

APROVEITAMENTO DE LUZ NATURAL ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE TUBOS DE LUZ EM ALUMÍNIO

Giovanni Maria Arrigone - Ph.D., gio_arrigone@hotmail.com
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e Universidade Federal de Santa Catarina

Cristine do Nascimento Mutti - Ph.D.,ecv1cnm@ecv.ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina

Resumo: Com o objetivo de economizar energia têm sido tomadas medidas por arquitetos e engenheiros, instituições de pesquisa, entidades governamentais já há várias décadas. Na busca pela eficiência energética em edificações o aproveitamento de luz natural é uma necessidade, e o desenvolvimento de tecnologias que atendam este objetivo é importante para o planeta. Neste artigo é apresentada a idéia de incorporar a edificações tubos de luz feitos em alumínio, a fim de conduzir a luz solar e iluminar ambientes. Uma revisão sobre a aplicação e benefícios de tal tecnologia, já utilizada em outros países, aponta economia de energia e aumento de produtividade do usuário dos ambientes nos quais existem tubos de luz como principais benefícios. Com o objetivo de estudar o desempenho de tubos de luz feitos em alumínio, uma pesquisa experimental foi realizada. Esta foi composta de duas etapas: a medição da intensidade luminosa e a avaliação visual. Resultados apontam a favor da viabilidade de aplicação dos tubos de luz, e mostram que o tubo deve ser curto e de grande diâmetro para reduzir o número de reflexões e coletar o máximo de luz possível.

Palavras-chave: Tubo de luz, iluminação natural, alumínio.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Iluminação

A luz natural sempre foi desejada na iluminação de locais habitados. Na busca pela economia de energia, têm sido tomadas medidas por arquitetos e engenheiros há várias décadas, seja pela perspectiva da falta de energia, ou simplesmente pelo elevado custo da mesma para o usuário. Os projetistas buscam uma melhor orientação solar, adequadas dimensões de aberturas, e utilização de dispositivos de sombreamento na edificação para fazer

um melhor uso da luz solar, ao mesmo tempo sem que haja excesso de iluminação e prejuízo para o conforto térmico da edificação. No Brasil, entidades governamentais e instituições de pesquisa buscam alternativas viáveis, eficientes e econômicas¹.

No Reino Unido, cerca de 40 a 50% do consumo nacional de energia primária é usado para aquecimento, iluminação e eletricidade em edifícios (MCMULLAN, 2007).

Crisp et al. (1988) mostram que há duas décadas a iluminação elétrica representava até 30% do consumo de eletricidade em construções para escritórios ou outro uso comercial. Um melhor aproveitamento da luz solar para iluminação pode reduzir tal demanda, reduzindo também o custo para o usuário.

Em reportagem da revista Veja, Guandalini (2007) destaca, com base em dados de várias fontes² que a oferta de energia vem crescendo em ritmo inferior ao do consumo. Segundo tal fonte, projeções indicam que pode faltar eletricidade a partir de 2010. O estudo considerou uma taxa de crescimento do PIB de 4,5% ao ano.

A possibilidade de usufruir uma alta exposição à radiação solar é uma riqueza para uma nação. O Brasil tem esta riqueza que poderia ser utilizada para reduzir a demanda de energia usada para iluminação artificial.

Neste artigo é apresentada a idéia de incorporar a edificações tubos de luz feitos em alumínio, a fim de conduzir a luz solar e iluminar ambientes. A superfície do alumínio é altamente refletora, sendo adequada para a confecção de tubos de luz. O alumínio é um material que não se oxida e é particularmente indicado para aplicações externas.

1.2 Sustentabilidade

Quando se acessa o impacto ambiental de edifícios, imagina-se por quanto tempo será possível continuar a utilizar os métodos construtivos existentes. Energia é necessária para viver e trabalhar, mas o uso de energia nas taxas atuais criará problemas para futuras gerações, a menos que se pense no futuro dos recursos quando de sua utilização. O desenvolvimento sustentável visa atender as necessidades do presente sem comprometer as do futuro (MCMULLAN, 2007).

Os objetivos gerais da construção sustentável são: melhorar a qualidade de vida da população; ser aceitável para outras pessoas, e gerações futuras; causar dano mínimo ao ambiente e seus recursos (MCMULLAN, 2007).

Na Europa e nos Estados Unidos o conceito de *Greenbuildings* (Edifícios verdes, construídos visando otimizar o consumo de água e energia) surgiu na década de 1970. O setor da construção teve que investir em tecnologias para aumentar o desempenho ambiental das construções em função da escalada do preço do petróleo (TECHNÉ, 2006).

¹ Ver, por exemplo: <http://www.labeee.ufsc.br/>, e

<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>.

² Fontes: Edson Luiz da Silva (UFSC), CIA World Factbook e Banco Mundial.

No Brasil a pressão por soluções de menor impacto ao ambiente é mais recente, mas já afeta o mercado. A demanda parte, ao mesmo tempo, do governo, dos consumidores (movidos pela possibilidade de reduzir os gastos com água e energia), de grupos ambientalistas, de investidores estrangeiros (exigentes em relação à responsabilidade social e ambiental das empresas onde injetam recursos), e de legisladores que tentam, por meio de leis, impor medidas de incorporação dessas novidades (TECHNÉ, 2006).

Estatísticas da *Environmental Protection Agency* (EPA) destacam a importância de construir 'Verde', em função do consumo de recursos por edificações, as quais respondem por 39% do uso total de energia, 12% do consumo total de água, 68% do consumo total de eletricidade, e 38% das emissões de dióxido de carbono (EPA, 2007). Em função disto, é fundamental que medidas de economia de energia sejam tomadas.

Na busca pela eficiência energética em edificações o aproveitamento de luz natural é uma necessidade, e o desenvolvimento de tecnologias que atendam este objetivo é importante para o Brasil (como para o planeta). Tecnologias para o aproveitamento de luz natural através de tubos de luz não são muito comuns no país, mas já vêm sendo aplicadas em outros países, como será discutido na seção 2.3.

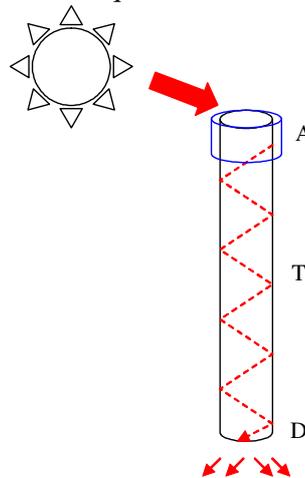
2. PRINCÍPIO E BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO

2.1 Princípio

O tubo de luz é uma tecnologia de transporte de luz simples e econômica. O tubo coleta a radiação solar (excluindo possivelmente a radiação ultravioleta) e transporta esta radiação para um difusor que re-irradia a luz no ambiente desejado.

A conformação geral do tubo de luz proposto neste artigo é mostrada esquematicamente na Figura 1:

Figura 1: Esquema do tubo de luz.



Neste sistema, a luz do Sol é captada pelo coletor “A” do tubo, normalmente situado no teto da construção, e refletida pela superfície interna altamente refletora do tubo. Um difusor “D”, colocado ao final do tubo, difunde a luz coletada no ambiente a ser iluminado. Este difusor é, normalmente, feito de uma calota de vidro ou plástico fosco.

O alumínio é uma superfície altamente refletora (ver, por exemplo, Hecht (1990) para refletância versus comprimento de onda no espectro visível para alumínio, comparado com materiais como prata, ouro e cobre). Esta superfície não precisa ser tratada para aumentar a refletividade como no caso de outras estruturas tubulares plásticas ou em alvenaria que necessitam que uma camada refletora seja depositada sobre um substrato.

A coleta dos raios solares é máxima para posições do Sol perto do ponto do seu zênite. Neste caso também o número de reflexões nas paredes do interior do tubo é mínimo (chegando a zero para iluminação direta com sol perpendicular à abertura do tubo). A energia transportada é reduzida em função das reflexões sucessivas no interior do tubo (SWEITZER, 1993). Por esta razão, tubos retos são preferíveis. A relação entre o comprimento e o diâmetro do tubo (*aspect ratio*) para obter máxima eficiência deve também ser considerada.

2.2 Aplicação do tubo de luz

Apesar da sua utilidade, iniciativas de aplicação de tubos de luz para a condução da luz natural não são tão comuns, especialmente no Brasil.

Em âmbito mundial, eles vêm sendo usados nos Estados Unidos, Inglaterra e Alemanha em construções como escolas, hospitais, e estações de metrô (ver Sunpipe (2007)).

No Brasil, pode-se citar o trabalho de Fantinelli (2005). Tal autora investigou alternativas de iluminação para ambientes enclausurados de moradias, através de dutos construídos em alvenaria e de dutos extensores de PET, revestidos internamente com laminados de alumínio de uso caseiro. Em seu trabalho de investigação experimental foram utilizados protótipos em escala reduzida sob condições reais de céu. Tal autora concluiu que as alternativas investigadas mostraram-se merecedoras de estudos para a determinação de sua exequibilidade.

Bittencourt e Batista (2003) investigaram efeitos de clarabóias constituídas de dutos de luz verticais no desempenho de ambientes escolares em Maceió-AL. Para tal, utilizaram um modelo computacional simulado sob diversas combinações de condição de céu, período do ano, refletância interna das salas; dimensões das aberturas dos dutos de luz e orientação das salas. Os resultados demonstraram que o dispositivo é capaz de promover melhoria na uniformidade luminosa do ambiente e os níveis de iluminância necessários ao desempenho das atividades escolares, reduzindo a utilização de iluminação artificial durante o dia.

Os possíveis empregos da tecnologia do tubo de luz seriam:

- 1) Áreas cobertas de grande extensão: estes tipos de áreas apresentam uma grande extensão superficial longe das aberturas como janelas ou panos de vidro. Um exemplo destes tipos de áreas seria um estacionamento coberto (sob laje de pátios).
- 2) Ambientes situados no subsolo: estes tipos de ambientes apresentam uma alta dificuldade ou impossibilidade de acessar aberturas ao externo. Um exemplo deste tipo de ambiente seriam passarelas subterrâneas (metrô ou cruzamento de pedestres – ver

figura 2).

- 3) Ambientes para atividades que requerem o uso de luz natural: nestes casos é enfatizada a qualidade espectral da luz necessária. Um exemplo seria uma estufa ou cultura hidropônica protegida.

Figura 2: Um dos três tubos de luz que transportam luz natural pela estação subterrânea de Berlin Potsdamer Platz³.



Como exemplo de aplicação, na Inglaterra tem-se a firma Sunpipe (2007) que opera no campo da iluminação solar.

As aplicações principais documentadas pela Sunpipe (2007) são:

- Escolas: são mencionadas nove escolas que utilizam tubos de luz. Entre as vantagens são mencionadas redução dos custos de energia elétrica durante o dia e um melhor desempenho de professores e estudantes em condições de trabalho com luz natural.
- Hospitais: são mostradas aplicações do tubo de luz em sete hospitais. Aqui também trabalhadores e pacientes recebem benefícios da utilização da luz natural.
- Bibliotecas
- Prisões.

2.3 Benefícios

De acordo com o documentado pela Sunpipe (2007), com a aplicação de tubos de luz nas escolas, em particular, o consumo de eletricidade poderia ser reduzido de 75% durante o dia utilizando tubos de luz.

Os benefícios em utilizar luz solar para professores e estudantes são comprovados por

³ Disponível on line em:

http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Bahnhof_Berlin_Potsdamer_Platz_Lichtr%C3%B6hre_Stra%C3%9F_e_Detail.jpg. Data de acesso: 31/3/2008

um estudo nos EUA para Heschong Mahone's Consulting Group feito em 1999 em três escolas com um total de 21.000 estudantes. Tal pesquisa mostrou como os estudantes progredem 20% mais rapidamente nos testes de matemática e 26% em testes de leitura quando estudam utilizando luz solar. Estes resultados foram confirmados em outros estudos (SUNPIPE, 2007).

É importante lembrar que a exposição solar no Brasil é melhor do que em outros locais em que os estudos sobre dutos de luz estão mais desenvolvidos (Inglaterra e Alemanha, por exemplo). Em algumas regiões do Brasil, a radiação solar é constante - como no Nordeste, local da investigação realizada por Bittencourt e Batista (2003).

Em um estudo apoiado pelo National Physical Laboratory (NPL) da Inglaterra (EXPEDIA, 2006) foi também encontrado que o Brasil (em particular o Rio de Janeiro) tem o céu mais azul (mais limpo), seguido pela Nova Zelândia, Austrália, Fiji, África do Sul, Madagascar, Maldivas, Japão, País de Gales, Los Angeles, Caribe, Irlanda, Marrocos.

Os benefícios potenciais da confecção de tubos de luz utilizando alumínio são:

- Redução consumo de energia elétrica – redução da demanda por energia no país e economia para o usuário;
- Iluminação natural;
- Material altamente refletor, leve e durável.

3. PESQUISA EXPERIMENTAL: MÉTODO E RESULTADOS

Com o objetivo de estudar o desempenho de tubos de luz, uma pesquisa experimental foi realizada, sendo esta composta de duas etapas: a medição da intensidade luminosa e a avaliação visual.

3.1 Experimento 1: medição da intensidade luminosa

Foram feitos vários testes em laboratório para avaliar o desempenho do tubo de luz feito em alumínio. Os modelos reduzidos de tubos foram confeccionados utilizando partes de latas de bebida de alumínio.

Figura 3: Arranjo experimental para medições de intensidade de luz captada pelo tubo de luz.



O primeiro arranjo experimental (figura 3) consistiu no tubo e em uma lâmpada

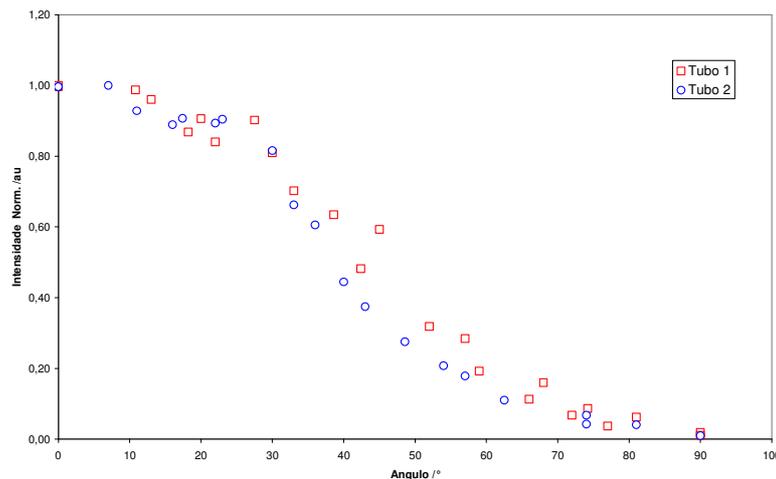
alógena montada sobre um suporte, a qual podia ser deslocada para variar o ângulo de entrada da luz no tubo, simulando as várias posições do Sol no horizonte. Como era de esperar, a intensidade luminosa detectada pelo foto-detector se reduz gradualmente, à medida que aumenta o ângulo entre a direção de incidência da luz e a direção do eixo do tubo.

No teste foram utilizados dois tubos. O primeiro, tubo 1, é um tubo de comprimento de 9 cm e diâmetro 5 cm (*aspect ratio* 1,8, sendo *aspect ratio* o quociente entre a altura e o diâmetro do tubo). O segundo tubo utilizado, tubo 2, foi obtido de uma lata mais comprida, de 12 cm e diâmetro de 5 cm (*aspect ratio* 2,4). Em cada configuração foi utilizado um difusor feito de plástico fosco.

Uma lâmpada alógena (Osram Starlite de 930 lumens) foi usada para iluminar o tubo a uma distância de 50 cm da abertura superior do mesmo.

O dados coletados para os dois tubos e vários ângulos de incidência são mostrados na figura 4.

Figura 4: Intensidade em função de ângulo de incidência para tubo 1 e 2.



Mesmo com a redução da intensidade luminosa com a variação da posição solar, pode-se verificar um bom nível de intensidade luminosa com a fonte de luz até um ângulo de 40°. A intensidade luminosa apresenta melhores resultados com o tubo 1. Aumentando o comprimento do tubo (tubo 2) a intensidade detectada diminui devido ao efeito do número maior de reflexões internas. Considerado que a iluminância do sol em um dia normal é cerca de 32000 lux, usou-se uma lâmpada alógena à distancia de 0,5 metros, produzindo pouco mais que um décimo da iluminância solar (3720 lux). A 50° a iluminância é reduzida a 20% do valor inicial, resultando em 600 lux. Este valor, segundo a norma NBR 5413 (ABNT, 1991), seria apropriada para iluminação geral de áreas de trabalho requerendo tarefas com requisitos visuais simples (auditórios).

3.2 Experimento 2: avaliação visual

O segundo arranjo experimental consistiu em uma simulação de iluminação de uma sala em escala reduzida (maquete de dimensões 36x27x18 cm; escala 1:15). O modelo reproduz uma sala sem aberturas e com um acesso para um tubo de luz em escala (figura 5).

Figura 5: Maquete em escala 1:15 de edifício.



Dois tubos (número 3 e número 4), foram testados utilizando o modelo. Os dois tubos usados foram feitos de latas de alumínio, reproduzindo em escala tubos de dimensões reais de:

- Tubo 3: comprimento de 1,7 m e diâmetro de 0,5 m (*aspect ratio* 3,3);
- Tubo 4: comprimento de 1,3 m e diâmetro de 0,3 m (*aspect ratio* 4,5).

A avaliação visual do uso dos dois tubos foi efetuada fotografando-se o ambiente iluminado pelos vários tubos, para várias inclinações da fonte luminosa, a 60°, 30° e 0° correspondente. Esta ultima posição corresponde à fonte ao zênite diretamente sobre a abertura do tubo.

Conforme o esperado, o tubo 4 resultou o menos eficaz em termos de iluminação do ambiente. O comprimento elevado deste tubo causa um alto número de reflexões no interior do tubo, reduzindo a intensidade luminosa que incide no ambiente. O diâmetro menor do tubo também permite uma menor coleta de radiação luminosa que, junto com o aumento de reflexões internas, explica a menor eficiência do tubo. Pode-se verificar que os tubos de luz com maior *aspect ratio* tendem a ser menos eficientes.

O uso da maquete permitiu de concluir que:

1. O ambiente a ser iluminado usando o tubo de luz deve ter paredes altamente refletoras, possivelmente pintadas de branco para refletir a luz e maximizar a difusão;
2. O tubo de luz deve ser curto e de grande diâmetro para reduzir o número de reflexões e coletar o máximo de luz possível. O quociente entre o comprimento e diâmetro

deve ser o mais próximo possível de 1.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi discutida a possibilidade de aplicação de um sistema ótico, o tubo de luz, para a iluminação de ambientes utilizando a luz solar.

Duas são as vantagens principais deste sistema:

- 1) Redução do consumo de energia para iluminação;
- 2) Potenciais benefícios aos usuários, em termos de rendimento de suas tarefas.

Folhas de alumínio apresentam, por si só, um alto valor de refletância no espectro da luz visível; tal superfície não precisa ser tratada ou melhorada para aumentar as suas propriedades óticas. Isto faz do alumínio um material ideal para o uso como tubo de luz.

A utilização da tecnologia do tubo de luz tem como finalidade primária reduzir o consumo de energia elétrica naquelas estruturas edificadas sem acesso a aberturas (janelas), onde não são executadas atividades especiais ou de precisão. Lugares públicos no subsolo como estacionamentos ou estações de metrô poderiam usufruir desta tecnologia reduzindo ou eliminando o uso de iluminação artificial no período diurno.

O fato que o Brasil tem uma alta exposição à luz solar em comparação a outras nações que já utilizam o tubo de luz em larga escala é um motivo adicional para desfrutar desta riqueza natural.

As limitações da tecnologia do tubo de luz seriam:

- 1) A variabilidade da iluminação produzida pelo tubo de luz em função da posição do sol ao longo do dia;
- 2) A variabilidade da iluminação produzida pelo tubo de luz em função da nebulosidade ou poluição do céu;
- 3) A instalação do tubo de luz pode demandar adaptações nas estruturas.

Estas desvantagens são substanciais e dificilmente elimináveis, mas seus efeitos podem ser muito reduzidos em comparação com o valor em termos de redução de consumo energético e benefícios da reciclagem das latinhas.

Para aumentar a coleta de luz para posições não favoráveis do sol, podem ser acoplados painéis defletores ou tubos inclinados juntos com aqueles tradicionais. Estes tubos de “suporte” ficariam inativos quando os originais funcionassem. Estudos neste sentido estão sendo conduzidos no presente.

Devido à variabilidade das condições atmosféricas (nuvens/poluição) os níveis de luminosidade alcançáveis com o tubo de luz permitem, mesmo na pior das situações, iluminar ambientes como complemento aos métodos tradicionais de iluminação.

A necessidade de adaptações na estrutura do ambiente onde o tubo de luz deve ser instalado pode limitar a sua aplicabilidade ou aumentar o custo de aplicação. Porém, é necessário lembrar que o tubo de luz é muito adaptável em termos de dimensões e facilidade de construção, podendo, também, ser unido a outras estruturas já existentes. Como exemplo, pode-se citar um estacionamento coberto, onde os tubos de escoamento da água da chuva que entram através do teto do estacionamento já conduzem luz coletada do piso superior aberto produzindo uma claridade visível no interior do tubo. Neste caso, a simples adaptação de tubos

de alumínio inseridos dentro dos tubos de escoamento poderiam aumentar a refletividade dos tubos já existentes iluminando o ambiente sem necessidade de efetuar novas aberturas ou perfurações na laje. A característica de autoproteção do alumínio à corrosão torna-o o material adequado mesmo para o contato com água da chuva.

REFERÊNCIAS

- ARRIGONE, G., MUTTI, C. N. Tubo de Luz para iluminação de ambiente usando latas de *bebidas de alumínio*. Projeto finalista no 6º Prêmio Alcoa de Inovação em Alumínio. Trabalho não publicado. São Paulo, Novembro de 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413: *Iluminância em interiores: especificação*. Rio de Janeiro, 1991.
- EPA. US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Why build green?* Disponível on line em: <http://www.epa.gov/greenbuilding/pubs/whybuild.htm>. Data de acesso: 31/3/2008
- EXPEDIA. *World's best blue sky report*. Londres, 2006.
- CRISP, V. H. C.; LITTLEFAIR, P. J., COOPER, I., MCKENNAN, G. *Daylighting as a passive solar energy option: and assessment of its potential in non-domestic buildings*. Report BR129, BRE, Garston, Reino Unido, 1988.
- FANTINELLI, J. T. *A iluminação natural através de dutos de sol em ambientes enclausurados*. In: Anais: ENCAC-ELCAC 2005. pp 659-668. Maceió, 5 a 7 de outubro de 2005.
- GUANDALINI, G. *Infra-estrutura: é preciso vencer esta guerra*. Revista Veja, Edição 202, nº 31, 80-94, 8 de agosto de 2007. Editora Abril.
- HECHT, E. *Optics*. Adelphy University, 2a Ed., 1990 Technè. *Construções eficientes: Tecnologias não asseguram uma gestão adequada da água e energia*. É preciso projetar para economizar. Edição 111 - Julho/2006. Editora Pini.
- MCMULLAN, R. *Environmental Science in Building*. 6ª edição. Macmillan. Basingstoke, Inglaterra. 2007
- SUNPIPE. *Schools*. Disponível on line em: <http://www.sunpipe.co.uk/sunpipe/commercial/schools.php>. Data de acesso: 31/3/2008
- SWEITZER, G. *Three advanced daylighting technologies - for offices*, Energy, 8(2), 107-114 (1993).