

# APLICAÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DE CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

COMPUTATIONAL SIMULATION APPLICATION IN THE AREA OF ENVIRONMENTAL COMFORT AND ENERGY EFFICIENCY

**SARAMAGO, Rita de Cássia Pereira (1)**  
**BORTOLI, Karen Carrer Ruman de (2)**

(1) Professora Assistente da FAUeD-UFU, Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela EESC-USP, email: [saramagorita@gmail.com](mailto:saramagorita@gmail.com)

(2) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo pela FAUeD-UFU, email: [karencrbortoli@gmail.com](mailto:karencrbortoli@gmail.com)

## Resumo

A aplicação de ferramentas de simulação computacional complementa as necessidades dos graduandos em Arquitetura e Urbanismo, sobretudo no que concerne ao estímulo de suas habilidades visuais. Além disso, sua utilização no processo de ensino-aprendizagem permite que o próprio estudante atue enquanto construtor do conhecimento. Tendo em vista tais vantagens, esta comunicação aborda o emprego de ferramentas de simulação computacional, no âmbito profissional e acadêmico, para a concepção de projetos arquitetônicos voltados ao conforto ambiental e à eficiência energética do ambiente construído. Posteriormente apresenta as experiências didáticas de introdução de softwares livres da série *Analysis (Analysis CST, Analysis Bio e Analysis Sol-Ar)* e do software *Domus – Procel Edifica* em disciplinas da área de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Palavras-chave: Simulação Computacional, Conforto Ambiental, Eficiência Energética, Analysis, Domus

## Abstract

The use of simulation software complements the needs of the undergraduate students of Architecture and Urbanism, especially regarding the stimulus of their visual skills. Moreover, its use allows the students to act as the constructor of their own knowledge. Considering these advantages, this paper studies the application of computational simulation tools, in the professional and academic field, in order to guide the design of architectural proposals concerned to the environmental comfort and the energy efficiency of the built environment. Then, it presents learning experiences concerning to the introduction of the free software *Analysis (Analysis CST, Analysis Bio and Analysis Sol-Ar)* and of *Domus – Procel Edifica* in the area of Environmental Comfort and Energy Efficiency of the college of Architecture and Urbanism in the Federal University of Uberlândia (UFU).

Key-words: Computational Simulation, Environmental Comfort, Energy Efficiency, Analysis, Domus

## 1. INTRODUÇÃO: APLICAÇÃO DE SOFTWARES DE SIMULAÇÃO NA ÁREA DE CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Aproximadamente 45% do total da energia produzida no planeta são utilizados para o aquecimento, resfriamento, iluminação e ventilação das edificações. Sabe-se que um projeto eficiente do ponto de vista energético pode representar uma diminuição significativa desse consumo. Assim, a produção arquitetônica e urbanística assume a obrigação de se tornar menos impactante (EDWARDS; HYETT, 2005).

Nesse sentido, a partir da década de 1970, principalmente em função da crise energética mundial, parte dos profissionais do setor da construção civil voltou a considerar a influência exercida pelos fatores climáticos sobre o desempenho térmico do ambiente construído. Afinal, agindo desse modo, tornaram-se aptos a minimizar o consumo de energia necessária para climatizar artificialmente determinada edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Também nesse período ocorreu um grande desenvolvimento em ferramentas computacionais voltadas justamente à simulação do comportamento termoenergético de edificações, sobretudo na Europa e nos Estados Unidos, levando à criação, em 1986, da IBPSA (*International Building Performance Simulation Association*) – uma sociedade sem fins lucrativos que reúne empreendedores, construtores e pesquisadores da área de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (DELBIN, 2006).

Segundo Trindade (2006), a aplicação desse tipo de ferramenta vem crescendo nos grandes escritórios internacionais que priorizam o uso de diferentes recursos tecnológicos em seu processo projetual, tais como: o inglês *Foster + Partners*, o malaio *T.R.Hamzah & Yeang* e o italiano *Mario Cucinella Architects*.

No Brasil, contudo, a prática de simulação ainda se concentra no meio acadêmico (MENDES, LAMBERTS, NETO, 2001). Como avalia Belhot (1997), as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) estão sendo crescentemente empregadas nos processos educativos brasileiros, possibilitando o surgimento de novos métodos e práticas de ensino-aprendizagem. Para Lima (1996), essas novas metodologias seriam mais interessantes, pois, em função de seu caráter dinâmico, conseguem despertar no estudante a capacidade de interferir ativamente na busca da informação, levando à sua participação efetiva no processo de ensino-aprendizagem.

No entanto, conforme Delbin (2006), o emprego de ferramentas computacionais em disciplinas dos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo é uma prática recente e pouco explorada. Tendo aparecido em meados dos anos 1990, constitui uma estratégia de ensino mais comum no exterior que no Brasil. Assim, de maneira geral, prevalece uma metodologia de ensino de Conforto Ambiental baseada na apresentação de conhecimentos teóricos, seguidos da resolução de exercícios de cálculo. Porém, esses exercícios que

teriam um objetivo inicialmente prático, por serem normalmente desvinculados da atividade projetual, prejudicam o desenvolvimento do senso crítico dos alunos, bem como a real aplicação futura (na prática profissional) dos conceitos relativos ao Conforto Ambiental e à Eficiência Energética (BITTENCOURT; TOLEDO, 1997).

Como consequência, as disciplinas da área, muitas vezes, passam a ser vistas como enfadonhas, restringindo-se à introdução de uma série de conceitos por meio de dados, gráficos, ábacos, tabelas, fórmulas e grandezas. Por outro lado, considerando as habilidades visuais geralmente predominantes entre os alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo, poder-se-ia facilitar a compreensão desses conceitos, através da exploração de métodos qualitativos – que permitam a visualização dos fenômenos investigados.

Além disso, estudos mostram que os graduandos aprendem mais quando diversas técnicas de ensino são utilizadas e que alguns alunos respondem melhor a determinada metodologia de ensino (TREVELIN, 2007). Partindo desse pressuposto, o uso dos computadores em sala de aula, mediante o emprego de softwares educacionais, deve ser cada vez mais incentivado, com o objetivo de proporcionar aos estudantes um novo campo de experiências de aprendizagem.

Especificamente na área de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Scarazzato (1999) considera que a exploração do uso de programas computacionais pode auxiliar os alunos a compreenderem melhor de que modo os diversos aspectos de um projeto contribuem para a sua caracterização sob o ponto de vista ambiental. Da mesma forma, Delbin (2006) defende a prática da simulação, pois possibilita que os discentes comparem os resultados de diferentes soluções projetuais, formando um repertório de alternativas de projeto mais amplo.

Mesmo no âmbito profissional, de acordo com a autora, continuam a existir barreiras ao uso da simulação no país. Entre elas, destacam-se: dificuldades com a terminologia e com as interfaces gráficas empregadas – visto que grande parte desses programas computacionais são estrangeiros; e baixa capacidade de adaptação dos softwares à realidade brasileira – em termos de climas e de tipologias construtivas.

Os softwares da série *Analysis* e o software *Domus – Procel Edifica* pretendem justamente sanar tais dificuldades elencadas, oferecendo ferramentas de fácil aplicação por parte dos usuários, além de serem orientados às condições climáticas encontradas nas cidades brasileiras. Assim, é nesse contexto de aproveitamento das novas possibilidades surgidas com as ferramentas computacionais e de preocupação com seu adequado emprego enquanto método de ensino que se inserem as experiências didáticas desenvolvidas na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e Design da Universidade Federal de Uberlândia (FAUeD/UFU), descritas a seguir.

## 2. EXPERIÊNCIAS DE PESQUISA E ENSINO DESENVOLVIDAS NA FAUeD-UFU

Desde 2011, são utilizados softwares da série *Analysis* (*Analysis CST*, *Analysis Bio* e *Analysis Sol-Ar*) para a realização de exercícios da disciplina Conforto Ambiental 1, ministrada aos alunos do 2º período do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFU. Essa disciplina tem o objetivo de desenvolver a capacidade de análise crítica dos discentes sobre três aspectos fundamentais da área de Conforto Ambiental e Eficiência Energética: consideração das características do clima de uma região quando da elaboração de propostas arquitetônicas e urbanísticas; conhecimento sobre as exigências humanas de conforto térmico e concepção de projetos a partir dos condicionantes da geometria da insolação – justamente os três aspectos abordados pelos programas da série *Analysis*.

Esses softwares foram desenvolvidos por pesquisadores do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), estando disponíveis gratuitamente no endereço eletrônico do laboratório (<http://www.labeee.ufsc.br/>). Tais ferramentas computacionais objetivam fornecer, de maneira rápida e clara, meios qualitativos de: analisar as estratégias bioclimáticas que podem ser empregadas na concepção de edificações (*Analysis Bio*); avaliar as condições térmicas de ambientes em situações reais, comparando-as com as respostas fisiológicas de seus usuários (*Analysis CST*); e criar elementos de proteção solar, segundo a localização das cidades sob investigação (*Analysis Sol-Ar*).

Com relação ao primeiro programa, *Analysis Bio*, seu emprego é feito em um trabalho prático da disciplina, em que cada equipe de estudantes deve escolher um projeto arquitetônico para analisá-lo segundo os conceitos estudados nas aulas expositivas. Para tanto, é necessário realizar, mediante manipulação dos comandos do software, um diagnóstico das estratégias bioclimáticas indicadas para o clima do local, através da observação de sua carta bioclimática. Assim sendo, também é objetivo do trabalho que as equipes comparem as estratégias indicadas para a cidade estudada com as soluções arquitetônicas adotadas pelos autores do projeto, indicando sugestões de mudança para as propostas com as quais não concordem.

O uso do *Analysis CST*, por sua vez, ocorre após a introdução de conceitos relativos à influência exercida pelas variáveis ambientais (temperatura atmosférica, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante média) e humanas (atividade física e isolamento do vestuário) sobre a sensação de conforto térmico de um grupo de pessoas. Com esse intuito, essas variáveis são medidas com instrumentos adequados ao longo de uma aula expositiva, enquanto os alunos descrevem suas impressões térmicas em um questionário. Na aula seguinte, as variáveis são inseridas nos dados de entrada do programa, comparando-se os resultados simulados com as respostas concretas dos alunos.

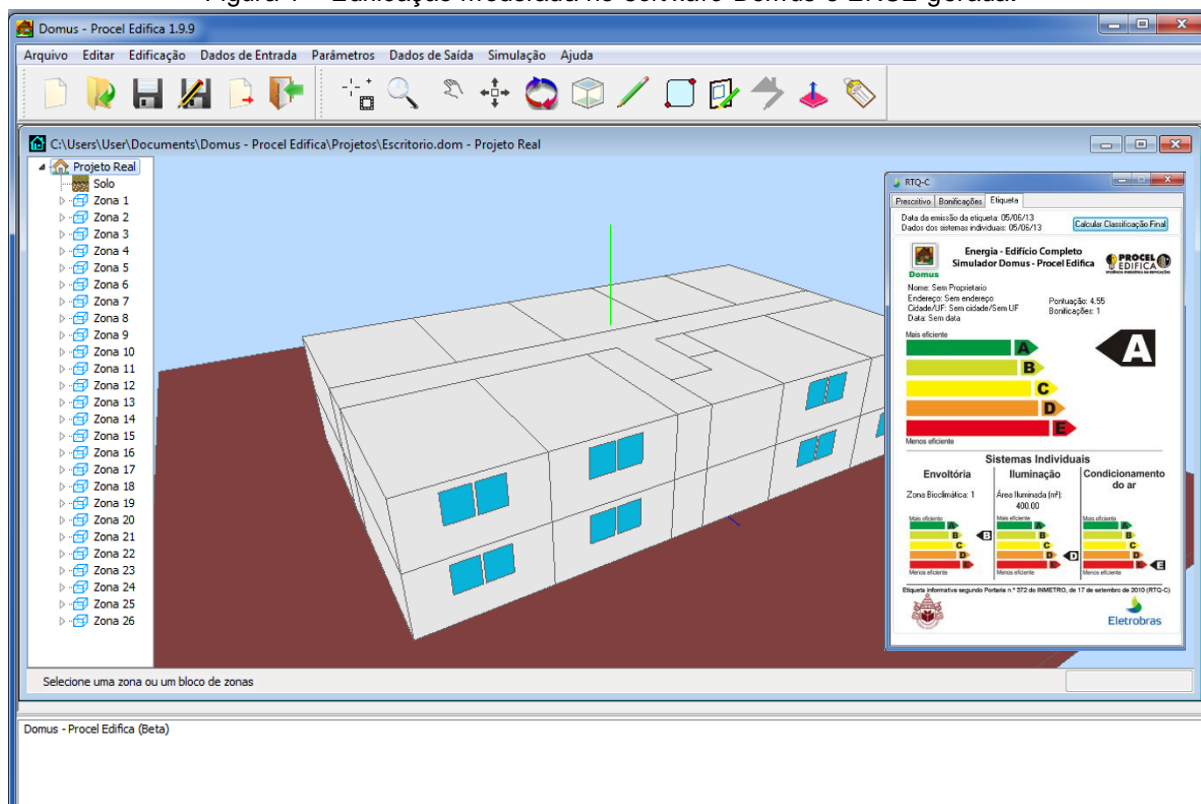
Por fim, utiliza-se o programa *Analysis Sol-Ar* para criar elementos de proteção solar, segundo os conceitos sobre geometria da insolação estudados na disciplina. Dessa forma, os alunos devem analisar como ocorre a insolação em cada fachada da edificação em estudo – geralmente a proposta desenvolvida pelos próprios discentes na disciplina de Projeto do mesmo período –, para só então propor elementos de proteção àquelas que se encontram em situações desfavoráveis.

De maneira geral, tem-se observado um maior interesse dos estudantes pelos conteúdos abordados durante a manipulação dos programas, bem como o surgimento de dúvidas sobre sua correta aplicação. Ou seja, quando se tornam construtores do conhecimento a ser elaborado, deixam sua posição passiva de simples “absorvedores” de informações. Outra vantagem observada na aplicação dos programas de simulação refere-se à ação colaborativa entre os estudantes, no sentido de auxiliarem uns aos outros durante a realização dos exercícios e trabalhos práticos.

Entretanto, apesar da relativa simplicidade de manuseio dos softwares após a compreensão de seus comandos, para alunos dos primeiros períodos do curso de Arquitetura, eles não são totalmente intuitivos. Por causa disso, quando de sua utilização em sala de aula tradicional e/ou ambiente de laboratório, demanda-se tempo para a explicação sobre o funcionamento das ferramentas. Assim, percebeu-se a necessidade de desenvolvimento de instrumentos que auxiliassem os estudantes em sua aplicação. Para tanto, foi elaborado um projeto de pesquisa, desenvolvido entre março/2012 e fevereiro/2013 dentro do Programa de Bolsas de Graduação (PBG) da UFU, com o objetivo de elaborar tutoriais sobre os principais comandos desses programas (disponíveis para download no endereço: <http://karenbortoli.wordpress.com/pesquisas/tutoriais-analysis/>). Portanto, o projeto teve o intuito de auxiliar os estudantes em sua aplicação, otimizando os recursos temporais investidos durante as aulas, sem, contudo, prejudicar a aplicação dessas novas possibilidades de aprendizagem.

Uma experiência mais recente ocorreu entre novembro/2012 e junho/2013, quando as autoras participaram como integrantes da equipe de Disseminação do software *Domus*. Esse programa, que vem sendo desenvolvido há 15 anos pelo Laboratório de Sistemas Térmicos (LST) da PUCPR e está disponível gratuitamente na Internet ([www.domus.pucpr.br](http://www.domus.pucpr.br)), permite tanto a simulação do consumo de energia (relativo a equipamentos elétricos, sistemas de condicionamento de ar e de iluminação), quanto a verificação de níveis de conforto térmico em diferentes recintos (Figura 1). Sendo assim, constitui-se em um importante instrumento de auxílio à consolidação do programa brasileiro de Regulamentação de Eficiência Energética em Edificações, já que permite ainda a geração da Etiqueta Nacional de Eficiência Energética em Edificações (ENCE).

Figura 1 – Edificação modelada no software Domus e ENCE gerada.



Fonte: Software Domus, 2013.

Considerando a importância de criar um sistema de disseminação do *Domus*, o LST/PUCPR, em Convênio com a Eletrobrás e em parceria com pesquisadores de outras instituições (como da Faculdade de Comunicação – FAGED e da FAUeD/UFU), desenvolveu uma plataforma flexível de ensino à distância. Nesse contexto, a equipe responsável pela plataforma criou uma planilha de ensino dos procedimentos do *Domus* em níveis de complexidade de acordo com a taxonomia revisada dos Objetivos Educacionais (ANDERSON et al., 2001). Esses procedimentos contribuíram com o alinhamento de conteúdos, processos cognitivos requeridos na aprendizagem e exercícios num processo evolutivo de dificuldades: passando por habilidades simples de modelagem à efetiva simulação da eficiência termoenergética de edificações.

Entre maio e junho de 2013, foi aplicado o primeiro curso experimental online (30 h) da plataforma de disseminação do *Domus* para 45 participantes, com perfis bastante diversificados em relação à formação acadêmica e experiência profissional (professores universitários, pós-graduandos, graduandos, pesquisadores da rede brasileira de eficiência energética – R3E, funcionários de empresas ligadas à Eletrobrás e profissionais liberais).

Esse curso experimental do *Domus* demonstrou a potencialidade da plataforma, no entanto, os objetos de aprendizagem não foram explorados em toda sua potencialidade cognitiva e interface computacional. Isso porque, devido ao perfil dos participantes, o curso ofereceu

uma visão geral do programa por meio de uma aprendizagem mais autônoma para navegação em um sistema de multimídia. Assim, a próxima etapa da pesquisa pretende aprofundar os demais objetos educacionais – com ênfase para o Ambiente de Solução de Problemas (ASP): um espaço virtual destinado à troca e solidificação de conhecimentos relativos ao software entre os usuários (Figura 2).

Figura 2 – Ambiente de Solução de Problemas (ASP) da Plataforma de Disseminação do Domus .



Fonte: Plataforma de Disseminação do Domus, 2013.

Outra experiência de aplicação didática do software ocorreu na disciplina *Eficiência Energética no Ambiente Construído*, ministrada pela primeira vez aos alunos do 7º período do curso de Arquitetura e Urbanismo da FAUeD/UFU. Essa iniciativa consistiu em uma aplicação pioneira do *Domus* para alunos brasileiros a nível de graduação. Neste caso, contudo, a plataforma de ensino à distância não foi utilizada, visto que os estudantes contaram com aulas presenciais em Laboratório de Informática para realizar os exercícios propostos. Mesmo assim, o tutorial desenvolvido pela equipe de Disseminação (com base no qual se estruturam os elementos de navegação da plataforma virtual) revelou-se de grande importância no auxílio aos discentes, apoiando o desenvolvimento das atividades propostas pela disciplina durante e após o período das aulas presenciais.

Novamente, foi possível comprovar a eficácia desse tipo de material na construção da aprendizagem entre alunos de graduação. Tal como os tutoriais dos softwares da série *Analysis*, a equipe de Disseminação do *Domus* vale-se de recursos como o hipertexto<sup>i</sup> para facilitar a navegação no arquivo tutorial, permitindo que o usuário atue enquanto construtor do próprio conhecimento ao optar por determinados caminhos, fugindo à convencional lógica linear de ensino. Com isso, abrange melhor as necessidades individuais de cada usuário, possibilitando o atendimento ao público diversificado que se apresenta na academia e fora dela. Ademais, sua aplicação pelos alunos permitiu validar a eficácia do software no processo de etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações brasileiras, reforçando os conteúdos previamente ministrados na disciplina e instigando-os a aprofundar conhecimentos acerca da relação entre concepção projetual e desempenho termoenergético.

### **3. CONSIDERAÇÕES**

A experiência didática empreendida na FAUeD, na qual a manipulação de programas de simulação figura como atividade fundamental das disciplinas de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, exemplifica o impacto da inserção das TICs no ambiente acadêmico. Além disso, nessa unidade acadêmica, a consideração das características bioclimáticas de cada região, das exigências térmicas dos usuários e da influência da insolação sobre os ambientes internos, tem sido estimulada também nas disciplinas de Projeto. Sendo assim, o material didático produzido para os programas da série *Analysis* encontra aplicação mais ampla – o que justifica sua validade enquanto instrumento de aprendizagem.

A experiência também tem o potencial de estimular o desenvolvimento de aptidões sociais pelos envolvidos, visto que sua metodologia de trabalho prioriza: a interação entre os pesquisadores e os alunos e professores do curso; e a realização de atividades que envolvam trabalho em grupo, favorecendo a ajuda mútua entre os seus integrantes na manipulação e aplicação das ferramentas computacionais.

Considerando ainda a situação de alerta vigente, referente ao esgotamento de recursos naturais e energéticos, é importante considerar a importância da discussão levantada nas disciplinas. Nesse contexto, compreendidas as potencialidades do domínio das ferramentas computacionais na concepção de projetos mais coerentes e melhor aceitos, a utilização de recursos de simulação computacional pode acompanhar o profissional ao longo de toda sua carreira.

Já a participação no projeto de pesquisa “Domus – Software de Apoio à Regulamentação Brasileira de Eficiência Energética em Edificações” foi fundamental para compreender a importância dessa ferramenta computacional no processo de consolidação da etiqueta de eficiência energética no Brasil. Em função da interface amigável e das amplas possibilidades



de simulação oferecidas pelo software, acredita-se que o mesmo possui grande potencial de auxílio à criação de edificações melhor adaptadas à realidade climática das cidades brasileiras, bem como mais eficientes energeticamente.

O desenvolvimento das atividades previstas no projeto também permitiu aprimorar conhecimentos referentes à área de Educação, especialmente sobre: taxonomia dos objetivos de aprendizagem, processos cognitivos, planejamento e elaboração de exercícios didáticos. Nesse contexto, destaca-se ainda a importância da plataforma de ensino à distância, desenvolvida por diferentes pesquisadores do projeto, no sentido de facilitar o acesso ao software por parte de estudantes e profissionais, orientando a aprendizagem dos diferentes procedimentos abrangidos pelo *Domus*.

Essas percepções foram reforçadas durante as duas aplicações do software, através da discussão com os participantes dos cursos. Tal processo se mostrou uma experiência muito rica, inclusive em função da identificação dos pontos que precisam ser melhor trabalhados tanto no software (como a criação de novas e mais flexíveis ferramentas para a modelagem das edificações), quanto na plataforma (a exemplo da apontada fragmentação dos exercícios). Importa ainda salientar que a disseminação de softwares livres, tal qual de seus respectivos tutoriais, amplia o alcance do conhecimento a diversos estratos da sociedade. Na academia, especificamente no curso de Arquitetura e Urbanismo, a correta manipulação e aplicação de programas de simulação termoenergética têm como expectativa, portanto, aprimorar a atuação dos atuais e futuros profissionais, beneficiando toda a comunidade.

A partir do exposto, fica claro, por fim, que, além de uma necessidade, revela-se como oportunidade o aprimoramento das técnicas de ensino-aprendizagem à distância. Nesse sentido, cabe valorizar cada componente desse ciclo (o elaborador, o disseminador e o receptor do conhecimento produzido), considerando suas restrições e potencialidades, de forma a tornar o processo de construção e transmissão de conhecimento cada vez mais abrangente e coerente.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, L. W.; KRATHWOHL, D. R.; AIRASIAN, P.W.; CRUIKSHANK, K.A.; MAYER, R. E.; PINTRICH, P. R.; RATHS, J.; WITTRICK, M. C. **A taxonomy for learning, teaching, and assessing**: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. New York: Longman, 2001.
- BELHOT, R. V. (1997). Experiências com o ensino apoiado por computador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 25., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ABENGE, p.127-138.

BITTENCOURT, L. S.; TOLEDO, A. M. Ensino de conforto ambiental: mudanças de enfoque e metodologia. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997, p. 537-541.

DELBIN, S. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico**: proposta de metodologia. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

EDWARDS, B.; HYETT, P. **Guía básica de la sostenibilidad**. Barcelona: Gustavo Gili, 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LIMA, R. V. **A utilização de sistemas multimídia na educação e treinamento**: uma aplicação em MRPII. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

MENDES, N.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. Building simulation in Brazil. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 7., Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Building Simulation, 2001, p. 3-13.

SCARAZZATO, P. S. Recursos computacionais aplicados ao ensino do conforto térmico em arquitetura CTCA: conforto térmico, cálculo e análise. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1999.

TREVELIN, A. T. C. **A relação professor aluno estudada sob a ótica dos estilos de aprendizagem**: análise em uma faculdade de tecnologia – Fatec. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TRINDADE, S. C. **Simulação computacional como ferramenta de auxílio ao projeto**: aplicação em edifícios naturalmente ventilados no clima de Natal/RN. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

---

<sup>i</sup> Segundo Belhot (1997), o hipertexto é uma solução tecnológica para organizar a informação. Em um documento hipertexto, não existe uma única opção que imponha a sequência na qual o texto deve ser lido, já que o autor do documento deixa algumas alternativas para os leitores explorarem. Na utilização desse recurso, deve-se atentar para uma estruturação de texto que permita a compreensão de cada uma de suas partes de forma direta e o mais independente possível das demais. Isso possibilita a atuação do leitor enquanto construtor do próprio conhecimento, a partir de caminhos (links) de aprendizagem alternativos ao tradicional linear.