



## **INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO DOS ÁTRIOS PARA A ILUMINAÇÃO DOS ESPAÇOS ADJACENTES EM FLORIANÓPOLIS, BRASIL**

**Diego J. Lemes (1); Fernando O. R. Pereira (1)**

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura, CTC, Campus Trindade, Florianópolis/SC +48 3319393.

e-mail: [d.lemes@linhalivre.net](mailto:d.lemes@linhalivre.net)

### **RESUMO**

Este trabalho descreve uma investigação sobre o comportamento da iluminação natural através do elemento átrio na cidade de Florianópolis, no sul do Brasil, através da avaliação de sua geometria, sua configuração interna, refletância de suas superfícies e número de pavimentos como um condutor da luz natural para seus espaços adjacentes, proporcionando aos usuários da edificação melhores condições de conforto visual. A metodologia utilizada neste estudo foi a análise da distribuição da luz natural em modelos criados em computador (maquetes digitais), sendo estes simulados em dois softwares próprios para tal, o Lightscape Visualization System e o Apolux, criando assim um novo paradigma para o estudo da iluminação natural em edificações.

### **ABSTRACT**

This work describes a investigation about the behaviour of daylighting through the atrium element in the city of Florianópolis, in Southern Brazil, through the evaluation of its geometry, internal configuration, surface reflectance and number of floors as a daylight conductor for its adjacent spaces, providing better conditions of visual comfort to the users of the spaces. The methodology used in this study was the daylight distribution analysis through computer models in computer simulations, using Lightscape Visualization System and Apolux softwares to did that, creating in this way a new paradigm for the studies of daylighting in buildings.

### **1. O ÁTRIO E A ILUMINAÇÃO NATURAL**

A iluminação natural tem um grande potencial para a redução do consumo de energia em edificações de caráter comercial, mas uma das principais razões que fazem os arquitetos ignorar seu uso é a dificuldade em mantê-la constante dentro da edificação e fazê-la trabalhar em conjunto com o sistema de iluminação artificial (LEMES, 2004).

O uso de átrios como componente condutor da luz natural tem crescido nos últimos anos. Vários estudos têm sido realizados no sentido de aumentar a incidência da luz natural através das estruturas do átrio para assim obter o melhor comportamento possível desta através do dia, obtendo uma maior uniformidade da luz incidente e uma redução no consumo final de energia por parte do sistema de iluminação artificial.

O átrio moderno pode ser utilizado para preencher várias funções, incluindo fatores estéticos, comerciais e sociais. Entretanto, um dos fatores mais importantes no átrio, é a sua capacidade de modificar o ambiente físico dentro de seu poço e de seus espaços adjacentes (NAVVAB, 1988).

Simulações computacionais são importantes ferramentas de auxílio à avaliação do desempenho de projetos arquitetônicos, uma vez que permitem o ensaio de diversos fatores a baixo custo e são independentes de fatores naturais externos. A simulação da iluminação natural propicia a visualização dos efeitos da entrada de luz difusa e direta em ambientes internos ao longo do ano em um processo relativamente rápido, que permite a verificação da adequação do dimensionamento e localização de aberturas, os efeitos do uso de materiais, texturas e cores na iluminância e na distribuição de luz nos ambientes (SOUZA, 2001).

O objetivo deste trabalho consiste em encontrar dentro dos modelos estudados, a melhor configuração para o elemento átrio para que a distribuição da luz natural dentro de suas salas adjacentes seja o mais uniforme possível e com isso, além de diminuir o consumo final de energia elétrica, forneça aos usuários desses ambientes as melhores condições para o desenvolvimento de suas atividades.

## 2. MODELOS DE ANÁLISE

Para o desenvolvimento do trabalho, três modelos diferentes de átrios foram criados, modelos estes que serão estudados para a cidade de Florianópolis, Brasil, 27° Sul.

Os modelos de estudo foram confeccionados por meio da computação gráfica no software AutoCad 2000. Os modelos consistem em átrios com cinco pavimentos cada, onde em cada pavimento há uma sala com 60m<sup>2</sup>, com um pé direito de 3m e uma abertura lateral de 15m<sup>2</sup> para a face interna do átrio.

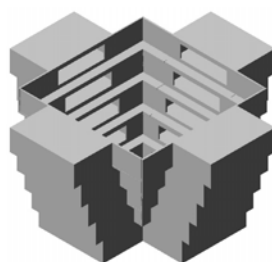
Os Modelos 1 e 2 consistem de um átrio com planta quadrada, com 100m<sup>2</sup> e 225m<sup>2</sup> de área de abertura zenital, respectivamente. O Modelo de estudo 3 é diferente dos demais, pois possui uma área de abertura zenital de 400m<sup>2</sup> e uma configuração interna com a forma de um tronco de pirâmide invertido, onde as suas faces internas são semelhantes a uma escada com um ângulo de 70° a partir do peitoril da abertura lateral da sala do pavimento térreo (FIGURAS 1,2,3 e 4).



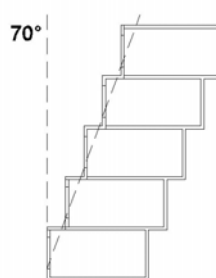
**Figura 1: Modelo 1**



**Figura 2: Modelo 2**



**Figura 3: Modelo 3**



**Figura 4: Corte no Modelo 3**

## 2.1 Índice de profundidade

O Índice de Profundidade (IP) é utilizado para classificar geometricamente os átrios nos estudos do desempenho da iluminação natural através dos mesmos para as suas salas adjacentes (BAKER et al, 1993; AIZLEWOOD et al, 1996; LITTLEFAIR, 1998; SHARPLES, 1993).

Este índice relaciona a área de luz admissível do átrio (comprimento x largura) pela área de superfície das paredes do mesmo (altura x (comprimento + largura)) e é dado pela equação 01:

$$\text{IP} = \frac{\text{altura} \times (\text{largura} + \text{comprimento})}{2 \times \text{largura} \times \text{comprimento}} \quad [\text{Eq. 01}]$$

A configuração dos modelos assim como os índices de profundidade calculados podem ser vistos na Tabela 1.

**Tabela 1 – Configuração dos modelos**

<b>Modelos</b>	<b>Área de abertura zenital</b>	<b>Área do piso</b>	<b>Índice de Profundidade</b>
Modelo 1	100 m <sup>2</sup> (10x10m)	100 m <sup>2</sup> (10x10m)	1,5
Modelo 2	225 m <sup>2</sup> (15x15m)	225 m <sup>2</sup> (15x15m)	1
Modelo 3	400 m <sup>2</sup> (20x20m)	100 m <sup>2</sup> (10x10m)	0,6

## 3. PROPRIEDADES DOS MODELOS E VARIÁVEIS DE ANÁLISE

Todos os modelos foram submetidos às mesmas variáveis físicas e ambientais no momento das análises, variáveis essas que incluem: refletividade das superfícies, orientação, horários, datas e condições de céu.

Nos três modelos de átrios analisados, foram empregadas as mesmas características físicas das superfícies, isto é, para todos os átrios foram utilizados os mesmos materiais, os mesmos coeficientes e as mesmas propriedades físicas das superfícies. A Tabela 2 apresenta as superfícies dos modelos de estudo e as suas respectivas características físicas.

**Tabela 2 – Características físicas dos modelos**

<b>Superfície</b>	<b>Material</b>	<b>Refletividade</b>
Paredes do Átrio	Difusor	50%
Piso do Átrio	Difusor	20%
Paredes da Sala	Difusor	50%
Teto da Sala	Difusor	75%
Piso da Sala	Difusor	30%

Os valores de refletividade adotados para as superfícies tiveram como base o trabalho realizado por Souza et al (2001), com a diferença mais marcante se encontrando no valor adotado para o piso da sala adjacente, onde se escolheu um valor mais elevado para assim aumentar a possibilidade de uma melhor distribuição da luz natural dentro do ambiente.

Tendo em vista a simetria dos modelos, as aberturas das salas adjacentes ficaram voltadas para os principais pontos cardeais: Norte, Sul, Leste e Oeste.

Para permitir uma análise em momentos distintos do dia, foram escolhidos três horários para simulação: 9 horas, 12 horas e 15 horas. As análises da parte da tarde não serão apresentadas no item de resultados pois a mesma foi tomada como o inverso das análises realizadas na parte da manhã, ou seja, as análises realizadas às 9 horas são um reflexo das análises realizadas às 15 horas.

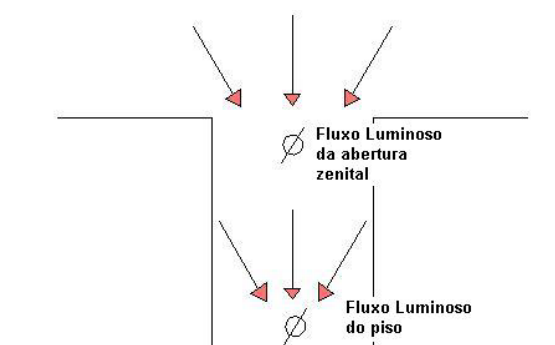
As datas escolhidas referem-se aos extremos da trajetória solar, isto é, as análises foram realizadas para o solstício de verão (21 de dezembro) e solstício de inverno (21 de junho) para situações de céu claro e céu encoberto.

#### 4. METODOLOGIA

Os modelos foram analisados de duas maneiras, primeiramente mostrando o comportamento da luz natural que entra pela abertura zenital e chega ao piso do átrio. A outra análise refere-se à distribuição da luz natural no interior dos espaços adjacentes ao átrio por meio de valores de iluminância.

##### 4.1 Comportamento do fluxo luminoso no interior do átrio

Foi realizada análise junto aos modelos, de quanto de luz natural (fluxo luminoso) que entra pela abertura zenital e se distribui em suas superfícies internas, chega ao piso do mesmo (Figura 5).

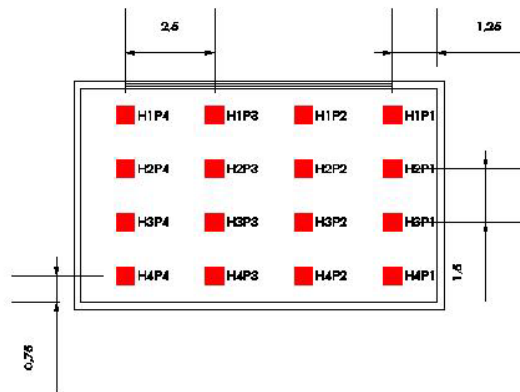


**Figura 5: Fluxo luminoso incidente na abertura zenital e piso do átrio**

Uma relação piso / abertura zenital foi realizada para verificar as perdas por parte da luz natural ao atravessar os modelos de estudo.

##### 4.2 Iluminação dos espaços adjacentes

Para a verificação da distribuição da luz natural no interior dos espaços adjacentes, uma malha de 16 pontos foi inserida no interior das salas para a coleta dos valores de iluminância (Figura 6).



**Figura 6: Planta da sala com os pontos de medição**

Estes pontos estão localizados a uma altura de 0,75m do piso, representando assim, de acordo com a NBR-5413, planos horizontais de trabalho.

Depois da coleta dos valores de iluminância nos pontos, curvas de isoiluminância foram geradas no software Surfer para mapear e mostrar de maneira representativa a distribuição da luz natural no interior das salas.

Para evitar um grande número de análises e conseqüentemente deixar o trabalho mais extenso, as análises da distribuição da luz nos espaços adjacentes foram realizadas nos pavimentos 5º, 3º e térreo.

### 4.3 Zonas para análise de iluminâncias

Para uma melhor caracterização da distribuição de iluminâncias no interior dos espaços adjacentes, um mapa com curvas de isoiluminância foi inserida no interior dos modelos. Estas curvas definem zonas que representam intervalos de iluminância.

#### 4.3.1 Quantificação das zonas

Foram adotadas 5 zonas para a análise da iluminação no interior dos espaços adjacentes ao átrio. A quantificação destas zonas e sua classificação são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Classificação das zonas para a distribuição de iluminâncias**

<b>Intervalo de iluminância</b>	<b>Zona de qualificação da iluminação</b>	<b>Classificação</b>
0 a 299	INSUFICIENTE	RUIM
300 a 349	TRANSIÇÃO INFERIOR	REGULAR
350 a 650	SUFICIENTE	BOA
651 a 1000	TRANSIÇÃO SUPERIOR	REGULAR
Acima de 1000	EXCESSIVA	RUIM

As áreas que estiverem dentro dos valores das zonas de transição inferior e superior são zonas que a ABNT – 1991 classifica como aceitáveis para a realização de trabalhos.

As zonas denominadas insuficiente e excessiva são zonas com iluminação deficiente ou exagerada, ou seja, zonas que necessitam um tratamento para a correção dos valores encontrados.

Os somatórios das zonas de transição inferior, suficiente e transição superior geram a zona de iluminação admissível, que será utilizada para a classificação final dos ambientes analisados.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Comportamento do fluxo luminoso no interior do átrio

Para essa análise, foram pegos valores de iluminância em 5 pontos da abertura zenital e do piso do átrio, onde foi obtido um valor médio para ser utilizado. Este valor médio foi multiplicado pela área de abertura zenital e área de piso gerando assim o valor do fluxo luminoso, buscando assim, quantificar de maneira percentual, as perdas por parte da luz natural ao atravessar o átrio, tentando assim estabelecer uma relação entre os três modelos estudados.

Os valores percentuais do fluxo luminoso nessa relação estudada, são apresentados na Tabela 4.

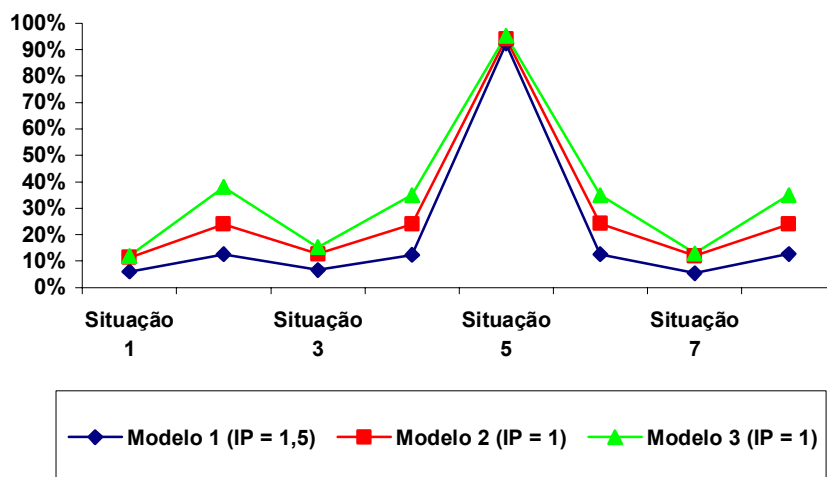
**Tabela 4 – Valores (em %) do fluxo luminoso incidente no piso do átrio em relação ao que atravessa a abertura zenital do átrio**

Situação Simulada	Modelo 1 (IP = 1,5)	Modelo 2 (IP = 1)	Modelo 3 (IP = 0,6)
Situação 1- Manhã / Verão / Céu Claro	6%	11%	12%
Situação 2 - Manhã / Verão / Céu Enc.	13%	24%	38%
Situação 3 - Manhã / Inverno / Céu Claro	7%	13%	15%
Situação 4 - Manhã / Inverno / Céu Enc.	12%	24%	35%
Situação 5 - Meio Dia / Verão / Céu Claro	92%	94%	95%
Situação 6 - Meio Dia / Verão / Céu Enc.	13%	24%	35%
Situação 7 - Meio Dia / Inverno / Céu Claro	6%	12%	13%
Situação 8 - Meio Dia / Inverno / Céu Enc.	13%	24%	35%

Como pode se observar no Tabela 4, para as 8 situações simuladas, a situação que apresentou menor perda da quantidade de luz através do átrio foi à situação 5, com perdas de no máximo 8% em relação à luz que entrou no átrio, pois nesta situação simulada, o Sol está praticamente perpendicular à abertura zenital do átrio, conseqüentemente a perda de luz ao atravessar o mesmo é mínima.

As situações com perdas mais significativas foram às situações 1, 3 e 7, com perdas bastante significativas da luz que incidiu no piso em relação à luz que entrou no átrio. Tal fato ocorreu nas situações 1 e 3 pelo fato do Sol estar incidindo com maior intensidade nos pavimentos superiores do átrio e esta se perde nos demais pavimentos até a chegada ao piso.

Para os modelos simulados sob céu claro, nota-se, tanto na manhã quanto ao meio dia, no verão e inverno, uma maior perda do fluxo luminoso entre o Modelo 1 e o Modelo 2, perda essa de mais ou menos 6%, com exceção da situação 5, onde essa perda é de somente 2%, conforme a Figura 7.



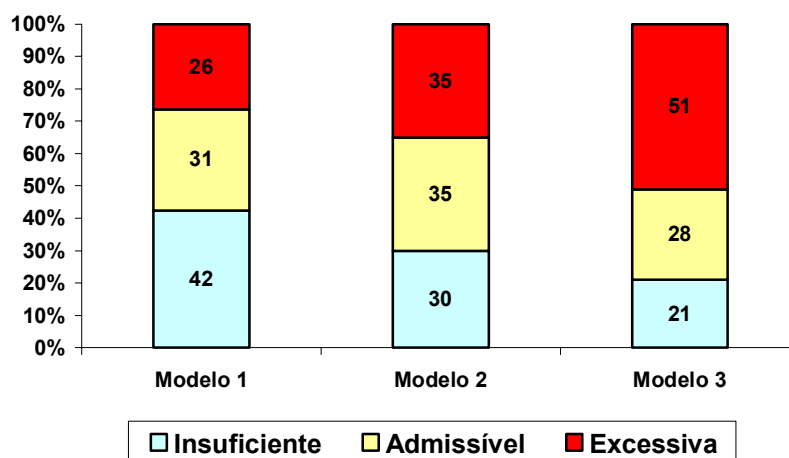
**Figura 7: Fluxo luminoso que atravessa os átrios estudados**

Para as simulações realizadas no Modelo 3, com valor do IP igual ao Modelo 2, porém com configuração geométrica diferente, observa-se uma menor quantidade de perda de luz desde a sua entrada na abertura do átrio até a chegada ao piso.

## 5.2 Distribuição da luz natural nos espaços adjacentes

Os elementos que servem de parâmetro para a avaliação da eficiência de um átrio são as suas salas adjacentes. São elas que, através da distribuição da luz natural em seu interior irão classificar o átrio como eficiente ou não, respeitando obviamente todas as variáveis físicas e ambientais a qual estas salas foram expostas (LEMES, 2004).

Os resultados das análises de distribuição da iluminação natural no interior das salas adjacentes para todas as simulações realizadas foram reunidos dentro de um gráfico síntese, gerando em porcentagem, a quantificação final das zonas de iluminação analisadas nos três modelos propostos, conforme a Figura 8.



**Figura 8: Valores finais das áreas, expressos em porcentagem, das 3 zonas de iluminação avaliadas em todas as situações simuladas (Modelos 1, 2 e 3)**

Entre os modelos estudados, o Modelo 2 foi o que apresentou maior incidência da zona de iluminação admissível no interior de suas salas adjacentes, com 35% de sua área dentro desta zona.

Essa maior porcentagem da zona de iluminação admissível no interior das salas pode estar associado ao fato deste modelo ter na sua altura (profundidade) a mesma dimensão para a largura (área de piso), isto é, uma configuração que permitia áreas iguais de parede e piso para a reflexão da luz natural incidente no interior do átrio.

O Modelo 1 apresentou bons níveis de distribuição de luz natural nos pavimentos mais próximos à abertura zenital, já nos pavimentos térreos a maior parte das salas apresentou níveis de iluminação natural deficientes, pois como este modelo apresenta uma maior altura (profundidade do átrio) em relação à sua largura (área de piso), ele não capta toda a luz natural incidente no seu interior, dependendo bastante da inter-reflexão desta entre as paredes internas e o piso do átrio.

O terceiro modelo de estudo apresentou a maior parte da área das salas dentro da zona de iluminação excessiva, com 51% da área total, principalmente nos pavimentos próximos à abertura zenital, com exceção da simulação realizada ao meio dia sob céu claro no Verão, onde as salas do pavimento térreo apresentaram 100% de iluminação excessiva. Estes resultados foram obtidos pois, além da posição do sol, há uma grande desproporcionalidade na relação entre a área de abertura zenital com a área de piso do átrio, caracterizando-o como um “átrio raso”, ou seja, a largura de sua abertura zenital é maior que a sua altura.

Este tipo de átrio favorece bastante a distribuição da luz natural para as salas adjacentes em todos os pavimentos, mas há a necessidade de se controlar a entrada da luz em excesso por meio de elementos de controle, especialmente luz direta do Sol.

## 6. CONCLUSÕES

Os átrios possuem um grande potencial para a distribuição da iluminação natural em grande parte do dia para seus espaços adjacentes e conseqüentemente para a conservação de energia nas edificações no que se refere à iluminação artificial, além é claro de permitir uma maior interação visual entre os usuários de seus espaços adjacentes e o meio externo.

O Índice de Profundidade dos átrios é um importante parâmetro para descrever, comparar e relacionar a quantidade de luz natural distribuída em seus espaços adjacentes, estabelecendo um valor relativo à geometria aos modelos de estudo e em “parceria” com os elementos que o compõem, permitiram ou não, uma maior entrada desta luz no interior e salas adjacentes do mesmo.

O Índice de Profundidade é melhor descrito para modelos de prismas regulares (quadrados e retangulares), pois em modelos com configuração mais complexa, em função da sua fórmula, podem surgir ambigüidades no estabelecimento de quais variáveis serão aplicadas à equação.

Pode-se observar nas simulações realizadas, que as condições de céu são importantes para a caracterização da componente de luz refletida interna do átrio, pois a maior ou menor presença da luz natural sobre as superfícies que compõem o átrio, vão determinar a quantidade de luz que penetrará no interior das salas adjacentes.

No que se refere ao comportamento do fluxo luminoso dentro do átrio, para as 8 situações analisadas, apenas 3 apresentaram perdas significativas de luz ao “atravessar” o átrio, com perdas entre 85% e 90%, pois a luz incidente chegava com mais intensidade nas salas localizadas próxima à abertura zenital do átrio.

As características dos espaços adjacentes ao átrio tem influência na variação da distribuição da luz natural em seu interior, ou seja, ambientes mais profundos e com pés direitos menores tenderão a apresentar baixos níveis de iluminância, principalmente nos pavimentos inferiores, onde a luz natural



chega ao interior das salas predominantemente através do fenômeno de inter-reflexão da luz entre as paredes internas e piso do átrio, exemplo disso são os resultados encontrados no interior das salas do Modelo 1. No interior das salas, a variação nos níveis de iluminação ocorrem no sentido da janela ao fundo da sala. Geralmente ocorrendo contrastes elevados das zonas localizadas próximas às aberturas com as zonas ao fundo das salas.

No que se refere à distribuição da luz natural no sentido vertical (entre pavimentos), isto é, da abertura superior ao piso do átrio, há um decréscimo esperado de iluminação em relação ao interior das salas adjacentes, do quinto ao terceiro pavimento por exemplo, principalmente nas situações de céu encoberto. Entretanto, quando há a presença do Sol, ainda ocorre esse decréscimo, mas de maneira não tão acentuada, visto que o piso do átrio funciona como superfície refletora da luz natural para os pavimentos inferiores.

De maneira geral, esse estudo contribuiu para mostrar que os átrios podem ser excelentes condutores de iluminação natural para os espaços adjacentes, a condução desta está diretamente ligada às relações geométricas (Índice de Profundidade) a serem adotadas no modelo e à refletividade das superfícies. Além disso, as paredes internas, o piso, o tamanho das aberturas, o uso de elementos de controle e as características das salas adjacentes são alguns dos outros fatores que irão determinar o sucesso ou não do átrio na sua função de condução da luz natural.

O uso da simulação computacional mostrou-se ser uma grande ferramenta de análise da iluminação natural em átrios, pois possibilita o estudo em modelos mais complexos de edificações de maneira rápida.

Entre os softwares utilizados, Lightscape e Apolux, ambos se mostraram ferramentas eficazes na análise do comportamento da luz natural em ambientes internos, tendo o Apolux mostrado um melhor desempenho na reprodução da distribuição da luz natural nos pontos próximos às aberturas laterais.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ABNT (1991): “Iluminância de Interiores, NBR 5413”. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1991.
- AIZLEWOOD, M. E.; ISAAC, K. A.; LITTLEFAIR, P. J. (1996) “A scale model study of daylighting in atrium buildings”. in: IESANZ, Perth – Australia, 1996.
- BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. (1993) “Daylighting in Architecture: A European reference book”. James & James (Science Publishers) Ltd.
- LEMES, D. J. (2004) “A influência da configuração dos átrios para a iluminação de espaços adjacentes em Florianópolis”. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2004.
- LITTLEFAIR, P. J.; AIZLEWOOD, M. (1998) “Daylighting in atrium buildings”. in: BRE Information paper IP3/98, Construction Research Communications, 1998.
- NAVVAB, M. (1988) “Daylight in atrium spaces”. Architectural Lighting Magazine, September.
- SHARPLES, S.; NEAL, T. (1993) “A model study of the influence of the roof structure on daylight levels in atria type buildings”. in: EUROPEAN CONFERENCE OF ARCHITECTURE, III, Florence – Italy, 1993.

SOUZA, R. V. G.; KREMER, A.; MACEDO, C.; CLARO, A. (2001) “Daylighting simulation: pros and cons”. in: The 18<sup>th</sup> International Conference on Passive and Low Energy Architecture – PLEA 2001. Florianópolis, 2001.

SOUZA, R. V. G.; KREMER, A.; MACEDO, C.; CLARO, A. (2001) “Simulação de iluminação natural utilizando o Lightscape: uma análise do desempenho frente a diferentes características de superfícies”. in: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC 2001. São Pedro, 2001.