

UMA FERRAMENTA DE DIAGNÓSTICO DO CONSUMO DE ENERGIA ORIENTADA PARA AS PRIMEIRAS FASES DO PROJETO ARQUITETÔNICO EM CLIMA QUENTE

Aldomar Pedrini (1); Steven Szokolay (2)

Department of Architecture, The University of Queensland, Brisbane, 4072, Australia,

Tel.: 61 7b 3378 8076, FAX: 61 7 3378 1051

(1) e-mail: aldomar@labeee.ufsc.br

(2) e-mail: s.szokolay@mailbox.uq.edu.au

RESUMO

A carência de ferramentas de predição do comportamento energético destinada às primeiras fases do projeto arquitetônico – programa e esboço – levou ao desenvolvimento de uma rotina computacional orientada à quantificação do impacto das decisões do arquiteto sobre o consumo de energia elétrica. A ferramenta baseia-se numa interface gráfica associada a um banco de dados, resultado da simulação de modelos originalmente criados para representar os projetos de edificações de escritórios de Brisbane/Austrália (clima quente e úmido no verão e temperado no inverno). O banco de dados é formado por resultados de consumo total e uso final de energia elétrica de aproximadamente 38.000 combinações de 11 variáveis estrategicamente selecionadas: orientação geográfica, profundidade de sala, pé-direito, fração de janela na parede, ângulo vertical do sombreamento externo, ângulo horizontal do sombreamento externo, tipo de vidro das aberturas, características das paredes, uso de iluminação natural com controle de cortinas, tipos de ventilação e eficiência da instalação predial. A interface gráfica permite o estudo do efeito combinado de variáveis, de forma qualitativa e quantitativa. A estimativa obtida pelo sistema é instantânea e o tempo de consulta pode ser reduzido a poucos segundos.

ABSTRACT

The lack of energy tools to the early stages of design – briefing and schematic (or sketch) phases - led to the development of a prototype tool that aims to estimate the impact of architects' design decision on electric energy consumption. The tool is based on a graphic interface that is linked to a database, which is initially create to represent the office buildings of Brisbane/ Australia (warm humid summer and mild winter). The database is composed by results of total and end-use electric energy consumption of approximately 38.000 combinations of 11 variables: geographic orientation, room depth, ceiling height, window wall ratio, vertical shading angle, horizontal shading angle, glass type, wall construction, daylighting and blinds control, ventilation type and efficiency of building service. The graphic interface allows the qualitative and quantitative study of combined effect of variables and the estimative of sketch's performance. Due the instantaneous estimation by the interface, the consult can be reduced to few seconds.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho energético de edificações é resultado da interdependência de fatores de projeto que são preferencialmente analisados na fase de concepção e durante a fase de detalhamento do projeto (Burberry 1983). As principais ferramentas de suporte ao projetista consiste de recomendações para a fase de programa, e de software de simulação do comportamento energético de edificações para a fase de detalhamento. A primeira tem caráter qualitativo: é abrangente o suficiente para influenciar importantes decisões de projeto, assim como é acessível para a maioria dos profissionais de arquitetura. Por outro lado, são genéricas e extremamente simplificadas, o que limita o uso. A segunda tem caráter quantitativo: são ferramentas para análises térmica e energética em que se modela a edificação. Geralmente demandam usuários com treinamento proporcional à complexidade do

software. Devido ao extenso número de variáveis requeridas para a modelagem, seu uso é compatível com a fase de detalhamento do projeto, quando a maioria das decisões já foram tomadas. Além disso, pouquíssimos são os projetistas que fazem uso desses métodos, haja visto que os usuários preferências desses pacotes computacionais são engenheiros (Hien, Poh et al. 2000), com ênfase no sistema de climatização artificial.

Enquanto as primeiras fases do projeto arquitetônico apresentam as melhores oportunidades para melhorar o desempenho energético de edificações (Goulding and Lewis 1992), há uma deficiência no suporte ao projetista para as fases em que as principais decisões arquitetônicas são tomadas. No caso específico de edificações do tipo escritório, observa-se a difusão de recomendações geradas a partir de ‘princípios’ (Yeang 1999). Como discutido em Pedrini (2003), o uso de ‘princípios’ carecem de atenção dos projetistas devido ao número de simplificações. Há o agravante da influência do clima para qual foram gerados e há também o risco de limitar as soluções aos ‘princípios’, embora existam muitas outras possibilidades de obter equivalente desempenho energético. Reconhecidamente, há um hiato de ferramentas com características quantitativas que permitam estimar o impacto das decisões arquitetônicas mais influentes durante as fases em que elas ocorrem: programa e esboço.

2. MÉTODO

O sistema é resultado do estudo combinado do processo de projeto arquitetônico teórico e prático, das estratégias de redução do consumo de energia, do comportamento energético de edificações e de métodos de predição do consumo energético de edificações. As principais atividades de pesquisa foram:

- revisão bibliográfica beneficiada por farta referência bibliográfica australiana;
- revisão de métodos com similar objetivo do protótipo, como o ‘Light and Thermal’ ou LT¹ (Baker 1994), desenvolvimento do protótipo LT para o clima de Brisbane e do protótipo ‘Light, Thermal and Ventilation’ ou LTV² (Hyde and Pedrini 2001; Pedrini and Hyde 2001);
- análise paramétrica da influência das variáveis arquitetônicas no desempenho energético;
- estudos de casos através da participação ativa em processos de projeto;
- pesquisa de campo através de questionários orientados a arquitetos envolvidos com edificações eficientes;
- longas discussões com profissionais da área.

Ainda que as quatro linhas principais de pesquisa estejam intrinsecamente ligadas, este artigo está limitado à apresentação do protótipo, ao seu potencial de uso, à apresentação do método que originou o banco de dados e à descrição de um estudo de caso. Os demais assuntos são discutidos na tese de doutorado de Pedrini (2003).

A análise paramétrica visou identificar o comportamento das variáveis arquitetônicas quando usadas como estratégias para aumentar a eficiência energética de edificações. Dessa forma, seria possível quantificar a influência do projeto arquitetônico sobre a eficiência energética que, apesar de citado em publicações, se mostrava uma incógnita. Também ressalta-se outros objetivos, como a possibilidade de avaliar as práticas comuns aos arquitetos, as recomendações e os ‘princípios’.

Com base na revisão bibliográfica e estudo de campo, foram analisadas as principais variáveis que poderiam derivar uma matriz de tamanho viável para proceder as simulações. Conforme Figura 1, foram selecionadas 11 variáveis. Algumas dessas variáveis foram testadas previamente no software

¹ LT é uma ferramenta desenvolvida em Microsoft Excel que consiste na predição do consumo de energia de edificações a partir do estudo prévio de células simplificadas. Os climas contemplados são frio e mediterrâneo.

² LTV foi desenvolvido em Microsoft Access à partir de resultados de células previamente modeladas e simuladas em VisualDOE 2.7. Seu desenvolvimento antecede o protótipo discutido nesse artigo.

LTV (Pedrini and Hyde 2001) à fim de que fossem definidos os limites e os intervalos de variações. Outras variáveis tiveram os limites e intervalos definidos por características locais.

A matriz final consistiu de células com as quatro orientações geográficas principais (norte, leste, sul e oeste), profundidade de sala (3, 6 e 9 m), pé-direito (2,4 e 3,3 m), fração de janela na parede (10%, 40%, 70% e 90%), ângulo vertical do sombreamento externo (10°, 60° e 90°), ângulo horizontal do sombreamento externo (10°, 40° e 90°), tipo de vidro das aberturas (claro ou Evergreen³), características das paredes (leve ou pesada), uso de iluminação natural com controle de cortinas (ativado ou desativado), tipos de ventilação (ativa ou passiva) e tipos de instalação predial (iluminação e condicionamento artificiais eficientes ou com baixa eficiência). Características como densidade de equipamentos por área, formas de uso da edificação, controles das instalações prediais e outras influências sobre o consumo de energia foram adotadas das recomendações prescritas pela Australian Building Codes Board (ABCB 2001b; ABCB 2001e).

Ainda que os resultados sejam avaliados pelo consumo de energia por área durante o ano (kWh/m²), observou-se que poderiam ser incompatíveis com a prática de muitos projetistas ou mesmo inviáveis para uma análise rápida. Considerando que avaliações diretas como “positivo” e “negativo” são preferidas por projetistas, optou-se por algo intermediário: os resultados estão associados à escala de classificação do desempenho energético, o Australian Building Greenhouse Rating Scheme (Bannister 1999).

A classificação consiste de uma a cinco estrelas: quanto maior o número de estrelas, mais eficiente é a edificação. Conforme a Tabela 1, a escala original foi normalizada para atender às características de ocupação dos modelos simulados. Logo, uma edificação com consumo anual inferior a 227 kWh/m² é classificada com cinco estrelas.

Tabela 1 – Classificação de desempenho energético para a análise paramétrica.

Número de estrelas	Classificação original (kWh/m ²)	Classificação corrigida para a ocupação usada nas simulações (kWh/m ²)
★ (1)	387	546
★★ (2)	323	466
★★★ (3)	259	386
★★★★ (4)	194	306
★★★★★ (5)	130	227

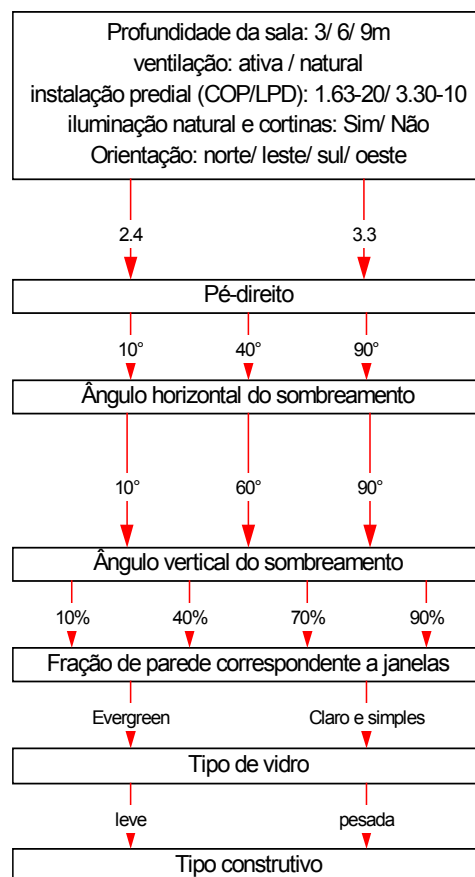


Figura 1 Variáveis analisadas

³ A escolha do vidro “Evergreen” ocorreu devido aos recentes usos em Brisbane e devido às propriedades como transmissibilidade visual 0,160, SHGC=0,280 e U= 5.3 W/(m²K), conforme G. James Pty. Ltd. (2001). G. James Glass Handbook, G. James Pty. Ltd. 2002.

2.1 Simplificação da geometria: uso de células

Células têm sido usadas no cálculo de desempenho de edificações desde que simulação computacional se tornou disponível (Loudon 1968; Balcomb and McFarland 1978). Consiste em simplificar os cálculos em condições que a transferência de calor pelas paredes internas é desprezável, tal qual ocorre em edificações de escritório com pleno condicionamento de ar. Além disso, é compatível com a fase de esboço, conforme abordagem adotada no software Energy-10 (Balcomb 1997). O uso de células demonstrou ser a melhor opção para apoiar as primeiras fases do projeto. A primeira vantagem está na otimização do número de modelos a serem executados para satisfazer a análise paramétrica. A segunda está na possibilidade de se analisar o impacto das decisões quando a geometria da edificação ainda não foi ou está sendo definida. Além disso, o uso combinado de células permite representar inúmeras geometrias. Por exemplo, o esboço da Figura 2 (a) tem suas zonas associadas com as células (b), as quais são agrupadas (c) e analisadas separadamente. Dessa forma, foram simuladas aproximadamente 25.000 células, que derivaram aproximadamente 38.000 combinações de variáveis. Cada célula representa uma fachada de 3 m de largura, em que as aberturas ocorrem em módulos de 1 m de largura, Figura 3. As demais características como profundidade, pé-direito, tamanho das aberturas e obstruções são variáveis.

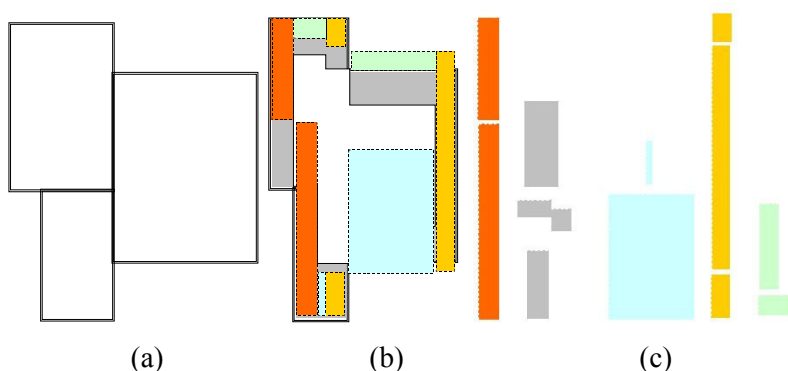


Figura 2 Modelagem de células (Pedrini 2003)

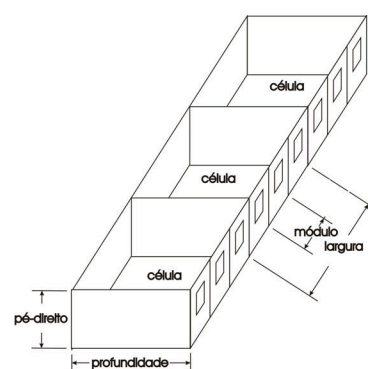


Figura 3 Modelagem de células (Pedrini 2003)

2.2 Abordagem do sistema

Há duas formas básicas de proceder à análise segundo essa proposta de representação geométrica através de células. A primeira consiste do processo científico de *análise e síntese* (Broadbent and Ward 1969) em que o projetista assimila os efeitos das variações de determinados parâmetros sobre o consumo de energia para chegar à solução. O projetista pode analisar a interação do sombreamento vertical externo (baseado no ângulo horizontal da proteção ou HSA, Figura 4) com o sombreamento horizontal (baseado no ângulo vertical ou VSA, Figura 5) sobre o consumo de energia de uma dada célula. A partir do entendimento das influências dessas variáveis, o projetista encontra uma solução compatível com outros requisitos do seu programa. A segunda abordagem consiste do processo de hipótese e teste (Bamford 2002) em que o projetista estima o impacto de uma decisão tomada. Ou seja, o projetista teoriza que determinada decisão proporcionará desejado desempenho, porém carece comprová-la. Como são necessárias poucas variáveis para proceder à análise, o projetista pode testar o seu esboço à medida em que o desenvolve. Nesse caso, são apresentados instantaneamente os consumos por uso final e total.

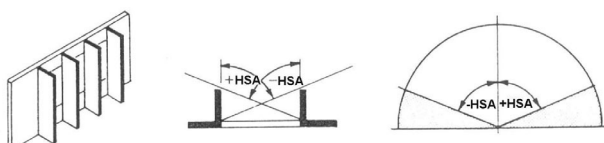


Figura 4 HSA: ângulo horizontal da proteção (Szokolay 1980a)

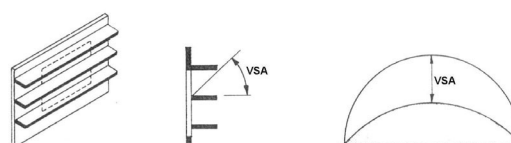


Figura 5 VSA: ângulo vertical da proteção (Szokolay 1980a)

2.3 Desenvolvimento da interface gráfica

O desenvolvimento da interface em Microsoft Access primou pela simplicidade e flexibilidade de uso, de acordo com as limitações impostas pelo software. A intenção inicial foi a geração de um sistema que sintetizasse os anseios de consultores em energia, à exemplo do autor, e arquitetos com reconhecido domínio em desempenho energético de edificações, como é o caso do Dr. Yeang e sua equipe (Yeang and Hamzah & Yeang. 1998). A maior dificuldade do desenvolvimento de uma ferramenta específica para iniciantes no assunto é a sua falta de experiência; apenas uma parcela muito pequena de arquitetos usa algum tipo de software (Pedrini 2003). Conforme o estudo do processo de projeto do Beijing World Science & Trade Centre⁴ (Pedrini 2003), ficou evidente a necessidade de um método ou ferramenta que rapidamente auxiliasse os projetistas na fase de pré-projeto, assim como de uma ferramenta para teste de esboços preliminares. Desde as primeiras reuniões, os projetistas manifestaram a necessidade de recomendações para iniciar o esboço, as quais deveriam ser preparadas em uma semana. O próximo passo foi a apresentação de um esboço (Figura 6) para análise, também acompanhado de questões específicas sobre fração de aberturas (em relação à área de paredes), proteções externas, tipos de vidros, transmitância térmica, uso de iluminação natural e de ventilação, entre outros. Devido à uma série de erros encontrados no software VisualDOE 3 durante o período de estudos do projeto, os projetistas desenvolveram o projeto segundo suas experiências, o que foi suficiente para serem declarados vencedores da competição (Figura 7). Entretanto, a oportunidade de participar de um processo extremamente transparente foi uma das principais influências sobre a interface. Certamente o sistema é capaz de atender processo similar ao do Beijing World Science & Trade Centre, porém em tempo inferior ao requerido pelos integrantes do escritório de arquitetura TR Hamzah and Yeang.

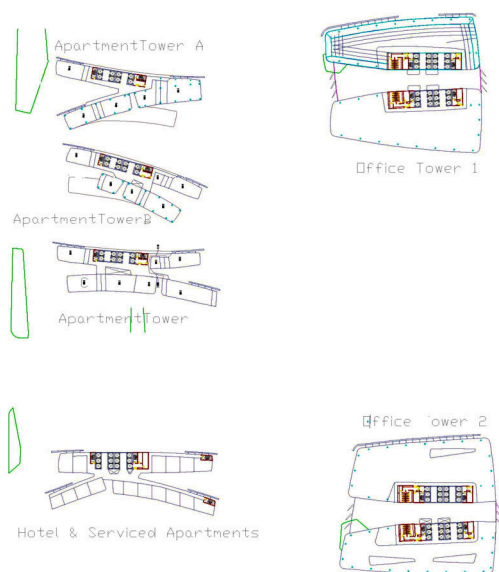


Figura 6 Vista superior do esboço do Beijing World Science & Trade Centre (Pedrini 2003)

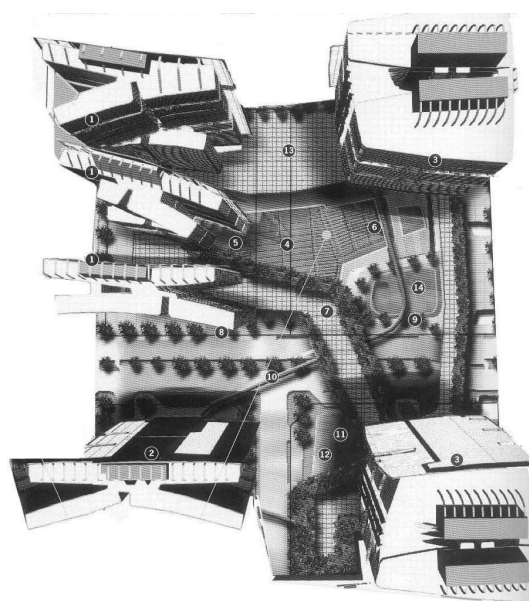


Figura 7 Projeto proposto para o Beijing World Science & Trade Centre, (Richards 2001)

A interface apresenta um módulo principal no lado esquerdo (Figura 8), o qual permite selecionar um dos 36.864 modelos previamente simulados. A seqüência de entrada é compatível com a preferência média dos projetistas durante a tomada de decisões (Pedrini 2003). Há três opções para análises dos resultados. O primeiro módulo apresenta a interdependência entre duas variáveis: ângulo vertical e ângulo horizontal de sombreamento externo. Conforme Figura 8, esse módulo permite que o projetista entenda a dramática influência das possíveis combinações de proteções solares verticais (eixo x) e horizontais (eixo y) quando se usa vidro claro (o consumo de energia é apresentado no eixo z e a classificação através de estrelas é feita através de cores e textura da superfície). No exemplo da Figura

⁴ Competição de projetos organizado pelo Beijing Municipal Institute of city Planning Design, na China

8, o desempenho energético pode oscilar entre 2 e 5 estrelas. Com a simples mudança do vidro claro para o vidro eficiente “Evergreen”, Figura 9, observa-se que a influência das proteções solares é reduzida enquanto que o desempenho energético da célula fica restrito à quatro e cinco estrelas.

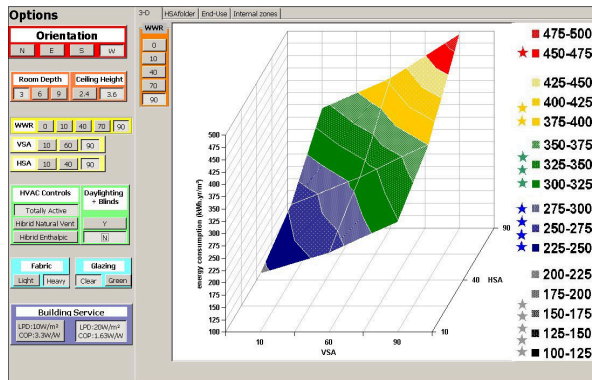


Figura 8 Possibilidades de combinação de proteção externa e consumo de energia para vidro simples e claro

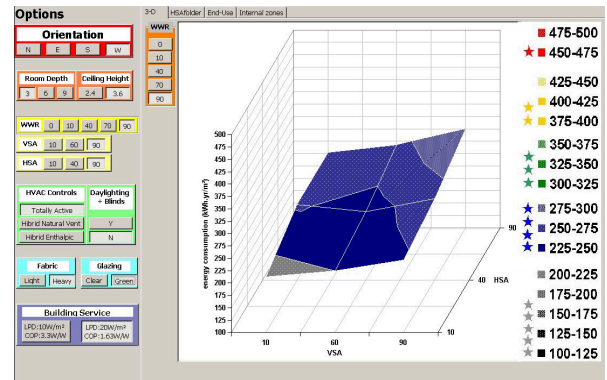


Figura 9 Possibilidades de combinação de proteção externa e consumo de energia para vidro do tipo “Evergreen”

O próximo módulo enfatiza o balanço térmico e lumínico em aberturas. Isto é, a busca por uma redução do ganho térmico conjugada com o aumento do uso da iluminação natural e a conseqüente redução da energia consumida pela iluminação artificial. Conforme Figura 10, observa-se que para uma dada célula, a redução do sombreamento (ou o aumento do ângulo horizontal) tem uma influência muito maior sobre o consumo de resfriamento do que sobre a economia de iluminação artificial. Ou seja, o melhor desempenho energético será obtido por ângulo de sombreamento horizontal de 10° (cinco estrelas), enquanto que ausência do sombreamento resultaria num desempenho de 4 estrelas. No caso do sombreamento vertical, a influência dos ângulos é menor, porém menos previsível. O ângulo que proporciona o menor consumo é 60°, o que coincide com o cruzamento das curvas de consumo de resfriamento e iluminação. Ou seja, o melhor balanço.

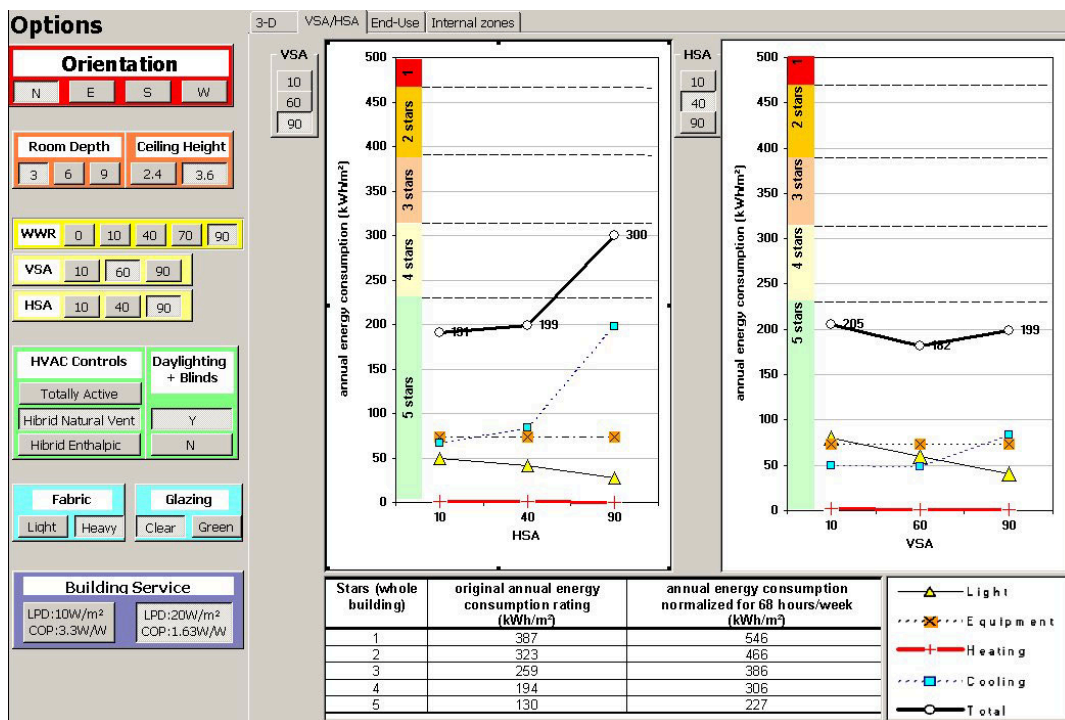


Figura 10 Estudo da proteção horizontal e vertical em termos de uso final de energia

O último módulo é orientado à teste de hipóteses: apresenta o consumo de energia por uso final e total, em valor absoluto e percentual, os quais correspondem ao modelo selecionado no módulo principal (do lado esquerdo da interface). À exemplo da Figura 11, a simples alteração da opção do

modelo com uso da iluminação natural (gráficos da esquerda), ocasiona a duplicação percentual do uso final da energia consumida pelo sistema artificial de iluminação (gráficos da direita).

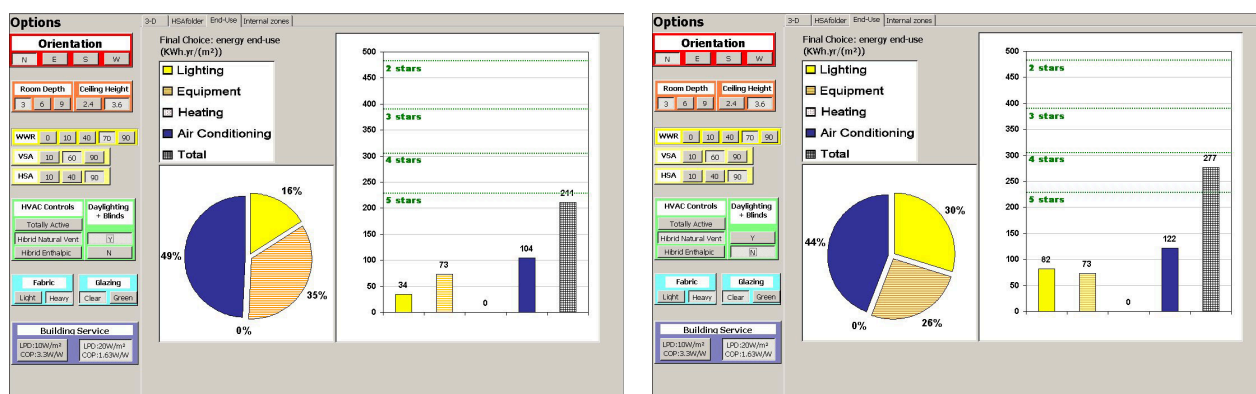


Figura 11 Comparação de consumo de energia por uso final para dois casos: com e sem uso de iluminação natural

3. CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES

O protótipo vai de encontro à afirmação de Steemers (1994), em que explicita a necessidade de uma ferramenta de projeto que possibilite uma rápida consulta ao esboço arquitetônico em termos de implicação energética e que também seja transparente e educativo, à ponto do projetista se tornar consciente das decisões de projeto. Além disso, é compatível com a prática dos projetistas, pois conforme observa Mazria (1980): “*se um procedimento toma mais do que 10 ou 15 minutos, logo não será usado*”.

A conclusão do sistema é recente, tal que ainda não foi apresentado à projetistas. Certamente a ferramenta é adequada para consultores. Recomendações para a fase de programa ou pré-projeto podem ser produzidas em poucos dias e a avaliação de esboços também é facilmente executada, desde que o usuário entenda como proceder às simplificações geométricas.

Como mencionado, o protótipo é decorrente de um estudo mais abrangente que objetiva auxiliar o projetista que deseja considerar, desde as primeiras fases de desenvolvimento do projeto arquitetônico, as estratégias de redução do consumo de energia. Logo, há claras intenções de continuar o desenvolvimento desse tipo de ferramentas através da cooperação com projetistas e programadores. Uma das intenções é a automatização do todo o procedimento manual pertinente às simulações. Inclusive, alguns softwares disponíveis no mercado necessitariam de poucas alterações para reproduzir todas as tarefas, otimizando, assim, o processo de análise paramétrica. Há a necessidade de desenvolver uma interface gráfica mais orientada ao projetista. A caracterização da célula pode evoluir para uma representação em CAD, no qual o banco de dados seja ativado através das mudanças das dimensões do desenho, substituindo a usual declaração das variáveis por botões. A próxima evolução seria a criação de um CAD simplificado para a fase de esboço. Além disso, outras alternativas (reais e hipotéticas) tal qual poderiam ser devidamente modeladas e catalogadas no banco de dados, para servir de referência para projetos.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC (2001b). Consultancy Brief - Energy Modelling of Office Buildings for Benchmarking and Zoning (Class 5 Climate Zoning Consultancy). Canberra, Australian Building Codes Board.
- ABC (2001e). Appendix F - Features. Canberra, Australian Building Codes Board.
- Baker, N. V. (1994). The LT Method 2.0 - An energy design tool for non-domestic buildings. K. Steemers. Cambridge Architectural Research Limited, Royal Institute of British Architects.

- Balcomb, J. D. (1997). ENERGY-10: The Making of a Design Tool. SOLAR 97, 22nd National Passive Solar Conference, Washington, D.C.
- Balcomb, J. D. and R. D. McFarland (1978). A simple empirical method for estimating the performance of a passive solar heated building of the thermal storage wall type. 2nd National Passive Solar Conference, Philadelphia, PA.
- Bamford, G. (2002). "From analysis/synthesis to conjecture/analysis: a review of Karl Popper's influence on design methodology in architecture." Design Studies **23**(3): 245-261.
- Bannister, P. (1999). SEDA Greenhouse Rating Scheme Methodology. Canberra, Exergy Group Limited: 13.
- Broadbent, G. and A. Ward (1969). Design methods in architecture. London, Lund Humphries.
- Burberry, P. (1983). Mitchell's Practical thermal design in buildings. London, Batsford Academic and Educational.
- G. James Pty. Ltd. (2001). G. James Glass Handbook, G. James Pty. Ltd. **2002**.
- Goulding, J. R. and J. O. Lewis (1992). Energy Conscious Design - A Primer for European Architects. London, Batsford.
- Hien, W. N., L. K. Poh, et al. (2000). "The use of performance-based simulation tools for building design and evaluation - a Singapore perspective." Building and Environment **35**: 709-736.
- Hyde, R. A. and A. Pedrini (2001). "A Critique of the Passive Zone Concept for Energy Efficiency." Architectural Science Review **44**(2): 153-160.
- Loudon, A. G. (1968). Summertime temperatures in buildings. Thermal environment in modern buildings - aspects referring the design team.
- Mazria, E. (1980). The Passive Solar Energy Book. Passive Solar Design Handbook - Volume Two of Two Volumes: Passive Solar Design Analysis. J. D. Balcomb, D. Barley, R. McFarland et al. Washington, U.S. Department of Energy: 269.
- Pedrini, A. (2003). Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate. St. Lucia, Qld., University of Queensland: 300.
- Pedrini, A. and R. A. Hyde (2001). A database energy tool for early stages of building design: the LTV Method. PLEA 2001 18th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Florianópolis.
- Richards, I. (2001). Groundscrapers + subscrapers of Hamzah & Yeang. Chichester, West Sussex, Wiley-Academy.
- Stemers, K., Ed. (1994). Tools for energy efficient design. European Directory of Energy Efficient Building. London, James & James.
- Szokolay, S. V. (1980a). Environmental science handbook for architects and builders. London, Construction Press.
- Yeang, K. (1999). The green skyscraper : the basis for designing sustainable intensive buildings. Munich, Prestel.
- Yeang, K. and Hamzah & Yeang. (1998). T.R. Hamzah & Yeang : selected works. Mulgrave, Vic., Images Publishing.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa de doutorado pleno no exterior.

Ao arquiteto Dr. Ken Yeang e sua equipe, pela colaboração no estudo de casos.

Aos integrantes do LabEEE, pela acolhida no Brasil.

Ao Dr. Maurício Roriz, pelo incentivo ao tema.