MODELOS FÍSICOS EM ESCALA COMO FERRAMENTA DE PROJETO PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE DUTOS DE LUZ[1]

SILVEIRA, A. P., Universidade de São Paulo, email: ana.mendes.silveira@usp.br; LUZ, B., Universidade Estadual de Campinas, email: bluz.79@gmail.com; MONTEIRO, L., Universidade de São Paulo, email: leo4mm@gmail.com

ABSTRACT

Not only is daylight in architecture an aesthetic issue, concerning economic, social and environmental aspects as well. The exploitation of its benefits can be enlarged by the adoption of non-conventional systems, making it possible for light to reach areas with no contact with the direct source, such as underground spaces. This paper presents a design process proposal for light pipes systems relating mathematical dimensioning models and the use of scaled physical models. The former obtains the required number of pipes while the latter is used as a tool for the qualitative analysis of the many possible arrangements. A case study is presented as a demonstration of the benefits, drawbacks and restrictions this designing process faces.

***Keywords**: dimensioning model, non-conventional systems, light pipes, design process*

1 INTRODUÇÃO

Modelos físicos são ferramentas utilizadas na arquitetura ao longo da história, sendo importantes na obra de Le Corbusier, Frank Lloyd Wright e Alvar Aalto, servindo tanto como produto final de apresentação quanto ferramenta para entendimento dos espaços na concepção (PEREIRA, 2012).

Propriedades físicas da luz, como penetração, reflexão e comprimento de onda, garantem avaliações quantitativas e qualitativas de confiança quando observados em modelos físicos em escala reduzida (PEREIRA, 2012), dispensando cálculos de compensação do efeito de escala (ROBBINS, 1986). Além de proporcionarem rápida apreensão qualitativa a partir de registro fotográfico ou simples observação visual (MOORE, 1991).

Os softwares de simulação, em progressivo aperfeiçoamento e crescente importância na análise de projeto, contemplam parâmetros de conforto ambiental, incluindo iluminação natural e artificial. Entretanto, não oferecem possibilidades equivalentes aos modelos físicos, sendo estes empregados, por vezes, como parâmetro base para a avaliação do desempenho dos softwares (MOURA, 2007). Poucos programas computacionais comportam geometrias complexas, e a maioria não atende sistemas não-convencionais de iluminação natural (MALET-DAMOUR, 2014).

Buscando atender à crescente ocupação dos ambientes subterrâneos, sobretudo pelo sistema de transporte, e tirando partido dos benefícios econômicos, sociais e ambientais da iluminação natural, é proposto o uso de

[1] SILVEIRA, A.P.; LUZ, B.; MONTEIRO, L.; Modelos físicos em escala como ferramenta de projeto para dimensionamento de sistemas de dutos de luz. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

dutos de luz, sistema condutor que permite iluminação natural em grandes profundidades.

O presente artigo tem como objeto de estudo o processo de projeto e objetiva apresentar um procedimento a partir do uso associado de duas ferramentas para dimensionamento e aplicação de sistemas de iluminação com dutos de luz. O procedimento se inicia com a aplicação do modelo matemático, MDDL (LUZ, 2014), para o pré-dimensionamento do sistema aplicado a uma planta típica de estação de metrô na cidade de São Paulo, resultando em diversas alternativas de arranjos a serem avaliadas por meio da modelagem física, verificando as diferentes decisões de projeto em ensaios sob condição de céu real.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada é empírica indutiva e exploratória, com análise comparativa dos resultados. Para isso, foi aplicado o modelo de dimensionamento de dutos de luz (MDDL), que determina o número de dutos necessário para satisfazer à demanda lumínica requerida no plano de trabalho. O modelo fornece as primeiras diretrizes quantitativas do sistema. Entretanto, cabe ao arquiteto projetista definir os arranjos que impactaram no desempenho qualitativo do sistema, esbarrando em ajustes de layout e necessidades do edifício.

Partindo dos dados fornecidos pelo MDDL, são realizados ensaios com modelos físicos em escala reduzida, sob céu real, para avaliar a distribuição e qualidade da iluminação no ambiente com cada alternativa. Assim, o ensaio com maquete levará à escolha do melhor desempenho para cada situação, atuando como ferramenta de decisão de projeto.

Para o estudo de caso, foi estabelecido o parâmetro de autonomia do sistema com um mínimo de 200 lux entre 10h da manhã e 15h da tarde.

3 APRESENTAÇÃO DE CASO

Os ambientes escolhidos para estudo são as plataformas de espera dos trens e o mezanino de distribuição da tipologia de estação subterrânea de metrô mais recorrente em São Paulo.

3.1 Pré-dimensionamento

Foram estabelecidos como parâmetros: iluminância requerida no plano de trabalho 200lx, tendo como referência áreas de espera em aeroportos (NBR ISO/CIE 8995-1, 2013); plano de trabalho à altura de um metro e iluminância externa de 20.000lx, corresponde à frequência de 70% para a cidade de São Paulo em um plano horizontal desobstruído.

Os resultados da Tabela 1 direcionaram duas possibilidades de projeto para cada ambiente subterrâneo da estação.

Tabela 1 – Aplicação do MDDL

Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m²)	E requerida (lux)	E externa (lux)	Nº dutos
0,6	6	544	200	20000	13
0,8	6	544	200	20000	6
0,6	2	124,8	200	20000	2
0,8	2	124,8	200	20000	1
0,8	2	372	200	20000	3
1,0	2	372	200	20000	2

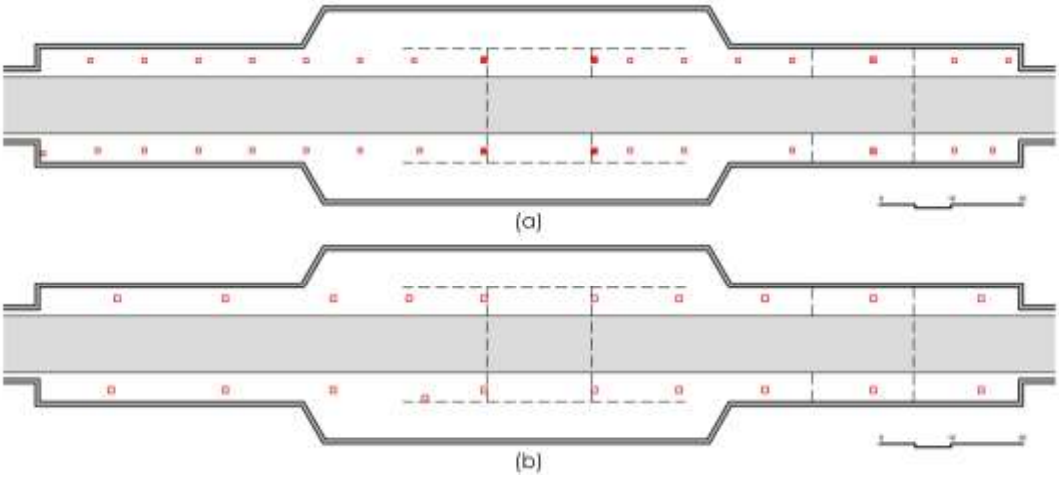
Fonte: Os autores

3.2 Localização dos dutos

Foram propostos arranjos com base no número de dutos determinados pelo MDDL, contornando dificuldades inerentes à edifícios existentes. Para as plataformas de embarque, os arranjos resultantes são: Proposta 1 - 13 dutos de seção 0,6 metros e 3 dutos de 0,8 metros para cada lado da plataforma, e Proposta 2 - 10 dutos de seção 0,8 metros de cada lado da plataforma (Figura 1).

Irregularidades e assimetrias na distribuição dos dutos ocorrem em função do posicionamento destes na superfície, condicionado pelas ruas, calçadas e canteiros centrais imediatamente acima das plataformas, onde estão implantados os dutos.

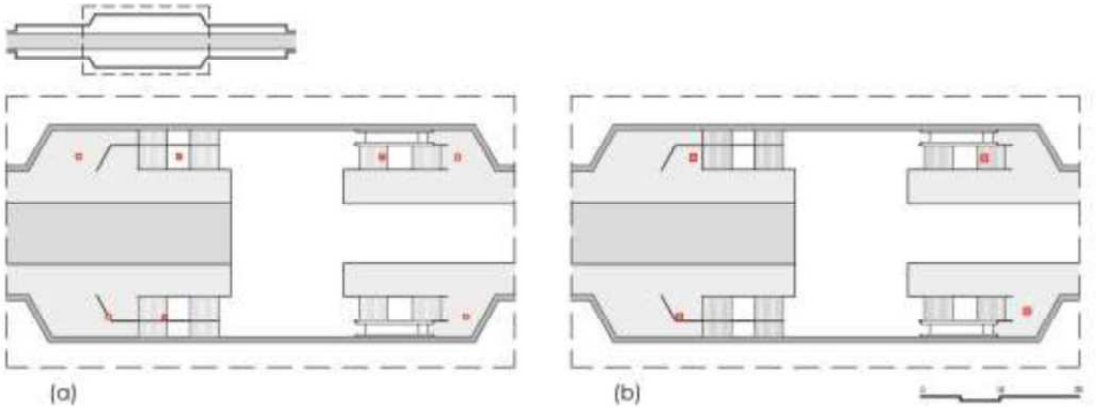
Figura 1 – Plataformas: Proposta 1 (a) e Proposta 2 (b)



Fonte: Os autores

Para os alargamentos correspondentes ao acesso às escadas, obteve-se a Proposta 3 - dois dutos de seção 0,6 metros para cada área de alargamento e Proposta 4 - um duto de 0,8 metros para cada alargamento (Figura 2).

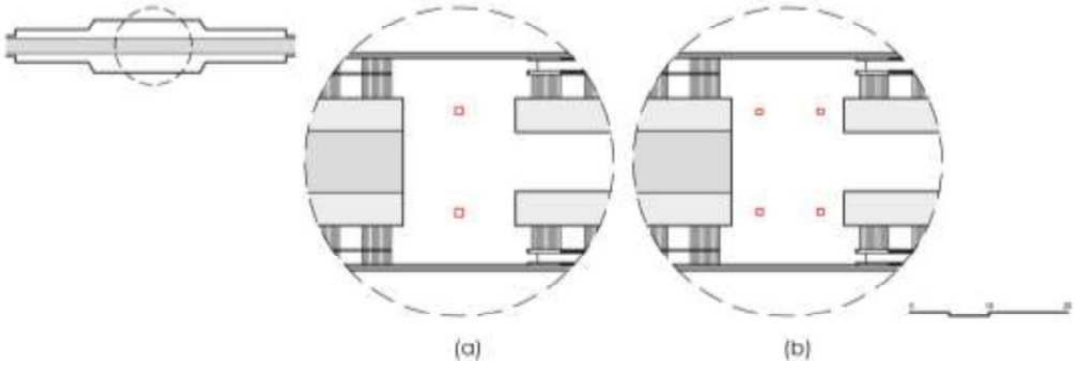
Figura 2 – Alargamentos: Proposta 3 (a) e Proposta 4 (b)



Fonte: Os autores

Para o mezanino de distribuição foram estudados os arranjos da Proposta 5 - 2 dutos de 1,0 metro e Proposta 6 - 4 dutos de 0,8 metros (Figura 3).

Figura 3 – Mezanino: Proposta 5 (a) e Proposta 6 (b)



Fonte: Os autores

3.3 Modelo

Foi construída uma maquete (escala 1:20) de parte da plataforma devido às restrições de espaço e sensores para ensaios. Foram instalados dutos confeccionados em alumínio polido (ρ=95%), dotados de difusor (acrílico leitoso 2mm de espessura) na saída e acetato transparente na entrada. O modelo físico foi construído considerando as refletâncias aproximadas do ambiente real, tendo sido escolhidos papéis *colorplus* nas cores cinza para parede e teto, e cinza-amarelado para o piso. Nas áreas que representam os túneis e onde foi definido o corte limite do modelo foi utilizado papel preto fosco para não haver contribuição por reflexão dessas áreas. Para aquisição dos dados, foram instalados no interior do modelo, na altura do plano de trabalho, 18 sensores, sendo eles sete luxímetros digitais Homis modelo 824, dois MINIPA model MLM-1020 e oito HOBOS modelos H08-004 e U12-012.

Figura 4 – Modelo físico: localização dos sensores e aberturas para fotos (a) e modelo revestido em papel preto (b)



Fonte: Os autores

4 ENSAIOS

A Tabela 2 apresenta os arranjos propostos e objetivos de cada ensaio.

Tabela 2 – Ensaios Propostos

Ensaio	Área	Proposta	Objetivos
1	Plataforma	Proposta 1	-Alcance lateral -Distribuição radial -Contribuição de dois dutos no ponto médio entre eles -Espaçamento entre dutos -Desempenho comparativo ao ensaio 2
2	Plataforma	Proposta 2	-Idem ao anterior. -Desempenho comparativo ao ensaio 1
3	Acesso às escadas	Proposta 3	-Relações entre pé direito e: distribuição radial alcance lateral -Desempenho comparativo ao ensaio 4
4	Acesso às escadas	Proposta 4	-Idem ao anterior. -Desempenho comparativo ao ensaio 3
5	Mezanino	Proposta 5	-Alcance lateral -Distribuição radial -Contribuição de dois dutos no ponto médio entre eles -O tipo de duto é apropriado para o espaçamento existente -Desempenho comparativo ao ensaio 6
6	Mezanino	Proposta 6	-Idem ao anterior. -Desempenho comparativo ao ensaio 5

Fonte: Os autores

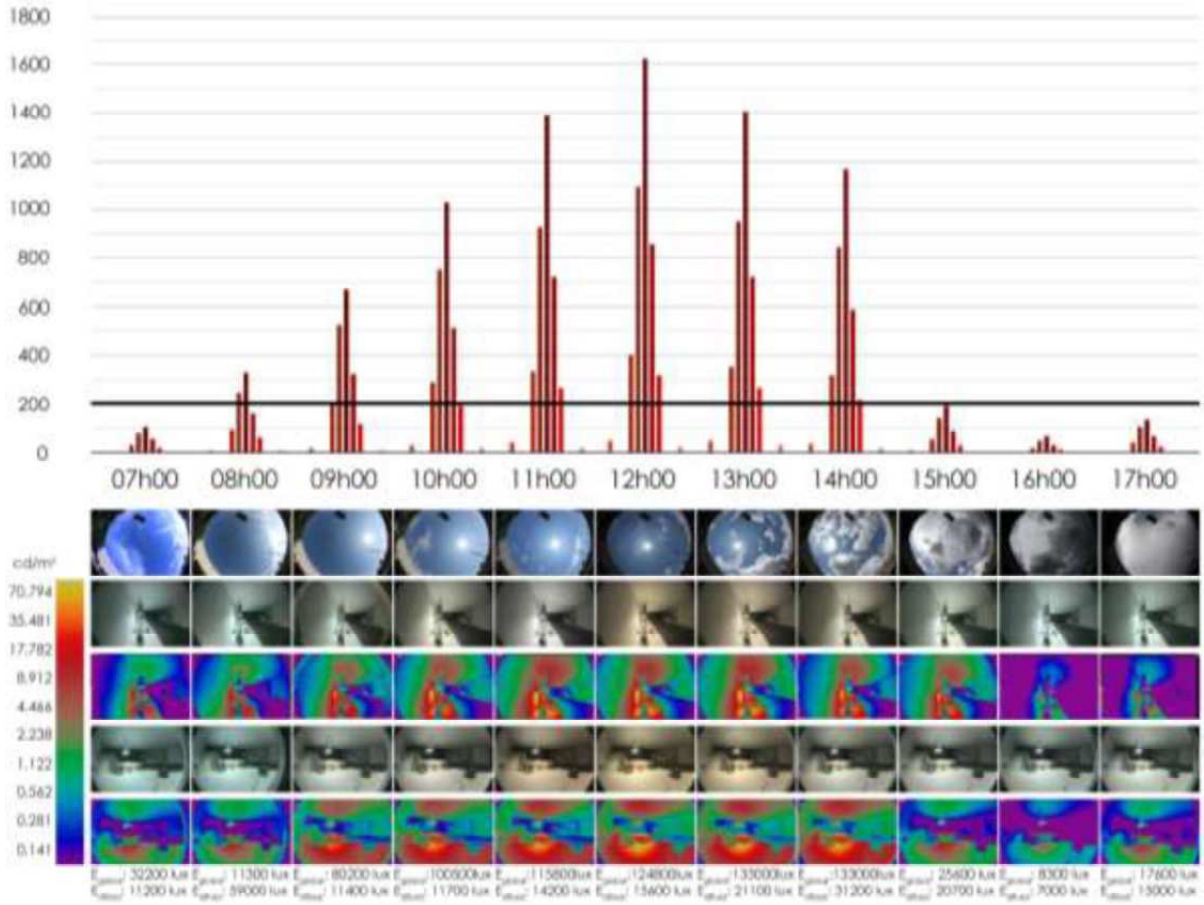
5 RESULTADOS

Os resultados apresentados foram levantados no Ensaio 2, realizado no dia 23 de janeiro de 2018. A Figura 5 mostra valores de iluminância, em função do posicionamento dos sensores em linha (Figura 4), em cada horário do dia. Nota-se das 9h às 15h os valores registrados nos três sensores próximos ao duto foram superiores a 200lx e apresentou pico às 12 horas, superando 1600lx logo abaixo do duto. Nos quatro sensores laterais obteve-se autonomia acima dos 200lx em parte dos horários.

Quantitativamente, o duto de luz alcançou a autonomia esperada, ultrapassando 200lx nos horários estabelecidos como parâmetro. Entretanto,

qualitativamente, gráfico e registros fotográficos (Figura 5) demonstram que o alcance da distribuição da luz não é suficiente para suprir a distância entre dois dutos, havendo quedas bruscas nos valores de iluminância conforme se afasta do duto.

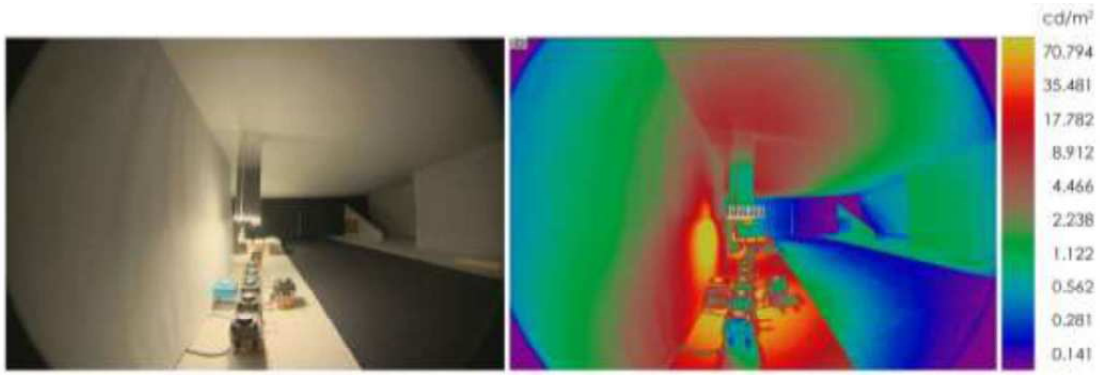
Figura 5 – Resultados quantitativos e qualitativos de ensaio



Fonte: Os autores

As imagens HDR deixam evidente a percepção do olho humano, e a partir delas foi possível identificar que nos períodos mais próximos do meio do dia a luz no interior do modelo apresentou uma coloração amarelada, diferentemente do que aconteceu nos horários no começo da manhã e no final da tarde, quando foi distribuída uma luz branco-azulada. Pode-se perceber também, a partir das imagens de cores falsas, a dinâmica de expansão e retraimento da área da mancha iluminada no modelo, havendo a predominância da coloração vermelha, indicativa de uma alta luminância partindo das superfícies, no meio do dia, sobretudo nos horários em que a iluminância obtida superou os 200 lux, e de cores mais frias no começo da manhã e final da tarde. Quando as iluminâncias registradas chegaram até os 1600 lux, uma grande mancha amarela, representando a luminância máxima na escala, também pode ser notada.

Figura 6 – Imagens HDR e de cores falsas às 13 horas



Fonte: Os autores

As imagens de cores falsas e HDR também revelam a grande importância da refletância das paredes para a distribuição da luz no ambiente, ressaltada pela alta luminância partindo de um ponto concentrado na parede (Figura 6). Esse efeito fica ainda mais evidente ao considerar as áreas do entorno imediato - papel cinza simulando parede e forro em concreto e papel preto simulando túnel do trem. Isso indica que se forem aumentadas as refletâncias das superfícies próximas à fonte luminosa, a distribuição no plano de trabalho poderia ser mais homogênea. O grande brilho observado no teto próximo ao duto pode ter sido causado em função do material externo do duto exposto, o alumínio, que apresenta alta refletância, o qual não foi revestido com material opaco durante o ensaio.

Os registros fotográficos demonstram o potencial do modelo físico de evidenciar aspectos e características do sistema real.

6 CONCLUSÕES

O processo de projeto apresentado visa contribuir para futuros projetos não só no dimensionamento de dutos de luz, mas para especificação e aplicação em diversos sistemas complexos de iluminação, os quais ainda não são plenamente atendidos pelos softwares de simulação computacional.

Ressalta-se a potencialidade dos modelos físicos para estudar e viabilizar possibilidades criativas, em função da versatilidade de materiais e métodos para confecção de modelos, permitindo formas complexas. Além de possibilitar testar materiais e detalhes de acabamento que influenciam na distribuição e qualidade da iluminação.

As imagens HDR e de cores falsas são ferramentas acessíveis que incrementam a análise qualitativa, possibilitando visualizar, a partir de fotos do modelo físico, uma percepção mais realista das distribuições de luminâncias pelas superfícies.

Os resultados quantitativos garantem dados verossímeis e confiáveis, sendo ponto desfavorável a disponibilidade de equipamentos, restritos a institutos de pesquisa, sem acesso para profissionais projetistas de sistemas de iluminação. Assim, os ensaios fotométricos tratam-se hoje no Brasil de um recurso limitado

a pesquisas acadêmicas, enquanto apresentam potencial para uso geral, como acontece em laboratórios internacionais, a exemplo do *Bartenbach LichtLabor*, na Áustria, onde qualquer arquiteto pode ensaiar sua maquete em um céu artificial com alta eficiência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, PIBIC, FAPESP, LABAUT e LUMINAE.

REFERÊNCIAS

LUZ, B. **Distribuição da luz natural a partir de dutos de luz**. Universidade de São Paulo, FAUUSP. São Paulo, 2014. (Tese de doutorado).

LUZ, B. **Condução da luz natural por sistemas não convencionais.** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. (Dissertação de mestrado)

MALET-DAMOUR. et al. **Light Pipes Performance Prediction: inter model and experimental confrontation on vertical circular light-guides.** In: Elsevier Ltd, 2014.

MOORE, F. **Concepts and Practice of Architectural Daylighting**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.

MOURA, N. C. S. **Segurança, eficiência energética e conforto visual em emboques de túneis rodoviários: soluções arquitetônicas**. Universidade de São Paulo, FAUUSP. São Paulo, 2007. (Tese de doutorado).

NBR ISO/CIE 8995-1. (2013). **Iluminação de ambientes de trabalho.**

PEREIRA, F. O. R. et al. **Quão confiáveis podem ser os modelos físicos em escala reduzida para avaliar a iluminação natural em edifícios?** In: Ambiente Construído, p. 131-147, Porto Alegre, 2012.

ROBBINS, C. **Daylighting. Design and Analysis**. New York, Van Nostrand, 1986.