

DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÃO PARA ANÁLISE DO SOMBREAMENTO DO ENTORNO NA ETAPA DE ESTUDO PRELIMINAR DE PROJETOS ARQUITETÔNICOS

Fabio S. Damião (1); Italo B. B. Guimarães (2); Joyce C. Carlo (3)

(1) Estudante do Curso de Arquitetura e Urbanismo, fabio.damiao@ufv.br,

(2) Arquiteto e Urbanista, mestrando em Arquitetura e Urbanismo, italo.guimaraes@ufv.br,

(3) Dra., Arquiteta e Urbanista, joycecarlo@ufv.br,

Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H.Rolfs s/n, 31 3899-1982

RESUMO

A aplicação dos princípios de conforto e eficiência energética ao processo de projeto tornou-se importante uma vez que a fase inicial de seu desenvolvimento apresenta problemas que tem um impacto sobre outras decisões. Apesar desse impacto, tais princípios são geralmente baseados em análises conceituais qualitativas que, por sua vez, podem ser falhas. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de equação de regressão obtida por simulação paramétrica que caracteriza o potencial de sombreamento de edificações vizinhas sobre uma superfície vertical, como modelo para compor uma fachada. As equações foram criadas através da aplicação do método de regressão linear múltipla, uma análise de sensibilidade global que permitiu correlacionar às características geométricas das obstruções do entorno de uma edificação à incidência de radiação sobre uma superfície e, por consequência, ao potencial de sombreamento no ano. Inicialmente, foi identificado um conjunto amostral de casos que abrangem várias possibilidades de conformações volumétricas urbanas circunvizinhas a uma edificação. Estes casos foram modelados e simulados no programa Energy Plus, versão 8.0, para obter dados sobre o percentual de sombreamento gerado por diferentes obstruções existentes no entorno. Em seguida, foi aplicado o método de regressão linear múltipla para criar a equação paramétrica. Foi obtida uma equação que fornece o percentual anual de sombreamento à radiação global em uma fachada qualquer, em decorrência da obstrução no entorno. Coeficientes foram determinados para as oito orientações, resultando em oito equações de regressão: norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste, noroeste, cujos coeficientes de determinação variaram de 0,89 a 0,90. A equação será útil para integrar uma ferramenta no desenvolvimento de projetos arquitetônicos, visto que elas fornecem dados quantitativos para avaliar se as decisões tomadas durante o processo de concepção formal da edificação, sem a necessidade de realizar simulações computacionais complexas.

Palavras-chave: sombreamento, estudo preliminar, simulação termo-energética.

ABSTRACT

The use of comfort and energy efficiency principles on the design process has become important since the initial stages of the building design presents issues that impact on the decision making. Besides it, the principles are generally based on qualitative concepts that, on its turn, may present failures. This work presents the development of regression equations obtained by parametric energy simulation to characterize the potential of shadowing by neighborhood buildings over a vertical surface, as a model that may constitute a façade. The equations were created through a multiple linear regression method, a global sensitivity analysis which provided data for the correlation of the geometry characteristics of surroundings barriers of a building to the incidence of radiation over a surface. Consequently, it is correlated to the shadowing potential along one year. Initially, case samples were identified to cover several possibilities of volume shapes around a building in the urban landscape. These cases were modeled and simulated in Energy Plus software, version 8.0, to obtain data of the percentage of shadowing produced by each barrier of the surroundings. Therefore, the multiple linear regression method was applied to create a parametric equation. An equation that provides the annual percentage of shadowing regarding the global radiation on a façade due to surrounding barriers was obtained. Coefficients were obtained for the eight solar orientations, resulting in eight regression equations: North, Northeast, East, Southeast, South, Southwest, West and Northwest, which determination

coefficients varied from 0,89 to 0,90. The equations will be useful to be part of a tool for the development of building designs, considering it provides quantitative data to evaluate the decisions taken during the creation of the building shape without the need of complex simulations.

Keywords: shadowing, preliminary study, energy simulation.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de projetos baseados em critérios de desempenho termo-energético não é viável sem o suporte de ferramentas computacionais que auxiliem o projetista e forneçam informações adicionais de análise técnica por meio de modelos incorporados em seus códigos de programação. Segundo Hensen e Lamberts (2011), a simulação computacional do desempenho de edificações é uma das ferramentas mais poderosas de análise disponíveis no contexto atual, e por isso é uma abordagem técnica relevante para avaliar o desempenho de um edifício durante o desenvolvimento de um projeto. Essa tecnologia permite a realização de análises paramétricas que indicam questões como o índice de eficiência termo-energética do edifício ainda em fase de projeto e por isso podem definir o descarte ou a incorporação de uma alternativa ao projeto arquitetônico.

Segundo Mendes et al (2005, p. 51), “a prática de simulação deve estar incorporada na rotina de projeto dos escritórios de arquitetura e engenharia”. Porém, mesmo com o evidente potencial para o uso em projeto, essas ferramentas esbarram em dificuldades como a falta de hábito dos projetistas em integrá-las ao processo de projeto convencional, sendo o problema central a maneira como as demandas de eficiência energética e de conforto são abordadas dentro dos processos de projeto convencionais (VENÂNCIO; PEDRINI, 2011).

Parte do problema resulta da abordagem inadequada das análises quantitativas durante o desenvolvimento de projetos. As mesmas são normalmente realizadas na fase final de projeto, onde as dificuldades de alteração de decisões tomadas erroneamente são maiores (VENÂNCIO; PEDRINI, 2011). Segundo Petersen e Svendsen (2011), há o risco de ser inviável alterar, na etapa final de criação do projeto, decisões tomadas durante o processo de concepção que apresentam resultados insatisfatórios posteriormente.

Por outro lado, os programas de simulação computacional, que permitem a quantificação das análises, apresentam também limitações de uso. Eles exigem um custo de tempo alto, não condizente com as estritas limitações de tempo da prática profissional da arquitetura (VENÂNCIO; PEDRINI, 2011), sendo mais utilizados com foco em atividades de pesquisa ou em avaliações do projeto finalizado (PETERSEN; SVENDSEN, 2011).

Para superar essas limitações é preciso identificar métodos de otimização e automatização do processo de quantificação das análises sobre o projeto, a fim de torna-lo rápido, ágil e amigável. Deste modo, estudar o desenvolvimento de novas ferramentas computacionais que auxiliem na concepção de projetos arquitetônicos com foco na maximização do conforto e da eficiência energética das edificações e, ao mesmo tempo, que se tornem amigáveis aos arquitetos e que aperfeiçoem o seu trabalho é uma tendência de pesquisa na área de arquitetura e remete a uma demanda de grande relevância na construção civil (CBIC; ANTAC, 2013).

Esse artigo apresenta uma proposta para uma ferramenta que possibilite ao arquiteto o desenvolvimento de um projeto arquitetônico com base em dados fornecidos de acordo com a quantificação da radiação incidente nas fachadas devido à influência das obstruções do entorno. Ela consiste do estudo da posição geométrica e dimensões das edificações do entorno, o que possibilita estabelecer limites de desempenho de acordo com a quantidade de radiação adequada em cada parte da fachada, assim como de toda a edificação. Os resultados podem subsidiar ferramentas que auxiliem o projetista nas fases iniciais do projeto arquitetônico, como é o caso do estudo preliminar.

2. OBJETIVO

O objetivo do artigo é apresentar o desenvolvimento de uma equação de regressão simplificada para análise do sombreamento do entorno de terrenos na etapa de estudo preliminar do desenvolvimento de projetos arquitetônicos.

3. MÉTODO

O método apresentado é dividido nas seguintes etapas:

- Identificação dos parâmetros climáticos necessários a analisar no entorno de terrenos;
- Definição de variáveis que descrevam a condição do entorno;
- Análise de incertezas dos parâmetros que descrevem a geometria das edificações;
- Modelagem e simulação;
- Desenvolvimento das equações.

3.1. Identificação das análises bioclimáticas mais relevantes em projeto

A etapa inicial da pesquisa consistiu em identificar as análises bioclimáticas e as respectivas condicionantes mais relevantes na concepção de projetos arquitetônicos e investigar a viabilidade e confiabilidade do EnergyPlus versão 8.0 para fornecer dados horários simulados. Foram observadas em três escalas de análise: macroclimática, mesoclimática e microclimática.

Decidiu-se então concentrar os esforços em analisar as condições e sombreamento à radiação incidente na edificação. Esse estudo foi realizado com observação das condições reais da cidade de Viçosa - MG, tanto condições climáticas quanto referente às possíveis obstruções no entorno da edificação. Para tanto, foram realizados circuitos pela cidade para identificar variáveis decorrentes da topografia e da ocupação humana por edificações.

Vale destacar que Viçosa - MG está localizada a 20° 77' S 42° 87' O, com altitude de 611m em topografia acidentada, cujo centro está localizado em um vale. A cidade se localiza na Zona Bioclimática 3 e suas características originais (sem influência da ocupação urbana ou de ilhas de calor) se assemelham à cidade de São Paulo - SP.

3.2. Definição das variáveis de caracterização geométrica das obstruções

Um cubo único que compõe uma zona térmica foi criado para obtenção dos dados referentes à fachada em análise. Apenas as obstruções das edificações à frente do plano da fachada analisada foram consideradas para quantificar a incidência da radiação sobre a fachada em destaque nas Figuras 1 e 2, visto que todas as orientações solares foram incluídas na simulação. A partir de cenários como os apresentados, as variáveis que podem descrever tais condições de sombreamento foram identificadas para cada obstrução individualmente.

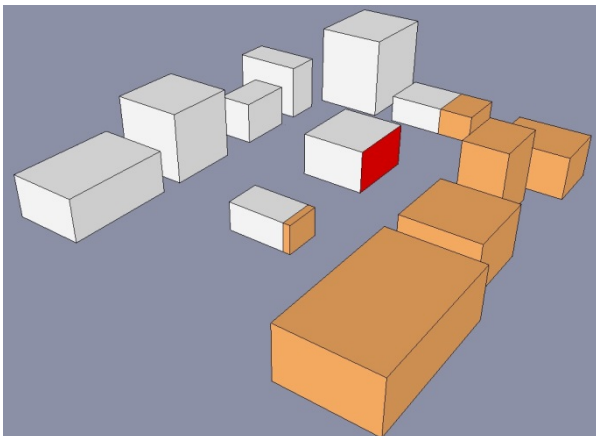


Figura 1 - Representação dos sombreamentos frontais ao plano analisados para edificações com volumetrias compactas.

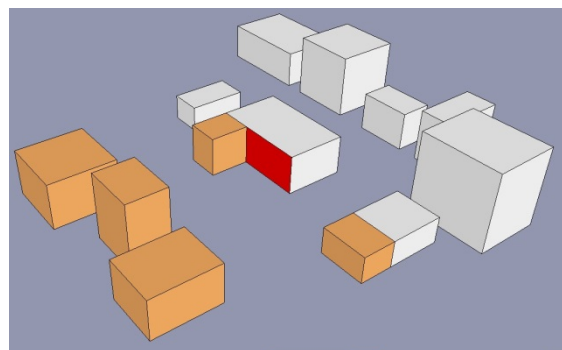


Figura 2 - Representação dos sombreamentos frontais ao plano analisados para edificações com geometrias com volumetrias complexas, onde uma parte da própria edificação pode se ser também uma obstrução de uma fachada analisada.

Tendo esse plano de incidência como referência, foi definido um conjunto de ângulos, para caracterização das obstruções (Figuras 3 e 4): um ângulo, denominado “ α ”, para definição da altura da obstrução; dois ângulos, denominados “ β_1 ” e “ β_2 ”, para definição das dimensões horizontais da obstrução, ou seja, a largura da obstrução e a posição da mesma em relação ao plano analisado; e um ângulo, denominado “ α solo”, para definição distância entre a obstrução e o plano analisado.

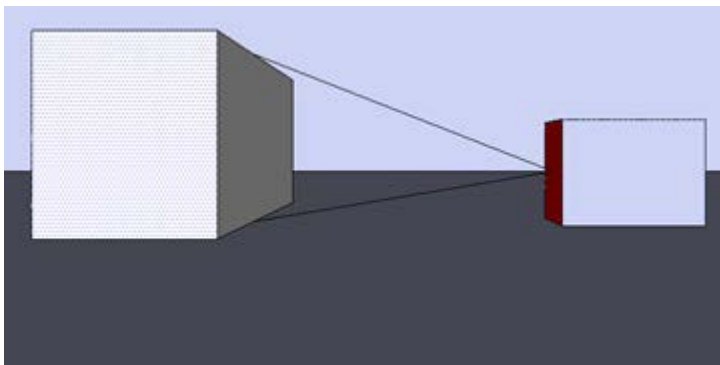


Figura 3 – Limites para os ângulos “ α ” para altura da obstrução.

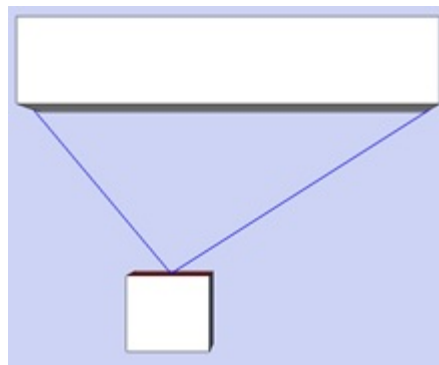


Figura 4 – Limites “ β_1 ” e “ β_2 ” para as dimensões laterais da obstrução.

Optou-se por definir um coeficiente de sombreamento individual de influência de cada obstrução separadamente e somar esses coeficientes para obter o fator de sombreamento total de todas as obstruções associadas. Essa abordagem simplificou consideravelmente o trabalho pois, dessa maneira, bastou analisar as diversas variações que uma obstrução pode ter, não havendo necessidade de investigar as diversas possíveis combinações da associação de diferentes obstruções conjuntas mostradas nas Figuras 1 e 2.

Assim, o método desenvolvido não quantifica a radiação incidente na superfície em função das obstruções, mas quantifica a parcela de sombreamento que cada uma das obstruções provoca na superfície. Em seguida, deve-se somar esses coeficientes individuais para obter a quantidade de sombreamento total provocada por todas as obstruções associadas. Deve-se lembrar que os ângulos de sombreamento se sobrepõem e esta sobreposição deve ser levada em consideração ao aplicar o método.

Por fim, o fator de sombreamento deve ser usado para reduzir a área de incidência da radiação solar que incidiria na superfície completa sem obstruções. Vale destacar ainda que esse total de radiação sem influência das obstruções é definido no arquivo climático, no plano horizontal.

3.3. Análises de incertezas dos parâmetros geométricos das obstruções

Com o intuito de verificar a maneira mais simples de modelar as diferentes conformações de obstruções do entorno no EnergyPlus 8.0, foram realizadas análises de incertezas de alternativas de modelagem. Em geral, cada análise discriminada a seguir usou de 3 a 6 modelos teste para avaliar algum aspecto da modelagem:

A01 - Equivalência de múltiplas obstruções em relação a uma correspondente: foi realizado para verificar se a intensidade de radiação indireta de uma obstrução é equivalente à intensidade de radiação indireta de duas ou mais obstruções equivalentes à primeira. Executada com a intenção de validar a proposta de somar as análises individuais em situações com múltiplas obstruções.

A02 - Equivalência de sombreamentos de modelos com mesmos ângulos α e β : foram simuladas situações onde as obstruções tinham os mesmos α , β_1 e β_2 , porém com distâncias diferentes em relação à superfície analisada para identificar se os ângulos α e β são suficientes para descrever a geometria do plano sombreante.

A03 - Equivalência de sombreamentos de modelos com mesmos $\Delta\beta$: para avaliar se posições diferentes do plano de obstrução é apropriadamente descrito com o ângulo de abertura β .

A04 - Avaliação do ponto de referência do α no plano analisado: para verificar qual o melhor ponto dentro da face sombreada ou ensolarada para se usar como referência. Foram testados três pontos: um central, um na aresta superior e outro na aresta inferior.

A05 - Influência das superfícies complementares de uma obstrução: para verificar a relevâncias que as superfícies laterais de uma obstrução têm sobre o total de sombreamento provocado por esta obstrução. Foram comparados resultados de obstruções compostas por uma fachada a outras contendo superfícies laterais.

3.4. Modelagem e simulação dos casos amostrais

3.4.1. Amostragem

Com as variáveis de caracterização das obstruções definidas e avaliadas, o passo seguinte foi definir os casos amostrais a serem modelados e simulados para análise. A partir dos resultados dessas simulações foram

realizadas análises de sensibilidade para gerar uma equação paramétrica que permite quantificar a intensidade de radiação incidente em função da conformação das obstruções do entorno.

Como seria inviável simular todos os valores possíveis de uma variável e também as combinações de variáveis, buscou-se escolher os casos mais representativos, dentro de um limite máximo de casos viáveis de serem modelados no tempo disponível. Os valores escolhidos para cada variável são apresentados na Tabela 1 e combinados qualitativamente para a criação de 1280 casos amostrais a serem modelados para a confecção das equações paramétricas por regressão linear múltipla.

Tabela 1 - Variáveis definidas para definição dos casos amostrais, com 26 dados a ser combinados para gerar 1280 casos.

Tabela de Variáveis				
Orientação	Ângulo α Solo	Ângulo α	Ângulo β 1	Ângulo β 2
Norte	5°	5°	5°	5°
Nordeste	30°	30°	45°	45°
Leste	60°	60°	90°	90°
Sudeste	85°	85°	135°	135°
Sul			175°	175°
Sudoeste				
Oeste				
Noroeste				
Nº total de casos amostrais selecionados				1280

3.4.2. Modelagem e simulação

Para a construção dos modelos a serem simulados optou-se pelo uso de planos de análise com área de 1m², pois essa opção proporciona uma maior flexibilidade, visto ser possível decompor qualquer área de fachada em pequenas faces de 1m². Essa abordagem permite ainda uma análise ainda mais precisa, já que assim foi possível mapear a fachada e não apenas obter o valor médio para toda a fachada. Além disso, o trabalho foi simplificado, já que não houve necessidade de analisar diferentes tipos de planos de fachada.

Portanto, cubos de 1 m³ foram modelados para obtenção exclusiva da incidência da radiação sobre suas superfícies externas, e simulados com o arquivo climático de Viçosa – MG do tipo TMY (GUIMARÃES; CARLO, 2011).

3.5. Desenvolvimento das equações

Foram verificados os coeficientes de determinação (R^2) e o coeficiente de confiabilidade (valor-P) para as equações a partir do percentual anual de sombreamento obtido. Este artigo concentra-se em apresentar e discutir os resultados desta etapa, com uma breve explanação sobre as demais etapas.

4. RESULTADOS

Em vista de pesquisa bibliográfica e testes com o EnergyPlus, percebeu-se a impossibilidade de realizar as análises detalhadas sobre os aspectos mesoclimáticas, pois o programa permite apenas inserir um coeficiente que caracteriza a rugosidade urbana, que é utilizado para correção dos dados de velocidade da ventilação. Já as análises macroclimáticas são intrínsecas ao programa em questão, já que se optou por trabalhar com arquivos climáticos. As análises microclimáticas foram então o foco principal do estudo.

Foram obtidos dados horários de radiação solar global incidente para todos os casos amostrais. Mas pela grande quantidade de dados horários, optou-se nessa pesquisa por trabalhar com a soma anual da quantidade de radiação incidente no plano analisado. Esse valor de soma anual foi subtraído do valor da soma anual de radiação incidente de um modelo sem nenhum sombreamento, conseguindo assim o percentual de sombreamento anual que cada caso amostral gera.

4.1. Análises de incertezas

Foi notada uma baixa correlação indicada pelo coeficiente de determinação (Tabela 2) para a variável α solo, de 0,67, como resultado da análise de incerteza A02. Assim, foi decidido eliminar a variável α solo do desenvolvimento da equação.

Tabela 2 - Coeficientes obtidos com a regressão linear múltipla.

	Coeficientes	valor-P
Interseção	-17,79	0
Variável Orientação	0	0,67
Variável β 1	- 0,29	0
Variável β 2	0,30	0
Variável α	0,39	0
Variável α solo	0	0,86
Coeficiente de determinação		0,67

Quanto à variável “orientação”, foi identificado que os ângulos definidos para cada orientação não estavam adequados. Por isso, optou-se por eliminar a orientação como variável, e criar 8 coeficientes angulares diferentes para cada variável independente, de acordo com cada orientação.

Já a análise A04 mostrou que o ponto central da fachada foi o mais adequado como ponto de referência para obter os ângulos. As demais análises de incertezas (A01, A03 e A05) confirmaram respectivamente: a possibilidade de somar o resultado gerado por diferentes obstruções, em casos com mais de uma obstrução; validar a utilização de duas variáveis betas, para melhor representação do conjunto amostral; verificar se as demais superfícies de um determinado volume interferem na quantidade de radiação absorvida pela superfície analisada.

4.2. Desenvolvimento das equações

Os resultados foram processados para as oito orientações, conforme mostrado para parte da orientação norte na Tabela 3.

Tabela 3 – Parte dos resultados encontrados para a orientação norte.

β 01	β 02	α	Percentual anual de sombreamento provocado pela obstrução
5	45	5	6%
5	90	5	13%
5	135	5	19%
5	175	5	26%
45	90	5	7%
45	135	5	13%
45	135	30	20%
45	175	30	29%
90	135	30	10%
90	175	30	19%
135	175	30	10%
5	45	60	16%
5	90	60	32%
5	135	60	48%
5	175	60	64%
45	90	60	15%
45	135	60	31%
5	175	85	95%
45	90	85	22%
45	135	85	44%
45	175	85	69%
90	135	85	22%
90	175	85	47%
135	175	85	26%

Os coeficientes angulares de acordo com cada orientação estão apresentados na Tabela 4 e são aplicáveis à Equação 1. A variável dependente é a porcentagem de sombreamento de cada obstrução.

$$PS_{\alpha} = b \beta 1 + c \beta 2 + d \alpha - e \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

PS é o percentual de sombreamento provocado pela obstrução para casos que o plano analisado está orientado a norte [%];

$\beta 1$ é o ângulo de caracterização da dimensão lateral da obstrução (graus);

$\beta 2$ é o ângulo de caracterização da dimensão lateral da obstrução (graus);

α é o ângulo de caracterização da altura da obstrução (graus).

Tabela 4 - Coeficientes da equação e coeficientes de confiabilidade obtidos com a regressão linear múltipla.

Orientação	Coeficiente b, da variável $\beta 1$	Coeficiente c, da variável $\beta 2$	Coeficiente d, da variável α	Coeficiente e	Coeficiente de determinação R^2
Norte	-0,285	0,307	0,433	-18,371	0,87
Nordeste	-0,349	0,32	0,417	-16,053	0,88
Leste	-0,31	0,372	0,395	-23,114	0,89
Sudeste	-0,257	0,358	0,339	-23,276	0,89
Sul	-0,299	0,282	0,273	-9,081	0,90
Sudeste	-0,377	0,284	0,351	-3,135	0,89
Oeste	-0,372	0,312	0,396	-11,902	0,90
Noroeste	-0,316	0,359	0,418	-22,293	0,89

Analisando a Equação 1 e a Tabela 4, os coeficientes de confiabilidade da regressão linear apresentaram melhor correlação com a variável dependente do que os encontrados na Tabela 2. O coeficiente valor-P foi menor que 0,05 para todas as orientações da fachada analisada. Além disso, o coeficiente de determinação mostrou boa correlação entre as previsões, variando de 0,87 até 0,90.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado um estudo que procurou obter uma equação que descreva, simplificada, o potencial de sombreamento de obstruções do entorno em fachadas através de simulações paramétricas.

O uso dessa equação pode vir a ser integrado ao processo de concepção formal de uma edificação, auxiliando na criação de composições volumétricas que permitam ao arquiteto controlar a parcela de radiação que irá incidir em qualquer dos planos que das fachadas do projeto, por possibilitar análises quantitativas. Além disso, pode se utiliza-la para avaliação de edificações já existentes ou já projetadas, pois o método permite a fragmentação das fachadas em pequenos planos e o mapeamento da incidência de radiação por seu plano.

Essa equação pode ser ainda integrada a métodos de otimização de desenvolvimento de projetos arquitetônicos, que permitam identificar as composições volumétricas em que se obtêm os melhores resultados de incidência de radiação na fachada, a depender o uso dos ambientes internos e dos materiais adotados.

Através desta pesquisa, foi dado um passo para a revisão de métodos de desenvolvimento de projetos arquitetônicos, visando aperfeiçoar a integração de análises quantitativas de conforto ambiental e eficiência energética ao processo de criação do profissional da arquitetura desde o seu início.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, CBIC. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ANTAC. Estratégias para a formulação de Política de Ciência, Tecnologia e Inovação para a indústria da Construção Civil. Brasília: 2013. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/sites/default/files/CBIC%20Proposta%20de%20Poli%CC%81tica%20CTI%20-Construcao.pdf>
Acesso em: 18 de novembro de 2014.
- GUIMARÃES, Í. B. B.; CARLO, J. C. Caracterização Bioclimática da Cidade de Viçosa, MG. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Búzios, 2011. **Anais...** Búzios, 2011.
- HENSEN, J.; LAMBERTS, R. **Introduction to building performance simulation**. In: HENSEN, J.; LAMBERTS, R. (Org.). Building Performance Simulation for Design and Operation. Abingdon: Spon Press, 2011, cap. 1, p. 1- 14.
- MENDES, N.; WESTPHAL, F.; LAMBERTS, R.; NETO, J. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, 2005.
- PETERSEN, S.; SVENDSEN, S. Method and simulation program informed decisions in the early stages of building design. In: **Energy and Buildings**, v.42: 2011. p.1113-1119.
- VENÂNCIO, R.; PEDRINI, A. Modos projetuais de simulação térmica: conceitos, definições e aplicação. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2011. Búzios. **Anais...** Búzios, 2011.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Eletrobras e à Fapemig pelo apoio financeiro.