

AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLE EM EDIFICAÇÕES – PARTE 1: DESCRIÇÃO FUNCIONAL

Araújo, H. X.; Oliveira, G. H. C.; Mendes, N.; Coelho, L. S.

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR/CCET

Laboratório de Sistemas Térmicos

Laboratório de Automação e Sistemas

Rua Imaculada Conceição, 1155

Curitiba - PR, 80.215-901 – Brazil

e-mail: {araujo, gustavoc, nmendes, lscoelho}@ccet.pucpr.br

RESUMO

Neste artigo, descreve-se o projeto de um ambiente computacional modular para simulação térmica de edificações e análise de estratégias de controle para sistemas de climatização. O ambiente computacional é desenvolvido, utilizando-se a plataforma MATLAB/Simulink, para monitorar e controlar o comportamento higrótérmico de ambientes de edificações, levando-se em conta diversos fenômenos termofísicos presentes na edificação. As bibliotecas contendo diferentes elementos dos sistemas térmicos, isto é, edificação, climatizador, sensor, controlador, clima externo e perturbação, são descritas. Algumas estratégias de controle avançado são apresentadas sob a ótica de sistemas térmicos.

ABSTRACT

In this paper, a project of a computer platform of a modularly oriented building thermal simulation program is described. This project is also focused on the development of a simulation tool for control strategy analyses of HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) systems. The computer environment is developed by using the MATLAB/Simulink platform, to calculate and control room air temperature and relative humidity, taking into account thermo-physical phenomena present in building physics. The libraries containing different thermal system elements, *i.e.*, building, HVAC equipments, sensor, controller, weather data and perturbation, are described. Some advanced control strategies applied to thermal systems are also presented.

1. INTRODUÇÃO

Há cerca de dez anos, o Brasil começou a se preocupar em reduzir o consumo de energia em edificações. Como não existe nenhum programa nacional deste gênero, conhecido pelos autores, os projetistas de sistemas de climatização normalmente usam programas computacionais tais como: DOE-2 (E.U.A.), BLAST (E.U.A.), VISUAL DOE (E.U.A.) e ESP (Escócia). Existem também outros programas como DOMUS (Mendes *et al.*, 2003), para análise térmica e energética em edificações que vem sendo desenvolvido para ser de fácil uso com finalidade didática e de pesquisa e SIMBAD (Riederer *et al.* 2001), programa de simulação de ambientes que está sendo desenvolvido na França, também em ambiente MATLAB/Simulink.

No entanto, uma parte considerável dos programas existentes de simulação pode apresentar cenários discrepantes do que realmente ocorre em edificações, no que concerne aos fenômenos termofísicos. Devido, principalmente, às simplificações nos processos fluido-térmicos presentes e, aos modelos propriamente ditos. Na década de 70 e 80, o poder de processamento dos sistemas computacionais era limitado. Com isso os tempos de simulação eram elevados, principalmente em plantas complexas. Devido a este fator e à complexidade matemática do comportamento higrótérmico, alguns dos programas citados acima, como o BLAST, desprezavam completamente o parâmetro umidade, para

efeito de simplificação. Com isso, muitas variáveis não eram avaliadas. Outra simplificação muito comum era considerar apenas um ponto em uma parede.

Em relação às ferramentas para simulações higrótérmicas envolvendo Controle Automático, apenas alguns trabalhos estão disponíveis na literatura. SIMBAD Building and HVAC Toolbox é um pacote para a plataforma Matlab/Simulink. Este pacote fornece um grande número de modelos de sistemas HVAC e sistemas afins, porém a análise de estratégias de Controle Automático não é abordada.

Os modelos matemáticos para a edificação, sistemas HVAC e controladores usados neste programa são baseados em Matlab, e estão descritos em Mendes *et al.* (2001, 2002), Oliveira *et al.* (2003) e na segunda parte do presente trabalho (Oliveira *et al.*, 2003). Nestes artigos, os modelos matemáticos da edificação consideram um envoltório capacitivo multicamada, aumentando assim sua precisão. A abordagem adotada leva em consideração o calor acoplado e o balanço de vapor d'água da umidade presente no ar.

O ambiente está construído de forma modular, onde cada módulo contempla um grupo de equipamentos/fenômenos que podem influir nas propriedades térmicas da edificação. São eles: casa ou edificação, climatizador, sensor, controlador, clima externo e perturbação. O módulo edificação tem todas as informações dos ambientes que estão sendo analisados. Estes ambientes possuem paredes multicamadas que estão descritas na forma de equações de estado. O módulo climatizador contém modelos de aquecedores e de equipamentos de ar condicionado. Diferentes sensores de temperatura e umidade compõem o módulo sensor. Os controladores disponíveis no módulo controlador são liga-desliga, PID, *fuzzy*, entre outros, e têm como função controlar a temperatura e/ou umidade interna tendo em vista os níveis de conforto. O módulo clima externo possui arquivos com dados reais de umidade, temperatura externa e radiação solar de várias capitais brasileiras. O módulo perturbação é composto de modelos que simulam a entrada de pessoas, o acionamento de equipamentos, a perda de calor para o solo, dentre outros.

O artigo está estruturado como apresentado a seguir. Na seção 2, descreve-se a metodologia de desenvolvimento do ambiente computacional de simulação. Nas seções 3 e 4, descrevem-se as bibliotecas e estratégias de controle que compõem o ambiente computacional de simulação. Finalmente, na seção 6, têm-se as conclusões.

2. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

A orientação a objetos proporciona um ambiente flexível e útil para projeto, desenvolvimento, e modificação das classes e suas relações no desenvolvimento do programa. A orientação a objetos permite ainda uma especificação de hierarquia com a caracterização de objetos, classes, e a determinação de validade de classes e relacionamento durante o desenvolvimento. Os conceitos de orientação a objetos envolvem a definição de objetos, classes, hierarquia, herança, métodos e variáveis. As classes são introduzidas e modificadas através de comportamentos, restrições, e estruturas de especificação de hierarquia durante o desenvolvimento do programa.

O Matlab é um programa matemático que contém uma grande biblioteca de funções que simplifica sua utilização quando comparado a outras linguagens de programação. O Simulink é um pacote do Matlab com interface gráfica com o usuário, construído especialmente para sistemas dinâmicos. O Matlab/Simulink também apresenta muitas características relevantes. É mais fácil de aprender e de usar. O ambiente interativo do Matlab elimina o ciclo *edit-compile-debug* típico do desenvolvimento de programas usando compiladores e a interface gráfica dos pacotes muitas vezes elimina a necessidade de escrever o código. A análise do comportamento térmico da edificação é feita através da implementação das equações dinâmicas do modelo em ambiente MATLAB/Simulink. O Matlab/Simulink é um ambiente computacional que consiste propriamente em projetar ferramentas para análises, projetos e simulações de técnicas de sistemas de controle em aplicações de sistemas térmico em edificações.

3. BIBLIOTECAS DO AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Cada elemento do sistema térmico (edificação, climatizador, sensor, controlador, clima externo e perturbação) é um módulo separado e pode ser representado por um bloco do Simulink, facilitando assim a composição de sistemas mais complexos. O programa tem como premissa tornar-se uma ferramenta de uso geral, adaptada a aplicações avançadas. A descrição destes módulos é feita na seqüência.

3.1 Biblioteca de edificações

A biblioteca de edificações contém vários blocos com modelos de zonas térmicas. Cada bloco componente da biblioteca contém as informações de um ambiente em particular. Em um exemplo típico, desenvolvem-se modelos matemáticos da edificação considerando um envoltório capacitivo (4 paredes, teto, piso/solo) multicamada. A abordagem adotada leva em consideração o calor acoplado e o balanço de vapor d'água da umidade. Algumas propriedades incorporadas ao ambiente são: presença de portas e janelas (influência), troca de calor por radiação entre sistema de aquecimento e parede. O efeito direto da radiação solar está incluído e o cálculo da transferência de calor pode ser aperfeiçoado com a inserção de cargas latentes. Medem-se valores de temperatura e umidade em função dos dados ambientais externos, perturbações e da saída do climatizador.

Os sinais de entrada desse bloco são temperatura do aquecedor, temperatura e umidade absoluta externa, temperatura do solo, perturbações, infiltração de ar. Os sinais de saída são a temperatura da edificação e a umidade. Um exemplo da biblioteca de blocos é ilustrado pela Figura 1.

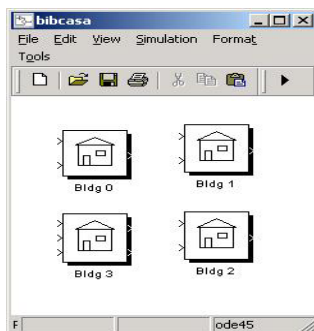


Figura 1. Biblioteca de edificações.

3.2 Biblioteca de climatizadores

A biblioteca climatizadores, ou “HVAC” (*Heating Ventilation and Air Conditioning*), contém blocos com modelos de aquecedores e condicionadores de ar. As equações dos modelos são obtidas a partir do balanço de massa-energia. No caso de aquecedores, os blocos têm como entradas o sinal de controle e a temperatura interna da edificação, e tem como saída a temperatura do aquecedor, conforme ilustrado pela Figura 2.

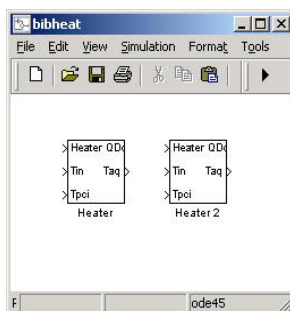


Figura 2. Biblioteca de climatizadores.

3.3 Biblioteca de climas externos

Os blocos da biblioteca climas externos contêm dados climáticos de temperatura e umidade de várias cidades brasileiras, coletados durante o período de um ano. Portanto, a saída desses blocos é composta de sinais de temperatura e umidade. Esta biblioteca é ilustrada pela Figura 3. A temperatura do solo é considerada constante e está incluída nesta biblioteca.

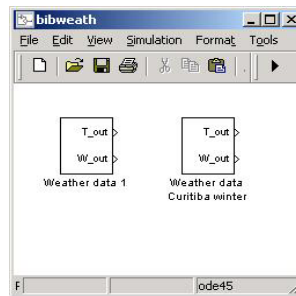


Figura 3. Biblioteca de climas externos

3.4 Biblioteca de controladores

Os blocos da biblioteca controladores contêm as informações a respeito das estratégias de controle utilizadas no ambiente de simulação. No caso dos controladores monovariáveis de temperatura, os sinais de entrada são: a temperatura interna da zona térmica da edificação e o sinal de referência para a temperatura. No caso de controladores multivariáveis, faz-se controle de temperatura e umidade ao mesmo tempo. Um exemplo da biblioteca de controladores é ilustrado pela Figura 4. A implementação da lei de controle é feita usando-se a biblioteca de funções Simulink e/ou programação em Matlab.

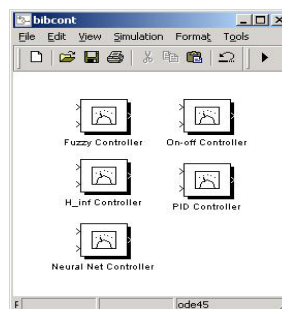


Figura 4. Biblioteca de controladores.

3.5 Biblioteca de sensores

A biblioteca de sensores contém modelos de sensores de temperatura e umidade. Na modelagem do comportamento dos sensores térmicos, a inércia térmica é desprezível. A capacidade térmica faz com que o tempo de resposta destes sensores seja baixo, não alterando significativamente a dinâmica total do sistema.

3.6 Biblioteca de perturbações

Como perturbação, considera-se o ganho interno devido a equipamentos, pessoas e iluminação.

4. CONTROLE AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA E UMIDADE EM EDIFICAÇÕES

No controle de temperatura e umidade, o objetivo maior é o conforto térmico dentro da zona térmica. O conceito de conforto térmico depende de algumas variáveis como temperatura do ar, umidade relativa,

velocidade do ar, taxa de metabolismo dos ocupantes, resistência térmica das roupas, etc. Devido a este conceito tão vasto, não é trivial lidar com todas essas características na modelagem do sistema e, como consequência, no projeto da lei de controle. Porém, às vezes, é possível considerar um subconjunto desses fatores na síntese de leis de controle. A seguir, algumas técnicas de controle implementadas e usadas na busca de soluções para os problemas de conforto térmico serão analisadas, destacando características favoráveis dentro deste contexto.

4.1 Controle Robusto

Nos métodos clássicos de Controle, pressupõe-se o conhecimento de um modelo do sistema a ser controlado suficientemente preciso, ou seja, as incertezas do modelo ou as perturbações imprevistas não são levadas em consideração na modelagem do sistema.

A incerteza que afeta o modelo do sistema pode ter diferentes origens: erros de modelagem, variações paramétricas, incertezas sobre parâmetros devido à precisão, aproximações resultantes da linearização ou eliminação de dinâmicas elevadas. Torna-se então necessário representar esta incerteza de forma adequada, de acordo com sua origem, a fim de obter uma lei de controle que a leve em consideração.

Neste trabalho existe a possibilidade de realizar o controle de temperatura em ambientes, levando-se em consideração, no projeto do controlador, as incertezas dos parâmetros do modelo, como por exemplo, as incertezas nos coeficientes de convecção. Os parâmetros incertos podem estar contidos ou variar (desde que as variações tenham uma dinâmica lenta em relação à do sistema) em intervalos pré-definidos. O objetivo do controle é reduzir as variações da temperatura interna do ambiente, minimizando o efeito das variações da temperatura externa. Assim, simultaneamente, o controle garantirá a robustez do sistema em relação às incertezas e/ou variações dos parâmetros, minimizando, segundo um critério H_2 (Araújo *et al.*, 2001) ou H_∞ (Colaneri *et al.*, 1997), o efeito das perturbações externas.

4.2 Controle Inteligente

O controle inteligente foi desenvolvido para solucionar problemas que não podem ser resolvidos através das abordagens convencionais. Nos métodos de controle inteligente, a representação e manipulação do conhecimento são características essenciais que podem ser usadas na tentativa de minimizar a complexidade e eliminar procedimentos heurísticos no projeto de controladores, proporcionando uma boa resposta em regime transitório e estacionário, para diferentes pontos de operação dos processos.

Os sistemas de controle inteligente têm a habilidade de imitar as capacidades humanas, tais como planejar, aprender e se adaptar. O campo de controle inteligente é multidisciplinar e combina técnicas de teoria de controle, heurística, psicologia e pesquisa operacional. O controle inteligente utiliza diversas ferramentas, incluindo sistemas especialistas, reconhecimento de padrões, inteligência artificial (redes neurais, sistemas nebulosos (*fuzzy systems*), algoritmos evolucionários). Em geral, as ferramentas usadas no controle inteligente dependem da aplicação específica.

Os sistemas nebulosos têm a vantagem de trabalhar bem com dados estruturados e não estruturados (dados de entrada e saída simbólicos e numéricos). O controle nebuloso tem se mostrado efetivo para processos complexos, não-lineares e imprecisos, para os quais o uso de técnicas de controle convencionais baseadas em modelos é impraticável ou impossível (Linkens e Nyongesa, 1996).

Os controladores nebulosos podem ser úteis na obtenção do conforto térmico. As variáveis que influenciam no conforto térmico podem ser classificadas em duas categorias: (i) variáveis dependentes das pessoas, como atividade e resistência térmica das roupas; e (ii) variáveis dependentes do ambiente, como temperatura do ar, radiação, velocidade relativa do ar e umidade do ar. Os controladores nebulosos podem ser usados em edificações no controle da temperatura interna do ar e no controle do consumo de energia, quando a edificação esta sujeita a efeitos indesejados como ventilação externa, variação da temperatura e da umidade externas (Dounis *et al.*, 1995; Kolokotsa *et al.*, 2001).

As redes neurais têm sido usadas em uma grande variedade de aplicações e em conjunto com diferentes técnicas de controle. Também são usadas para reconhecer e prever perturbações, detectar e diagnosticar falhas, executar o controle de qualidade estatístico e para ajustar controladores convencionais como o

PID. A maior vantagem das redes neurais é a habilidade de tratar sistemas dinâmicos com modelos imprecisos ou não-lineares. Para sistemas lineares ou linearizáveis as redes neurais não são adequadas, pois o desempenho computacional deixaria a desejar.

Em muitas aplicações, o desempenho de sistemas convencionais de controle HVAC é insatisfatório devido à inabilidade deste tipo de esquema em lidar com não-linearidades e se adaptar a mudanças de longo prazo no comportamento térmico de edificações. Redes neurais que têm sido aplicadas ao controle de sistemas não-lineares, e atualmente estão encontrando aplicação em sistemas HVAC. (Curtiss *et al.*, 1994; Fargus e Chapman, 1998).

Os algoritmos genéticos, estratégias evolucionárias, programação evolucionária e programação genética são metodologias que se enquadram na categoria de algoritmos evolucionários. Estes tipos de métodos possuem pontos em comum, por exemplo, cada um mantém uma população de soluções experimentais, impõe mudanças randômicas para cada solução, aplica um critério de seleção para estimar a adequação das soluções propostas e determina qual solução será utilizada nas próximas iterações. No contexto de sistemas HVAC, os algoritmos evolucionários são úteis na sintonia de parâmetros de controladores (Huang e Lam, 1997).

4.3 Controle nebuloso modificado para conforto térmico

Geralmente, no campo de conforto térmico, não há necessidade de se manter a temperatura (e/ou umidade) interna em um valor fixo; uma faixa de valores para estas grandezas é suficiente para criar uma situação de conforto. Do ponto de vista econômico, é interessante encontrar uma boa relação entre conforto térmico e custo de energia. Portanto, a redução da demanda de energia (conseqüentemente, o custo) mantendo índices de conforto térmico dentro de uma faixa admissível representa uma meta a ser atingida na escolha de um algoritmo de controle apropriado.

Controladores tipo fuzzy têm sido usados com sucesso em várias aplicações relacionadas com sistemas térmicos, conforme descrito na seção anterior. Neste sentido, o esquema de controle nebuloso proposto em Oliveira *et al.* (2003) caracteriza-se por considerar, explicitamente na lei de controle, uma faixa de valores admissíveis para temperatura interna do ambiente ao invés de um valor fixo. Isso é feito ajustando-se as funções de pertinência do controlador para se adaptar a esta nova situação. Os resultados apresentados mostram a efetividade da estratégia proposta, através da comparação de desempenho com estratégias clássicas de controle.

4.4 Controle adaptativo

As técnicas de controle adaptativo incluem identificação de sistemas e projeto de controle. De uma perspectiva industrial, adaptação pode ser considerada como um conjunto de metodologias que tem como objetivo melhorar o desempenho de um processo. Controladores adaptativos são projetados para acomodar variações do comportamento de processos controlados. Tais controladores podem modificar sua própria estratégia de controle para se adaptar ao novo comportamento do processo. Isto é feito através de controladores auto-ajustáveis, com ganho escalonado e/ou com adaptação contínua.

Nos últimos trinta anos, muitos desenvolvimentos teóricos foram feitos em metodologias do controle adaptativo, mas pouco foi transferido na prática para os sistemas HVAC. Os sistemas HVAC contêm dinâmicas não-lineares e, muitas vezes, variantes no tempo. Neste contexto, técnicas de controle adaptativo são atrativas em aplicações HVAC, pois as características dos processos mudam bastante devido às variações do clima e à ocupação da edificação (Nesler, 1986). Exemplos de métodos de controle adaptativo de sistemas HVAC propostos na literatura são (Georgescu *et al.*, 1994; Wang *et al.*, 1999).

4.5 Controle Preditivo

Os algoritmos de controle do tipo preditivo (Model Based Predictive Controllers - MBPC) são, por definição, baseados na previsão do comportamento do processo a ser controlado. Este tipo de algoritmo consiste em calcular o sinal de controle através da minimização de uma função de custo que considera o desempenho do sistema em um horizonte de tempo futuro, sujeito a restrições operacionais do processo

(Clarke, 1994). Estas restrições expressam limites físicos do sistema, como potência do sistema de aquecimento, temperaturas máximas, etc. O desempenho do sistema em malha fechada depende da escolha apropriada do modelo de previsão e de parâmetros de sintonia presentes na função de custo a ser minimizada. Além destes fatores, controladores preditivos podem ser implementados no contexto de esquemas adaptativos e/ou robustos. Desta forma, incertezas no que diz respeito ao modelo podem ser levadas em consideração. Algumas aplicações de controle preditivo em sistemas térmicos são Ghomari *et al.* (2001), Souza *et al.* (1997) e Dion *et al.* (1991).

5. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação baseada na plataforma computacional do Matlab, dando uma descrição detalhada dos diferentes blocos que fazem parte da estrutura da ferramenta.

Cinco estratégias de controle automático de temperatura e umidade em edificações (controle robusto, controle inteligente, controle nebuloso modificado para conforto térmico, controle adaptativo e controle preditivo) foram apresentadas.

Notou-se através da descrição dos diferentes módulos funcionais que o ambiente computacional apresentado para simulação de sistemas de controle em edificações é de fácil uso e de fácil inserção de novas bibliotecas e modelos matemáticos. Este aspecto é extremamente importante quando se visa o desenvolvimento de uma ferramenta computacional a longo prazo, pois permite a adição de novos modelos e dados provenientes de trabalhos de pesquisa de diferentes grupos afins com o tema de simulação e análise e controle de processos térmicos em edificações. Estes aspectos são exemplificados na parte II deste artigo (Oliveira *et al.*, 2003).

Para trabalhos futuros pretende-se apresentar aperfeiçoamentos desta ferramenta para sistemas centrais de climatização de edificações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Projeto Ref. 551461/2001-2) pelas bolsas concedidas ao grupo de pesquisa e em especial a Srta Luciane Lozano Vergueiro pela dedicação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, H. X. DE; QUEINNEC, I; TARBOURIECH, S. (2001). Robust control of linear uncertain systems subject to state and actuator limitations. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*. Apii Jesa, Paris, France, v. 35, n. 1-2, p. 69-84.
- CLARKE, D. W. (1994). *Advances in Model Based Predictive Control*. Oxford University Press.
- COLANERI, P.; GEROMEL, J. C.; LOCATELLI A. (1997). *Controle theory and design: an RH2 and Rhinf viewpoint*. San Diego: Academic Press.
- CURTISS, P. S.; KREIDER, J. F.; BRANDEMUETHL, M. J. (1994). Local and global control of commercial building HVAC systems using artificial neural networks. *Proceedings of the American Control Conference*, Baltimore, Maryland, pp. 3029-3044
- DION, J.M.; DUGARD, L.; FRANCO, A.; NGUYEN MINH TRI; REY, D. (1991). MIMO Adaptive Constrains Predictive Control Case Study: An Environment Test Chamber. *Automatica*, Vol. 27, pp. 611-626, Great Britain.
- DOUNIS, A. I.; SANTANTAMOURIS, M. J.; LEFAS, C.C.; ARGIRIOU, A. (1995). A design of a fuzzy set environment comfort system. *Energy and Buildings*, vol. 22, pp. 81-87.
- FARGUS, R. S.; CHAPMAN, C. (1998). A commercial PI-neural controller for the control of building services plant. *UKACC International Conference on Control*, Swansea, UK, vol. 2, pp. 1688-1693.

- GEORGESCU, C.; AFSHARI, A.; BORNARD, G. (1994). Optimal adaptive predictive control and fault detection of residential building heating systems. Proceedings of the 3rd Conference on Control Applications, Glasgow, UK, vol. 3, pp. 1601-1606.
- GHOUMARI, M.Y.; MEGIAS, D.; MONTERO, J. I.; SERRANO, J. (2001). Model Predictive Control of a Greenhouse Climatic Processes using on-line Linearisation. Proc. of the ECC, pg 3452-3457.
- HUANG, W.; LAM, H. N. (1997). Using genetic algorithms to optimize controller parameters for HVAC systems. Energy and Buildings, vol. 26, pp. 277-282.
- KOLOKOTSA, D.; TSIAVOS, D.; STRAVARAKAKIS, K.; ANTONIDAKIS, K. (2001). Advanced fuzzy logic controllers design and evaluation for buildings' occupants thermal-visual comfort and indoor air quality satisfaction. Energy and Buildings, vol. 33, pp. 531-543.
- LINKENS, D. A.; NYONGESA, H. O. (1996). Learning systems in intelligent control: an appraisal of fuzzy, neural and genetic algorithm control applications. IEE Proceedings Control Theory and Applications, vol. 143, no. 4, pp. 367-386.
- MENDES, N.; OLIVEIRA, G. H. C.; ARAÚJO, H. X. (2001). Building thermal performance analysis by using matlab/simulink. Proc. of the Building Simulation Conference (IBPSA'01), Vol. 1, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 473-480.
- MENDES, N.; OLIVEIRA, G. H. C.; ARAÚJO, H. X. DE.(2002) The Use of Matlab/Simulink to Evaluate Building Heating Processes. In: 6TH BIENNIAL CONFERENCE ON ENGINEERING SYSTEMS DESIGN AND ANALYSIS (ESDA'02), 2002, Istanbul. Proc. of the 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, v. 1.
- MENDES, N.; OLIVEIRA, R.C.L.F.; SANTOS, G.H. (2003). DOMUS 2.0: A whole-building hygrothermal simulation program. Eighth International Conference on Building Performance Simulation (IBPSA'03), Eindhoven, Netherlands.
- NESLER, C. G. (1986). Adaptive control of thermal processes in buildings. IEEE Control Systems, August, pp. 9-13.
- OLIVEIRA, G. H. C.; ARAÚJO, H. X. de; MENDES, N.; COELHO, L. S.(2003). Ambiente para Simulação de Sistemas de Controle em Edificações - Parte 2: Descrição Matemática do Conjunto Ambiente-Climatizador e Exemplo de Simulação. Anais do VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações (COTEDI).
- OLIVEIRA, G. H. C.; COELHO, L.S.; ARAÚJO, H. X.; MENDES, N. (2003). Using Fuzzy Logic in Heating Control Systems. In: Proc. of 6-TH ASME-JSME THERMAL ENGINEERING JOINT CONFERENCE (AJTEC'03), Hawaii, USA.
- RIEDERER P.; VAEZI-NEJAD, H.; HUSAUNNDEE, A.; BRUYAT, F. (2001). Development and Quality Improvement of HVAC Control Systems in Virtual Laboratories. 7th International IBPSA (International Building Performance Simulation Association) Conference, pp.881-887, Rio de Janeiro, Brazil.
- SOUZA, J.M.; BABUSKA, R.; VERBRUGGEN, H.B. (1997). Fuzzy Predictive Control Applied to an Air Conditioning System. Control Eng. and Practice, vol. 5, no. 10, pp 1395-1406.
- WANG, Q.-G.; HANG, C.-C.; ZHANG, Y.; BI, Q. (1999). Multivariable controller auto-tuning with its application in HVAC systems. Proceedings of the American Control Conference, San Diego, CA, pp. 4353-4357.