncias registradas nas duas medições (Figuras 14 e 15). Isso ocorre pela influência das condições de céu. Durante a segunda medição (10:30 às 13:30), as nuvens que transitam pela região do sol proporcionam uma luz difusa com altos índices de iluminância e a iluminação lateral tem seu potencial ampliado. Esse aumento nos níveis de iluminância não é bom por que há um excesso de luz (mais de 3000 lux) nas regiões próximas à janela.

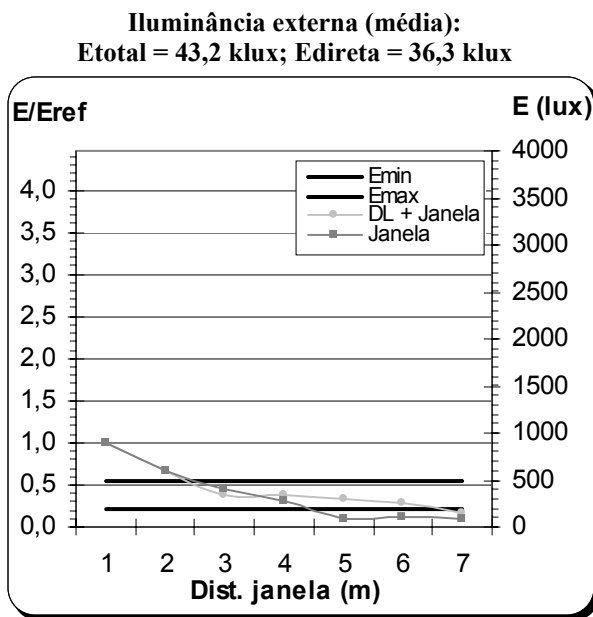


Figura 14: Níveis de iluminância em relação à distância da janela – 11/02/2005, 8 às 11h.

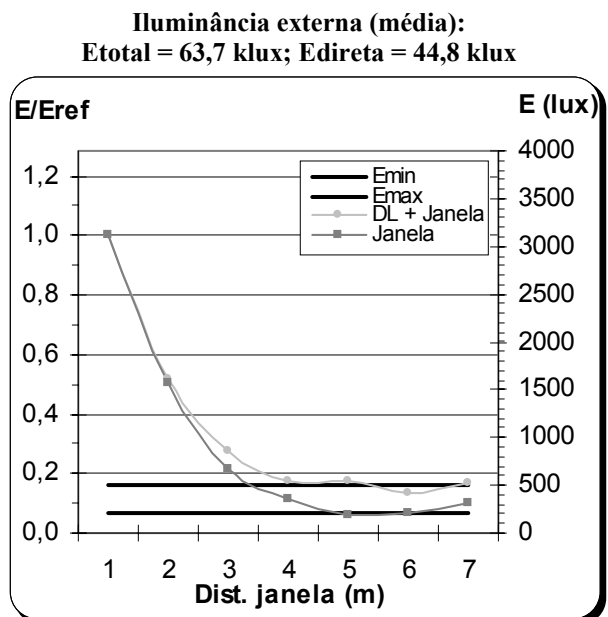


Figura 15: Níveis de iluminância em relação à distância da janela – 11/02/2005, 10h30min às 13h30min.

Tabela 2: Acréscimo (em percentagem) no nível de iluminâncias, devido ao uso do DL.

	Distância da janela (m)	Datas								
		2/12/04	6/12/04	13/1/05	31/1/05	1/2/05	3/2/05	4/2/05	10/2/05	11/2/05
8:00 às 11:00	1									
	2	0,21%	2,32%	-3,72%	0,28%	4,29%	0,76%	0,79%	-0,91%	-0,27%
	3	13,01%	21,98%	29,41%	36,26%	-6,48%	10,53%	4,50%	5,18%	-11,92%
	4	58,77%	98,24%	45,91%	68,98%	22,49%	7,57%	48,07%	13,89%	25,60%
	5	90,33%	402,84%	134,24%	196,05%	89,63%	72,94%	73,99%	94,65%	225,76%
	6	81,38%	404,27%	89,99%	195,49%	100,85%	16,64%	81,60%	220,88%	148,27%
	7	75,58%	444,19%	1,25%	90,03%	233,09%	25,88%	50,96%	242,86%	67,13%
11:00 às 14:00	1	-	-	0,00%	0,00%	-	0,00%	-	-	0,00%
	2	-	-	-3,72%	-3,89%	-	6,68%	-	-	1,90%
	3	-	-	30,99%	46,57%	-	6,38%	-	-	28,69%
	4	-	-	64,27%	149,54%	-	58,44%	-	-	55,42%
	5	-	-	136,86%	262,97%	-	72,24%	-	-	200,18%
	6	-	-	127,71%	309,42%	-	110,08%	-	-	107,71%
	7	-	-	64,40%	102,73%	-	49,92%	-	-	67,13%

Nota-se que o DL proporciona uma grande elevação do nível de iluminâncias aumentando, em alguns casos, em mais de 400% (dados em azul, na Tabela 2) a iluminância presente no ambiente.

Mesmo com a correção proposta nesse estudo, em certos pontos e horários a Tabela 2 mostra uma diminuição dos níveis de iluminância com o uso do DL. Essa diminuição (observada nos valores em vermelho, na Tabela 2) deve-se provavelmente à movimentação das nuvens, que influencia nas condições de céu e na iluminação interna.

Claramente, em todas as medições, há um aumento dos níveis de iluminância nas regiões próximas ao DL. Esse aumento proporciona uma distribuição mais adequada da luz no ambiente, que pode ainda ser melhorada ao tornar a iluminação do fundo do ambiente menos dependente da janela e possibilitar, assim, a diminuição da abertura e, conseqüentemente, do ofuscamento.

5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nas medições, verificou-se que o uso de Dutos de Luz pode proporcionar uma melhora na distribuição e nos níveis das iluminâncias no ambiente interno. Constatou-se também que, ao usar o DL, cria-se a possibilidade de diminuir a área da janela sem prejudicar a iluminação nas regiões distantes da abertura. Isso diminuiria o ofuscamento nos pontos próximos à janela, enquanto que o DL supriria a necessidade dos pontos do fundo do ambiente.

Notou-se que a eficiência da iluminação através da janela aumenta em dias com céu encoberto e que a iluminação através do DL, ao contrário, tem uma maior eficiência em dias de céu limpo, quando pode utilizar-se da luz direta. Este fato pode ser um indício do benefício que se tem ao trabalhar com DL e janela simultaneamente. Ao usar os dois elementos (DL e janela) num mesmo sistema de iluminação natural, tem-se, para qualquer tipo de céu, uma iluminação que pode atender os requisitos das atividades no interior do ambiente.

6. PROPOSTA PARA FUTUROS ESTUDOS

Na continuidade dessa pesquisa, será avaliada a carga térmica adicional introduzida no ambiente pelo DL, para que esta possa ser computada nos cálculos referentes ao conforto ambiental e ao consumo de energia. Outra etapa pretendida, envolve o equacionamento matemático do comportamento dos DLs. O escurecimento das superfícies internas da maquete teve por finalidade eliminar as reflexões internas, reduzindo, assim, o número de variáveis intervenientes e facilitando identificar as contribuições específicas do Duto de Luz. Adicionalmente, sugere-se que sejam feitos estudos com as características reais de um ambiente. Num modelo real poder-se-ia medir a carga térmica e a iluminação de forma mais precisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1991). NB 57 – Iluminância de interiores. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 13 p.

CALIFORNIA, Energy Commission. Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment. Technical Report, California, 2003.

CHIRARATTANANON, S.; CHEDSIRI, S.; RENSHEN, L. Daylighting through light pipes in the tropics. *Solar Energy*, v. 69, n. 4, p. 331-341, 2000.

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

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

OAKLEY, G.; RIFFAT, S.B.; SHAO, L. Daylight Performance of Lightpipes. *Solar Energy*, Great Britain, v. 69, n. 2, p. 89-98, 2000.

URRIOL, J.J.E.; LARA, M.A.; PIACENTINI, R.D. Passive Solar Light-ducts. *Applied Energy*, v.28, p. 95-105, 1987.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP – pelo apoio financeiro que permitiu o desenvolvimento desta pesquisa.