



ANÁLISE DE UMA CORRELAÇÃO PARA PREDIÇÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA DEVIDO À ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL DE EDIFICAÇÕES BRASILEIRAS QUANDO SE UTILIZA CONTROLADORES PARA APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL

(1) **Viviane C. Costa Jorge**; (2) **Ana Angélica M. Máximo**; (3) **José Henrique M. Neto**

(1),(2), (3) Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Dep.de Eng. Mecânica, Av. Amazonas 7675, Belo Horizonte, 30510-000, tel: (55)(31)3319-5208, Fax: (55)(31) 3319-5228;

(1) e-mail: vivianedcj@des.cefetmg.br; (2) e-mail: aamaximo@uol.com.br

(3) e-mail: henrique@des.cefetmg.br

RESUMO

Este trabalho analisa a aplicabilidade de uma correlação, desenvolvida previamente a partir de um modelo simplificado, para predição da economia de energia elétrica associada à iluminação de edificações comerciais quando se utiliza controladores do tipo “*dimming*” para aproveitamento da luz natural. Neste trabalho foram realizadas várias simulações computacionais para determinação dos coeficientes da correlação considerando-se três cidades brasileiras representativas de diferentes climas e latitudes. Os valores dos coeficientes da correlação obtidos para as três cidades brasileiras apresentam valores diferentes daqueles publicados anteriormente para cidades americanas. Essa diferença deve-se ao fato das cidades brasileiras apresentarem índices solarimétricos e climas diferentes daqueles observados para as cidades americanas. Foi verificado que para valores de “ A_w/A_p ” (razão entre as áreas das janelas e perimétrica de piso) superiores a 0,4 não ocorrem variações significativas de economia de energia elétrica, independentemente de “ A_p/A_f ” (razão entre as áreas perimétrica e total de piso). Observou-se que a medida que as taxas de radiação solar aumentam o potencial de economia de energia elétrica aumenta. A correlação foi validada através de simulações computacionais tendo apresentado uma diferença relativa média de 7%. Adicionalmente, foi realizada uma análise econômica simplificada para avaliação da redução dos gastos anuais de energia elétrica devido ao aproveitamento da luz natural.

Palavras-chave: Luz natural, iluminação, economia de energia.

ABSTRACT

This work analyses the applicability of a correlation, previously developed from a simplified method, for prediction of the electricity energy savings associated to the artificial lighting of commercial buildings when continuous dimming controllers are used to take in account the availability of day lighting. In this work were performed several computer simulations for determination of the correlation coefficients considering three Brazilian cities representatives of the different climates and latitudes. The values of the correlation coefficients obtained for the three Brazilian cities show different values from those published previously for American cities. The difference is due to the solar radiation and the climate of the Brazilian cities, which are different from those observed for the American cities. It was verified that for values of “ A_w/A_p ” (ratio between the areas of the windows and floor perimeter) higher than 0,4 there are no significant variations of the electricity energy

savings, independently of “ A_p/A_f ” (ratio of the areas of the perimeter floor and total floor). It was noticed that the increase of the solar radiation rates contributes to the increase of the electricity energy savings. The correlation was validated through computer simulations and shows an average relative difference of 7%. Farther it was performed a simplified economic analysis for evaluation of the electricity energy savings using day lighting.

1. INTRODUÇÃO

Edificações comerciais brasileiras consomem aproximadamente 13% da energia total consumida no país, sendo que a energia elétrica devido à iluminação artificial consumida pelas edificações dos setores comercial e público representa cerca de 44% do consumo total de uma edificação (SEBRAE, 2002).

Nas últimas décadas algumas medidas têm sido consideradas para reduzir o uso de eletricidade associada ao uso de energia para iluminação artificial. Medidas de eficiência energética comumente utilizadas de acordo com o (SEBRAE, 2002) são: (i) uso de lâmpadas fluorescentes compactas; (ii) uso de reatores eletrônicos com alto fator de potência; (iii) instalação de sensores de presença; (iv) desativação de luminárias (delamping); (v) uso de interruptores independentes; e (vi) melhores projetos que visam minimizar o número de luminárias. Estas medidas podem ocasionar substancial economia de energia, entretanto, ainda não eliminam o uso contínuo de luz artificial para iluminação das edificações.

Recentemente, arquitetos e engenheiros de edificações começaram a se interessar por projetos que incorporam o uso da luz natural como forma de reduzir o uso de energia gasto nas edificações. A maioria das edificações comerciais funciona durante o dia e, portanto, podem tirar vantagem da fonte abundante da luz natural. Pesquisas mostram que existe uma preocupação crescente em se aproveitar a luz natural nas edificações brasileiras, conforme (CEMIG, 2002), entretanto, não se tem notícia de projetos específicos que utilizaram estratégias de controle para utilização da luz natural. Trabalhos anteriores mostram que é comum a utilização excessiva de iluminação no Brasil (Eletrobrás, 2001).

A resistência dos profissionais do setor de construção na incorporação da luz natural em seus projetos se deve em parte a inexistência de ferramentas simplificadas de análise das vantagens do uso da luz natural quanto ao seu potencial para economizar energia. Alguns softwares estão disponíveis para simulação de edificações utilizando os benefícios da luz natural, entretanto, estes programas demandam bastante tempo do usuário, restringindo assim sua utilização. Entre os modelos simplificados podemos mencionar a correlação simplificada obtida por (Souza e Pereira, 1995) para predição das economias de energia devido ao aproveitamento da luz natural. Esta correlação é um pouco limitada, pois, é específica para uma cidade e para uma geometria de planta (layout) da edificação.

O trabalho proposto trata da análise da correlação de (Erickson et al, 2003), obtida a partir de um modelo simplificado, para três cidades brasileiras representativas de diferentes zonas climáticas. Este modelo avalia o consumo anual da energia elétrica devido à iluminação artificial, considerando a utilização de um controle contínuo de luz artificial denominado “dimming”. O controle “dimming” permite regular gradativamente a potência elétrica requerida pela iluminação artificial de forma a atender uma determinada iluminância no plano de trabalho.

Este trabalho determina valores para as constantes da correlação de (Erickson et al, 2003) para três cidades brasileiras e também apresenta resultados quanto à economia anual de energia elétrica para duas geometrias relativo a planta arquitetônica das edificações. Adicionalmente, é analisado o consumo anual de energia elétrica para dois valores de “ A_w/A_p ” (i.e., razão entre a área de janelas e a área de piso periférico), considerando um vidro do tipo claro com transmitância de 0.898 e espessura de 3 mm que é o mais utilizado nas edificações comerciais brasileiras.

2. DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Para realização da análise foi considerado um edifício típico utilizado para escritórios, com 10 andares, pé direito de 3 metros, com entre forro de 1 metro de altura, e área total de piso de 3.600 m². Neste presente estudo, foi analisada apenas a economia de energia elétrica devido à redução da iluminação artificial ocasionada pela utilização da luz natural. Não foi considerada a energia para climatização.

Os seguintes parâmetros são apresentados no intuito de facilitar as análises: “Af” (área total de piso do edifício); “Ap” (área perimétrica de piso considerando a profundidade de 4 metros); “Aw” (área total da área envidraçada - área total de janelas). Optou-se por analisar quatro tipos de geometrias quanto ao layout da planta da edificação. Variaram-se as dimensões das fachadas norte e sul mantendo-se fixa a área total de piso para todas as geometrias, de modo que se pudesse observar a influência da geometria sobre a entrada de luz do dia e seu conseqüente impacto sobre a economia de energia elétrica devido à luz artificial. A figura 1 apresenta as plantas do piso da edificação considerando os quatro tipos de layout.

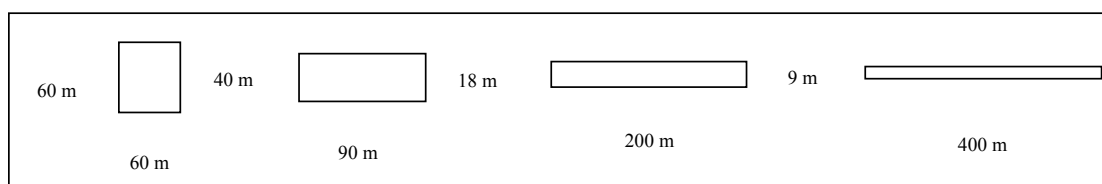


Figura 1: Tipos de layout das plantas do piso da edificação

Para todas as análises foram usados os seguintes parâmetros típicos de edifícios de escritórios: (i) densidade de iluminação de 14 W/m² (conforme recomendação da ASHRAE/IES); (ii) horário de funcionamento com ocupação das 8 às 12 hs e de 14 às 18 hs de segunda à sexta-feira; (iii) índice de iluminação de 500 lux; (iv) controlador do tipo “*dimming*” com consumo mínimo de energia elétrica ajustado igual a 10% da potência elétrica total das luminárias; (v) sombreamento interno móvel devido ao fechamento de cortinas e persianas quando o índice da radiação solar exceder 95 W/m² e quando o índice limite de brilho no ambiente de trabalho exceder o valor de 20 (i.e., este índice define o brilho máximo permitido no local de trabalho). Para todas as geometrias considerou-se que os escritórios eram distribuídos lado a lado em toda a área periférica do edifício. As dimensões de cada escritório são as seguintes: 4 metros de largura, 4 metros de profundidade e 3 metros de altura até o entre forro, com área de piso de 16m². Sensores que detectam a iluminância interna foram considerados instalados no centro de cada fachada e distantes 2m da parede externa do edifício. Assumiu-se que as refletividades das superfícies do forro, paredes e piso são iguais a 80%, 50% e 20%, respectivamente).

3. ANÁLISES PARAMÉTRICAS

Para realização das análises paramétricas foram realizadas várias simulações utilizando-se o software de análise energética de edificações “Visual Doe”. Foram selecionadas para análise as cidades de Belo Horizonte (latitude 19,9° S; altitude 800 m), Curitiba (latitude 25,4° S; altitude 935m) e Fortaleza (latitude 3,3° S; altitude 21m), por representarem regiões geográficas distintas do país. Foram utilizados os arquivos climáticos disponíveis no web site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE).

Foram analisados os seguintes parâmetros que influenciam no aproveitamento da luz natural: (i) tipo de vidro (transmitância no comprimento de onda da radiação visível); (ii) geometria da planta da edificação (layout); e (iii) área total de janelas (para uma mesma área perimétrica). Embora a área total de piso das edificações tenha sido mantida fixa, as áreas de perímetro foram permitidas variar de acordo com a geometria da planta da edificação. A área perimétrica representa a área máxima abrangida pela luz natural. Quatro tipos de vidros disponíveis no mercado foram selecionados de forma a possibilitar a análise da transmitância à luz visível através dos mesmos e possibilitar o estudo em uma ampla faixa de transmitância. Os seguintes parâmetros foram utilizados: (i) “Aw/Ap” (razão entre a área total de janelas relativa à área total de perímetro); (ii) “Ap/Af” (razão entre a área

perimétrica de piso em relação à área total de piso); (iii) “Percentual de economia de energia” (i.e., economia de energia elétrica devido ao uso de luz natural, comparado ao consumo de energia elétrica do caso base sem controle de luz natural. A tabela 1 apresenta os diferentes tipos de vidros com suas respectivas transmitâncias a luz visível e as faixas de razões “Aw/Ap” e “Ap/Af” utilizadas nas análises paramétricas.

Tabela 1: Transmitância dos vidros e faixas Aw/Ap e Ap/Af usados nas análises paramétricas

Vidros	Transmitância	Aw/Ap	Ap/Af
Vidro simples claro 3mm (SC)	0,898	0,1 - 0,9	0,25 - 0,9
Vidro simples cinza 3mm (SGy)	0,611	0,1 - 0,9	0,25 - 0,9
Vidro duplo refletivo claro 6/6/6 mm (DClear)	0,307	0,1 - 0,9	0,25 - 0,9
Vidro duplo refletivo tinto 6/6/6 mm(DTint)	0,100	0,1 - 0,9	0,25 - 0,9

3.1 Razão “Área de Janela - Área de Perímetro”

A Figura 2 apresenta a redução percentual do consumo anual de energia elétrica devido à iluminação em relação ao caso base (luz artificial sempre ligada), em função da razão “Aw/Ap” (área de janelas e a área perimétrica), para vidros com diferentes transmitâncias para a cidade de Belo Horizonte. Considerou-se a área de entrada de luz (área de perímetro) fixa e a área de janelas foi permitida variar.

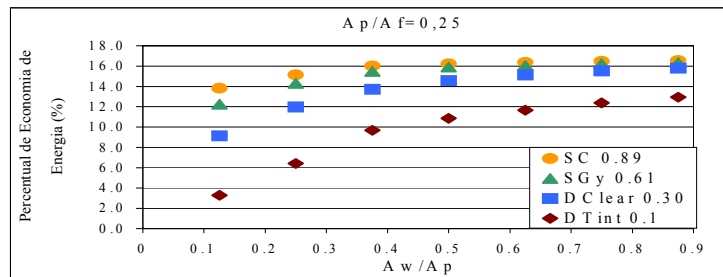
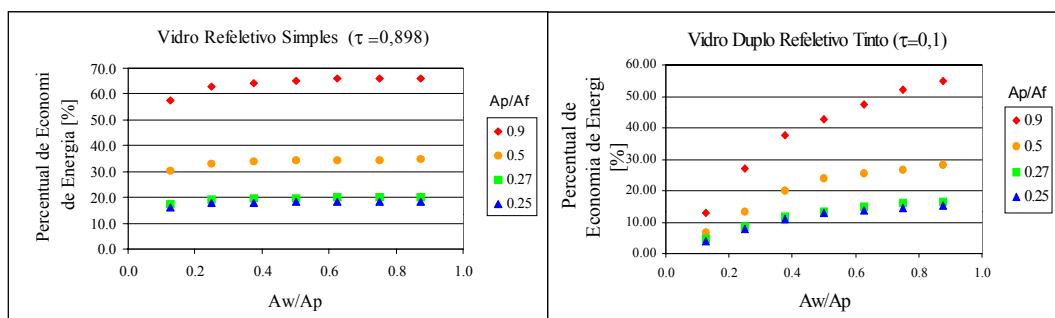


Figura 2: Influência da transmitância do vidro e da relação “Aw/Ap” sobre o percentual de economia de energia elétrica para a cidade de Belo Horizonte, MG.

Foi observado para todos os vidros que à medida que a razão “Aw/Ap” aumenta, a redução do consumo de energia elétrica aumenta e, conseqüentemente, maior a economia de energia elétrica. Fig. 2 mostra também que quanto maior o valor da transmitância do vidro maior o percentual de economia de energia, devido ao aumento de fluxo de luz visível que entra no espaço. Observa-se ainda que para valores de “Aw/Ap” maiores que 0,4 não ocorrem variações significativas no percentual de economia de energia, principalmente para vidros com altos valores de transmitância. Análises similares foram realizadas para as outras duas cidades e para as outras geometrias de piso (layout), tendo sido constatado o mesmo comportamento. As figuras 3(a) e 3(b) apresentam a redução percentual do consumo anual de energia elétrica devido à iluminação em relação ao caso base, em função da razão “Aw/Ap”, para diferentes valores de “Ap/Af”, para dois tipos de vidro e para a cidade de Fortaleza.



3(a)

3(b)

Figuras 3(a) e 3(b): Percentual de economia anual de energia elétrica em função de “Aw/Ap” para várias geometrias para a cidade de Fortaleza, CE.

Para esta análise variou-se a área perimétrica de piso da edificação, através da variação da geometria do piso da edificação, mantendo-se inalterada a área de piso total. Figs 3(a) e 3(b) mostram que a medida que a razão “ A_p/A_f ” aumenta a economia de energia elétrica aumenta. A geometria de piso retangular “ $A_p/A_f = 0.9$ ” se destaca apresentando maior economia de energia. Observa-se que para o vidro de alta transmitância (Vidro Simples Claro $\tau = 0.898$) a redução de energia aumenta levemente com o aumento da razão “ A_w/A_p ”, para todas as geometrias “ A_p/A_f ”. No entanto, para vidros com baixos valores de transmitância há uma significativa variação de percentual de economia de energia para todas as geometrias. Isto fica claro na Fig.3(b), principalmente quando se observa a geometria com “ $A_p/A_f = 0.9$ ”. A explicação para isto é devido ao fato de que vidros de alta transmitância permitem que um grande fluxo de luz natural entre no espaço, permitindo alcançar valores de luminosidade interna bem próximos aos valores de ajuste requerido para conforto visual (i.e., 500 lux). Portanto, neste caso o aumento da área perimétrica de piso não produz aumento significativo de economia de energia elétrica. Por outro lado, vidros de baixos valores de transmitância bloqueiam grande parte da luz natural e, portanto, o aumento da área perimétrica de piso neste caso produz um aumento significativo no aproveitamento da luz natural. Para as outras duas cidades foi notado o mesmo comportamento.

3.2 Razão “Área Perimétrica de Piso - Área Total de Piso”

Figura 4 apresenta a redução percentual do consumo anual de energia elétrica em relação ao caso base em função da razão “ A_p/A_f ” (representando três geometrias de piso), para três áreas de janelas, para a cidade de Fortaleza. As áreas das janelas com suas respectivas frações em relação às áreas das paredes são: (i) Janela #1 (1.5m^2 e 16,7%); Janela #2 ($3,0\text{m}^2$ e 33,3%); Janela #3 (9m^2 e 100%, neste caso parede envidraçada).

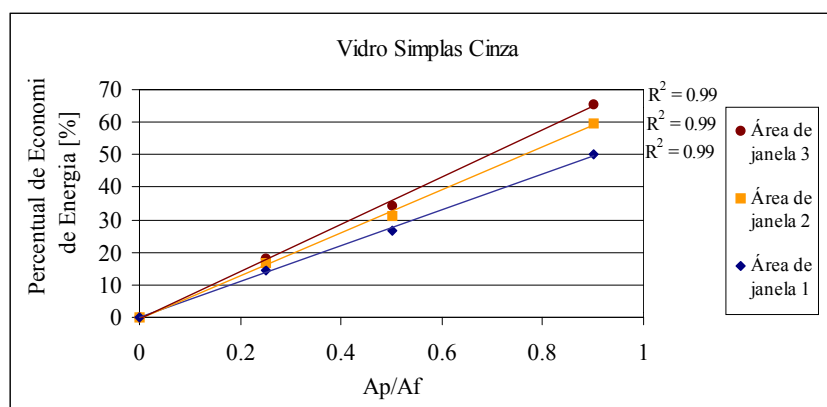


Figura 4: Economia de Energia em função da Área Perimétrica de piso.

Ao analisarmos a Fig. 4 podemos observar que existe uma relação direta entre o percentual de economia de energia e a razão “ A_p/A_f ”. Portanto, podemos concluir que o fator representativo da geometria da edificação “ A_p/A_f ” é apenas um fator multiplicativo da economia de energia. Para as outras duas cidades foi notado o mesmo comportamento.

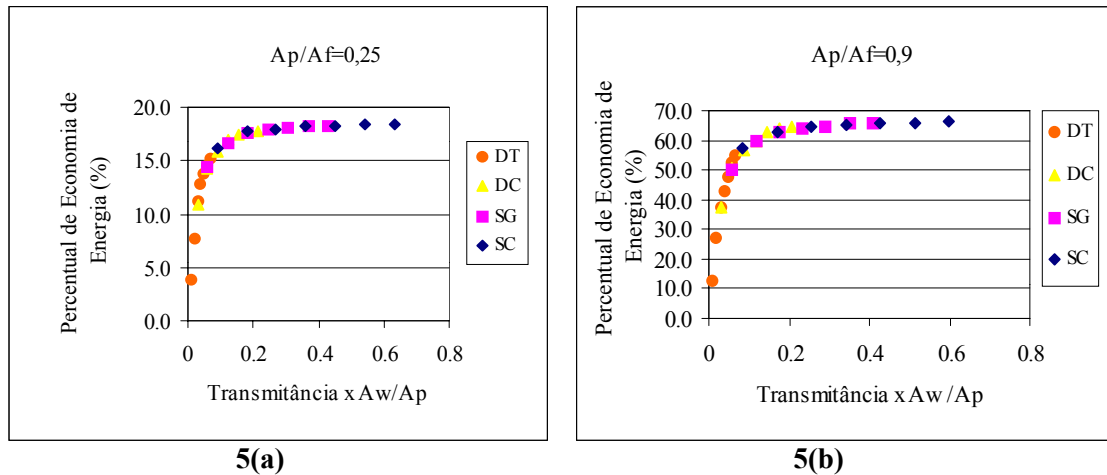
4. INTERDEPENDÊNCIA DOS PARÂMETROS

Das análises apresentadas nas seções 3.1 e 3.2 comprova-se, como reportado por (Erickson et al, 2003), que existe uma forte interdependência entre os vários parâmetros. A transmitância do vidro “ τ ” e a razão “ A_w/A_p ” são ambos responsáveis pela quantidade de luz natural que entra no espaço, enquanto que a razão “ A_p/A_f ” indica a quantidade da área de piso que pode ser iluminada. Portanto, a razão “ A_p/A_f ” pode ser interpretada como um fator multiplicativo que atua na redução do consumo de energia. A seguir é apresentado e analisado o processo de adimensionalização dos parâmetros que

influenciam o consumo de energia devido à iluminação, considerando as quatro edificações com diferentes layouts de piso e as três cidades brasileiras (Belo Horizonte, Curitiba e Fortaleza).

4.1 Produto “Transmitância x Aw/Ap”

Figuras 5(a) e 5(b) apresentam a impacto do produto “Transmitância x Aw/Ap” na redução do consumo de energia elétrica para duas razões “Ap/Af”, considerando os diferentes tipos de vidros, para a cidade de Fortaleza. Este produto pode ser visto como sendo o potencial de abertura da edificação para a entrada de luz natural e definido como “fator de abertura de luz natural”.



Figuras 5(a) e 5(b): apresentam o percentual de economia de energia em função do produto “Transmitância” x “Aw/Ap” para duas razões “Ap/Af” e para diferentes tipos de vidros.

Figura 6 apresenta o percentual de economia de energia em função do produto “transmitância x Aw/Ap” para diferentes razões “Ap/Af” (representativas de diferentes geometrias de edificações), considerando o “Vidro Simples Claro $\tau=0,898$ ” (vidro típico utilizado nas edificações comerciais brasileiras), para a cidade de Fortaleza.

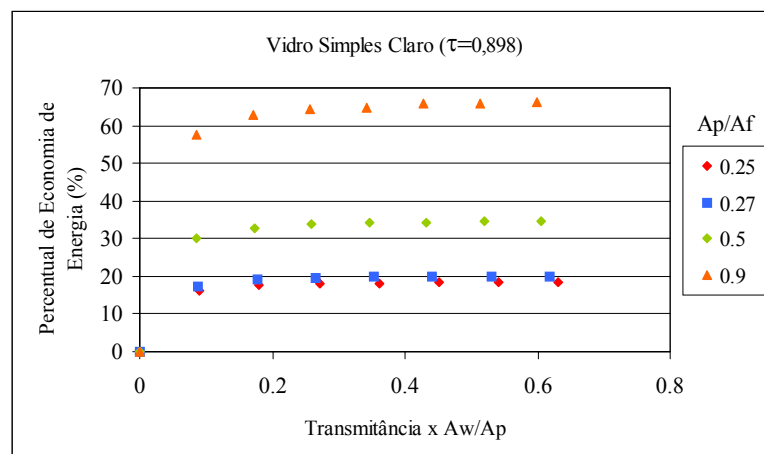


Figura 6: Economia de energia versus o produto “transmitância x Aw/Ap” para diferentes tipos de geometrias.

Da Fig. 6 conclui-se que para diferentes razões “Ap/Af” (i.e., diferentes geometrias) e para diferentes “fatores de abertura de luz natural” a área perimétrica de piso atua como um multiplicador afetando a magnitude da economia de energia. Pode-se notar que para “fatores de abertura de luz natural” maiores

que 0,2, para um “Ap/Af” de 0,25 o percentual de economia é em torno de 16%, enquanto que, para um “Ap/Af” de 0.9 é da ordem de 66%. Para as outras duas cidades foi observado comportamento similar.

4.2 Razão “Percentual de Redução de Energia / Ap/Af”

Figura 7 apresenta o parâmetro adimensional “Percentual de redução de energia / Ap/Af” para a cidade de Belo Horizonte considerando diferentes “fatores de abertura de luz natural” e diferentes razões “Ap/Af”. Este parâmetro representa a razão entre o percentual de redução anual de energia elétrica devido à iluminação em relação ao fator que representa a geometria da edificação “Ap/Af”.

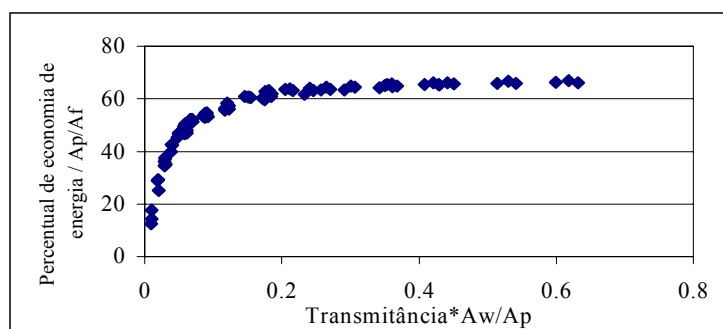


Figura 7: Economia de energia versus o produto “transmitância x Aw/Ap” e o fator multiplicador Ap/Af para a cidade Belo Horizonte, MG.

Conforme visto anteriormente na Fig. 4, verifica-se através da Fig. 07 que “Ap/Af” atua apenas como um fator multiplicador das economias de energia. Desta forma o parâmetro “Percentual de redução de energia / Ap/Af” pode ser entendido como sendo uma economia unitária anual de energia elétrica devido à iluminação. Este fator independe de “Ap/Af”, dependendo apenas do “fator de abertura de luz natural” e das condições climáticas características do local. Para ajuste dos pontos da Fig. 07 foi utilizada a mesma equação proposta por (Erickson et al, 2003), conforme é mostrada pela equação 01, sendo “y” e “x” dados pelas equações 02 e 03:

$$y = b.[1 - e^{-a.x}] \quad [\text{Eq. 01}]$$

$$y = \frac{f_d}{A_p / A_f} \quad [\text{Eq. 02}]$$

$$x = \tau.(A_w / A_p) \quad [\text{Eq. 03}]$$

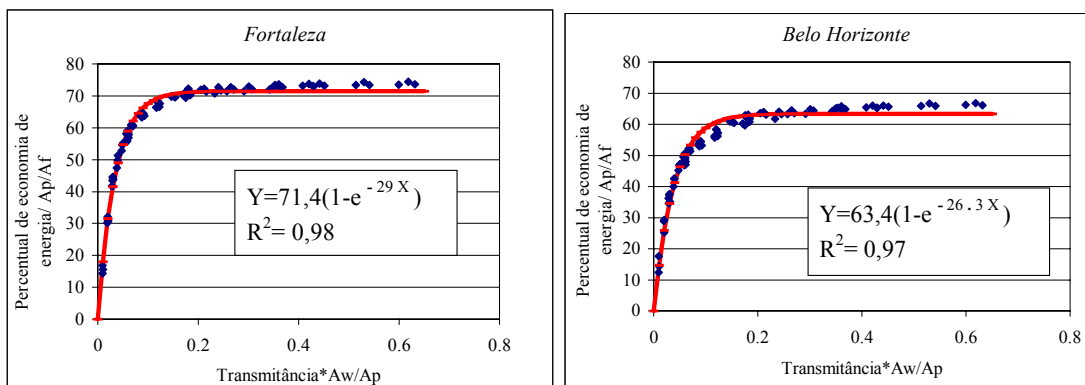
f_d : é o percentual de redução anual de energia elétrica devido à iluminação comparado com o caso base (sem aproveitamento da luz natural).

“a” e “b” : são os coeficientes da correlação. De acordo com o modelo simplificado apresentado por (Erickson et al, 2003) as constantes “a” e “b” tem significado físico. O coeficiente “b” representa o percentual máximo de economia de energia possível de se obter. Isto acontece quando o “fator de abertura de luz natural” (produto “transmitância x Aw/Ap”) é grande (i.e. quando “x” tende para infinito). O coeficiente “b” também pode ser visto como o indicador da disponibilidade da luz natural durante as horas de operação da edificação para uma dada localidade geográfica e representa ainda a percentagem de horas no ano em que a luz natural é suficiente para suprir sozinha todo o nível de iluminação interna requerido para conforto (i.e. sem o uso de luz artificial complementar). O coeficiente “a” representa a potencialidade da localidade geográfica em aproveitar a luz natural. À medida que “a” aumenta menores valores de “fator de abertura de luz natural” são necessários para se

aproveitar o máximo de luz natural disponível. No caso ideal “a” tende para “∞”, significando que para qualquer “fator de abertura de luz natural” as economias de energia serão sempre máximas e iguais ao valor de “b”. Os coeficientes “a” e “b” dependem das condições climáticas da localidade.

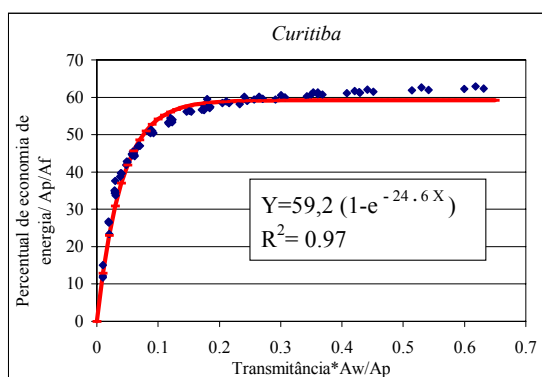
4.3 Determinação das Constantes “a” e “b”

Os valores obtidos das simulações foram adimensionalizados conforme apresentado nas figuras 8(a), (b) e (c), considerando as cidades de Fortaleza, Belo Horizonte e Curitiba, para uma fração mínima de energia elétrica do “dimming” igual a 10% da potencia elétrica total das luminárias. Um estudo estatístico foi utilizado para determinar os coeficientes “a” e “b” da Eq. 01. As Figs. 8 (a), (b) e (c) também apresentam as curvas de ajuste (Eq. 01) para as três cidades.



8(a)

8(b)



8(c)

Figuras 8(a), (b) e (c): Redução adimensionalizada da energia elétrica devido ao uso de luz natural.

Observa-se das Figs 8 (a), (b) e (c) que a cidade de Fortaleza apresenta maior potencial de economia anual de energia elétrica seguido de Belo Horizonte e Curitiba. A explicação do maior aproveitamento da luz natural para a cidade de Fortaleza, seguido da cidade de Belo Horizonte e Curitiba pode ser entendida analisando a figura 9, que apresenta os valores anuais do número de horas de insolação e radiação solar global incidente num plano horizontal por unidade de área (kWh/m²) nas três cidades. Da análise da Fig.9 verifica-se que os dados climáticos relativos a disponibilidade de radiação solar são preponderantes para o melhor aproveitamento da luz natural com conseqüente economia de energia elétrica da iluminação artificial. A cidade de Fortaleza apresenta o maior número de horas de sol por ano e também o maior valor global de radiação solar anual. As cidades de Belo Horizonte e Curitiba apresentaram valores decrescentes nesta ordem.

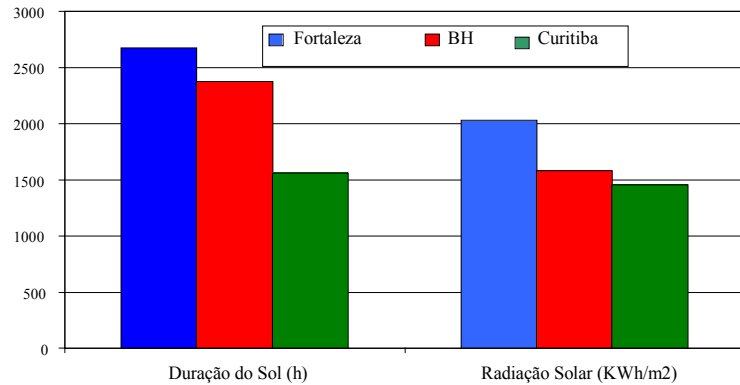
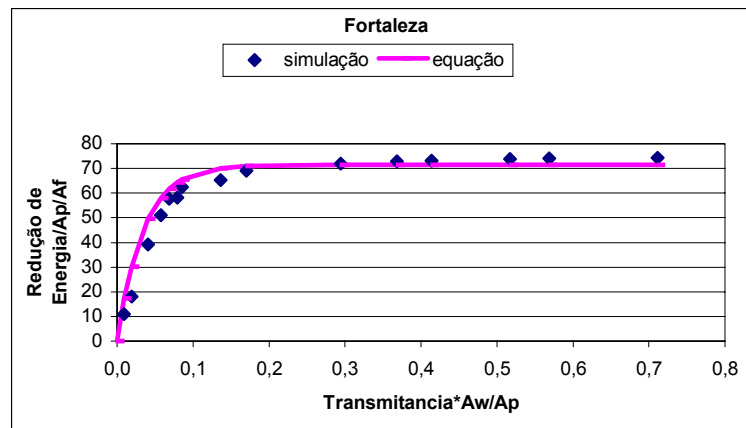


Figura 9: Valores climáticos anuais para as três cidades simuladas.

5. VALIDAÇÃO DA CORRELAÇÃO

Para validar a correlação do item anterior, relativo aos coeficientes “a” e “b” da Eq. 01, foram realizadas várias simulações computacionais utilizando o software de simulação “Visual Doe” para as cidades de Belo Horizonte, Fortaleza e Curitiba. Foram consideradas nestas simulações geometrias de piso, tipos de vidros e razões “Aw/Ap” diferentes daqueles que tinham sido utilizados inicialmente para determinação dos coeficientes “a” e “b” da Eq.01. A figura 10 apresenta valores da redução anual de energia “Redução de energia / Ap/Af” obtidos das simulações e da Eq.1 para a cidade de



Fortaleza.

Figura 10: Validação dos coeficientes “a” e “b” da Eq. 01.

Analisando a Fig. 10 verifica-se que existe boa concordância entre os valores preditos pela Eq. 1 e aqueles obtidos da simulação (utilizando valores diferentes daqueles utilizados para obtenção dos coeficientes “a” e “b”). O processo de validação descrito acima foi realizado para as três cidades mencionadas anteriormente. A diferença relativa media encontrada para toda a faixa de “Trasmitância x Aw/Ap”, considerando as três cidades foi de 7%. Adicionalmente, Tabela 2, apresenta valores de “Redução de energia / Ap/Af” para diferentes valores de potência de iluminação artificial instalada por unidade de área de piso, obtidos de simulações e através da correlação (Eq. 1), para Belo Horizonte.

Tabela 2: Economia de energia em função da potência de iluminação para Belo Horizonte

Transmitância* Aw/Ap	Potência instalada	5 W/m ²	14 W/m ²	20 W/m ²	35 W/m ²
Vidro duplo verde 0,0304	Simulação (%)	42,3	42,3	42,3	42,3
	Correlação (%)	35,0	35,0	35,0	35,0
Vidro duplo verde 0,0427	Simulação (%)	48,5	48,5	48,5	48,5
	Correlação (%)	42,9	42,9	42,9	42,9

Da Tabela 2 observa-se que a redução percentual de energia elétrica é sempre constante. O aumento da potência elétrica instalada resulta no aumento proporcional do consumo de energia elétrica, tanto para os casos base (sem controle de luz natural) quanto para os casos com controle da luz natural.

6. ANÁLISE ECONÔMICA

Tabela 3 apresenta valores da economia anual de energia elétrica devido à iluminação artificial quando opta-se pelo aproveitamento da luz natural. Para esta análise considerou-se que: (i) a edificação funciona 8 horas por dia, 20 dias por mês e 12 meses por ano; (ii) a densidade de iluminação artificial por área de piso adotada foi de 14 W/m²; (iii) o custo da energia elétrica R\$0,44/kWh; (iv) a área total de piso da edificação é de 3600 m²; (v) para cada geometria de piso foram analisados dois casos limites de áreas de janelas correspondendo a 10% e 70% da área de piso perimétrico; (vi) o dispositivo de controle de luz do tipo “*Dimming*” com frações mínimas de potência elétrica e de iluminação iguais a 0,1; (vii) as cidades de Belo Horizonte, Fortaleza e Curitiba; (viii) duas geometrias de piso uma quadrada (Ap/Af=0,25) e outra retangular (Ap/Af=0,5). O consumo anual de energia elétrica devido à iluminação artificial para todas as cidades e geometrias de piso analisadas quando nenhuma estratégia de controle é utilizada para aproveitamento da luz natural é constante e igual a 1.468,31 kWh.

Tabela 3: Análise das economias de energia elétrica da iluminação devido ao uso da luz natural.

Cidades	Aw/Ap	Ap/Af=0.25			Ap/Af=0.5		
		KWh	Economia KWh	Economia R\$	kWh	Economia kWh	Economia R\$
Belo Horizonte	0,1	1.265,267	203,041	90.222,68	1.097,607	370,701	164.723,58
	0,7	1.225,330	242,978	107.968,97	1.011,857	456,451	202.827,19
Curitiba	0,1	1.281,934	186,374	82.816,59	1.120,285	348,023	154.646,45
	0,7	1.239,516	228,792	101.665,32	1.040,222	428,086	190.223,01
Fortaleza	0,1	1.231,666	236,642	105.153,52	1.026,003	442,305	196.541,32
	0,7	1.197,932	270,376	120.143,46	960,391	507,917	225.696,47

7. CONCLUSÕES

Uma correlação simplificada foi apresentada para predição da economia de energia elétrica devido à iluminação causada pelo aproveitamento da luz natural, sendo que os coeficientes dessas correlações foram determinados para três cidades brasileiras. Foi analisada a influência da transmitância do vidro sobre a economia de energia elétrica para uma ampla faixa de valores de “Aw/Ap” e o impacto da razão “Ap/Af” sobre a economia de energia elétrica. Verificou-se ainda que o potencial de economia de energia elétrica depende principalmente da disponibilidade de radiação. Uma validação foi realizada para avaliação dos coeficientes da correlação proposta, sendo que a diferença relativa média foi de 7%. Uma análise econômica simplificada foi realizada mostrando que uma economia substancial de energia elétrica pode ser obtida devida a implantação de controles visando o aproveitamento da luz natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE Handbook (1997) “Fundamentals” SI Edition, American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta. USA.
- CEMIG (2001) Apostila (Projeto de Prédios Eficientes_ Manual de Procedimento para as Comissões Internas de Conservação de Energia CICE)
- ERICKSON P., HILLMAN T., E KRARTI M. (2005) “A Simplified Method to Estimate Energy Daylighting of Artificial Lighting Use from Daylighting”, Building and Environment, Vol. 40, No. 6, pp: 747-754.
- SEBRAE (2002) Apostila (Curso Eficiência Energética nas Micro, Pequenas e Médias Empresas) Energia Brasil.
- SOUZA M. B. E PEREIRA F. R. (1995) “Impacto da luz natural no consumo de energia em edificações comerciais” III Encontro Nacional no Ambiente Construído e I Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, pp. 481-486.