



MODELAGEM DO SISTEMA DE CONTROLE DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Emília Villani
Paulo E. Miyagi
Diolino J. Santos Filho
Newton Maruyama
Júlio Arakaki

e-mail: emiliav@usp.br, pemiyagi@usp.br
Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecânica
São Paulo, SP, Brasil

***Resumo.** Este trabalho introduz as Redes de Petri Híbridas e o conceito de sistemas híbridos para a modelagem de sistemas de ar condicionado em edifícios inteligentes, visando a integração com os demais sistemas prediais de modo a possibilitar uma melhor resposta do sistema de ar condicionado a variações da carga térmica e aprimorando, assim, as condições de conforto térmico. Como estudo de caso, apresenta-se a modelagem do sistema de controle do sistema de ar condicionado do Prédio dos Ambulatórios do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.*

***Palavras-chave:** Edifícios inteligentes, Redes de Petri, Sistemas híbridos, Ar condicionado, Conforto térmico*

1. INTRODUÇÃO

O termo "Edifício Inteligente" (EI) foi utilizado inicialmente no final dos anos 70 com conotação comercial e publicitária. Nos anos subsequentes este termo adquiriu uma nova dimensão agregando conceitos de engenharia no que se refere ao projeto, construção e operação de edifícios [Arkin, 1997].

De acordo com [Arkin & Paciuk, 1995], na Europa, o EIBG (European Intelligent Building Group) define um Edifício Inteligente como sendo aquele que "cria um ambiente que permite às empresas alcançarem seus objetivos nos negócios e maximizarem a eficiência de seus ocupantes oferecendo simultaneamente uma manutenção eficiente dos recursos com um mínimo custo e dispêndio de tempo".

Neste contexto, para atingir os objetivos acima propostos um dos elementos essenciais é a garantia de conforto aos usuários, operadores e gerenciadores do edifício. Entre os vários aspectos de conforto, o conforto térmico encontra-se entre aqueles que tem recebido maior atenção pelos profissionais da área. A sua importância é evidenciada pela necessidade do

homem, um animal homeotérmico, manter seu organismo a uma temperatura aproximadamente constante, da ordem de 37°C, dentro de um ambiente que propicie a plena execução de suas tarefas [Jabardo, 1984].

A manutenção da temperatura interna do homem relativamente constante, em ambientes cujas condições termo-higrométricas são as mais variáveis, se faz por intermédio de seu aparelho termorregulador que, apesar de ser um meio natural do organismo de controle de perdas de calor, representa um esforço extra e, por conseguinte, uma queda da potencialidade de trabalho [Frota & Schiffer, 1988]. Em função disto, considera-se que o desempenho de um indivíduo durante qualquer atividade física ou mental pode ser otimizado, desde que o ambiente (neste caso o EI) propicie condições de conforto, sendo este o objetivo principal dos sistemas de controle ambiental [Fanger, 1970; Jabardo, 1984].

As variáveis ambientais que influenciam o conforto térmico são a temperatura do ar, a temperatura de paredes e superfícies, a umidade e a velocidade do ar. Aliado a estes fatores ambientais, o conforto do homem também é influenciado pelo nível de atividade física e pela vestimenta por ele utilizada. Em um edifício, o sistema de ar condicionado é responsável pelo controle das variáveis ambientais, de modo a garantir as condições para conforto térmico.

No edifício tradicional, o sistema de ar condicionado opera independentemente de outros sistemas, como o de iluminação, de controle de acesso, etc. Entretanto, considerando edifícios inteligentes, um Sistema de Gerenciamento do Edifício (*Building Management System - BMS*) permite a integração dos diversos subsistemas e o acesso às informações relativas a fatores diretamente ligados à produção de calor¹. Através da utilização e processamento destas informações, ou seja, através da identificação, qualificação e quantificação da interação entre os diversos sistemas do edifício que influenciam o conforto térmico, pode-se, por exemplo, determinar qual a melhor atitude a ser tomada em relação ao sistema de ar condicionado.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo para o tratamento de perturbações resultantes de variações da carga térmica através da integração do sistema de ar condicionado com outros sistemas do edifício.

Inicialmente, apresenta-se a abordagem híbrida utilizada para atingir o objetivo acima proposto, através da qual é possível considerar-se os aspectos contínuos e discretos do sistema de ar condicionado. A ferramenta considerada é a rede de Petri, que vem confirmando sua efetividade na modelagem de sistemas complexos.

Em seguida, apresenta-se, como estudo de caso, o sistema de ar condicionado do Prédio dos Ambulatórios do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, para o qual desenvolveu-se modelos do sistema de ar condicionado e de seu sistema de controle, analisou-se as condições que possam gerar perturbações e, através da integração com outros sistemas do edifício, estudou-se a interferência no sistema de controle de modo a garantir um comportamento dinâmico mais eficaz² em termos de conforto térmico do ambiente.

2. ABORDAGEM HÍBRIDA

2.1. Sistemas híbridos

Os sistemas podem ser classificados de acordo com diversos critérios [Blanchard & Wolter, 81] e uma possível dicotomia é a divisão dos sistemas em Sistemas de Variáveis Contínuas e Sistemas a Eventos Discretos (SED), [Ho, 1989; Miyagi, 1996].

O principal atributo dos Sistemas a Variáveis Contínuas (SVC) é a continuidade no tempo e uma das principais ferramentas utilizada na modelagem e controle deste tipo de

¹ Exemplos: número de ocupantes, número de máquinas em funcionamento, etc.

² Definição de eficácia: obtenção do melhor resultado através do melhor método [Donabedian, 1990].

sistemas são as equações diferenciais [Ho, 1989]. Por sua vez, os Sistemas a Eventos Discretos (SED) têm como principal característica a sua dinâmica de eventos, ou seja, a modificação do seu estado é função da ocorrência de eventos discretos, como início do funcionamento de uma máquina, entrada de uma pessoa, quebra de um equipamento, etc.

Dentro desta mesma classificação foram definidos também os sistemas híbridos, onde coexistem simultaneamente características de SVC e de SED. Existem diferentes definições do que vem a ser um sistema híbrido, que caracterizam o sistema de acordo com a interação entre a parte contínua e a parte cuja evolução no tempo é dirigida por eventos discretos. Alguns exemplos podem ser encontrados em [Stiver, Antsaklis & Lemmon, 1995], [Gotesman & Benitez, 1996], [Wieting, 1996], [Alla & David, 1998], [Antsaklis & Nerode, 1998] e [Champagnat, et al, 1998].

No presente trabalho, considera-se como sistema híbrido aquele onde é necessário a observação do sistema de um ponto de vista contínuo, considerando a sua evolução em função do tempo, e, simultaneamente, é também necessário considerar a interferência resultante de eventos discretos, que introduzem modificações discretas na evolução contínua do sistema.

2.2. Redes de Petri Híbridas

Existem inúmeras abordagens para a modelagem, análise e controle de sistemas híbridos. Genericamente, as abordagens diferem entre si no que se refere à complexidade da parte contínua e discreta e à finalidade do modelo, se para simulação, análise ou controle [Antsaklis & Nerode, 1998]. Algumas abordagens consistem em extensões de modelos contínuos, descritos por equações diferenciais ordinárias nas quais são incluídas variáveis cujo valor pode ser modificado de forma descontínua no tempo. Um exemplo pode ser encontrado em [Drath, 1997]. Outras abordagens consistem na modificação de técnicas de modelagem utilizadas em sistemas a eventos discretos, onde são introduzidos novos elementos que permitem a representação da dinâmica contínua do sistema. Um exemplo são as Redes de Petri Híbridas [Antsaklis & Nerode, 1998].

Diversos modelos para Redes de Petri Híbridas foram desenvolvidos, como por exemplo [Wieting, 1996], [Alla & David, 1998] e [Champagnat et al, 1998]. Estes modelos trabalham com regras básicas semelhantes, isto é, com a introdução de “lugares” onde a marcação é representada por números reais, e de “transições” cujo disparo é um processo contínuo no tempo.

A Rede de Petri Híbrida, na qual o presente trabalho é baseado, foi proposta em [Drath, 1998] e é composta pelos seguintes elementos estruturais (Tabela 1):

Elementos Discretos

- *Lugares discretos*: representam estados.
- *Transições discretas*: representam eventos.
- *Marcas*: a marcação de um lugar é um número inteiro positivo.

Elementos Contínuos

- *Lugares Contínuos*: tem seu estado variando continuamente no tempo.
- *Transições Contínuas*: no lugar de um disparo discreto, a sua ação é um fluxo contínuo definido por uma taxa de disparo.
- *Marcas*: a marcação dos estados contínuos é representada por números reais.

Arcos

- *Arcos Orientados (de lugares para transições e vice-versa)*: no disparo da transição alteram a marcação do lugar.
- *Arcos Inibidores (de lugares para transições)*: inibem o disparo da transição na não existência de marcas no lugar.

- *Arcos Habilitadores (de lugares para transições)*: habilitam o disparo da transição na existência de marcas no lugar.

Tabela 1 – Elementos da Rede de Petri Híbrida.

<i>Elementos Discretos</i>		<i>Elementos Contínuos</i>		<i>Arcos</i>	
Lugar Discreto	○	Lugar Contínuo	⊙	Arco normal	→
				Arco habilitador	→●
Transição Discreta	■	Transição Contínua	□	Arco inibidor	→○

Disparo das transições contínuas

Transições contínuas são habilitadas ou inibidas por arcos habilitadores e inibidores. A cada transição contínua é associada uma taxa de disparo que é função da marcação em outros lugares. A Figura 1 apresenta um exemplo da evolução da marcação dos lugares contínuos $P1$, $P2$ e $P3$ ao longo do tempo, t , pelas transições $T1$ e $T2$, com taxas de disparo f_{T1} e f_{T2} , respectivamente.

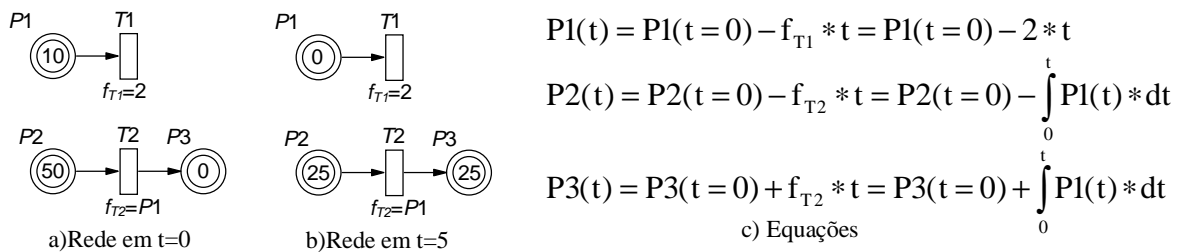


Figura 1 – Exemplo da evolução de uma Rede de Petri Híbrida.

Introdução de regras adicionais para habilitação de transição

Baseando-se no E-MFG [Santos Filho, 1993], foram introduzidas regras adicionais (RA) para habilitação de transições contínuas, de modo a possibilitar a comparação em função da marcação de diversos lugares. Estas regras são inscrições nas transições contínuas do tipo “*SE (exp1 >, < ou = exp2) ENTÃO transição está habilitada*”, onde $exp1$ e $exp2$ são expressões que têm como parâmetros a marcação de lugares da rede. Um exemplo é apresentado na Figura 2, onde na transição $T2$ foi adicionada a regra de disparo RA: $P1 \leq 6$, que habilita esta transição somente após $t=2$.

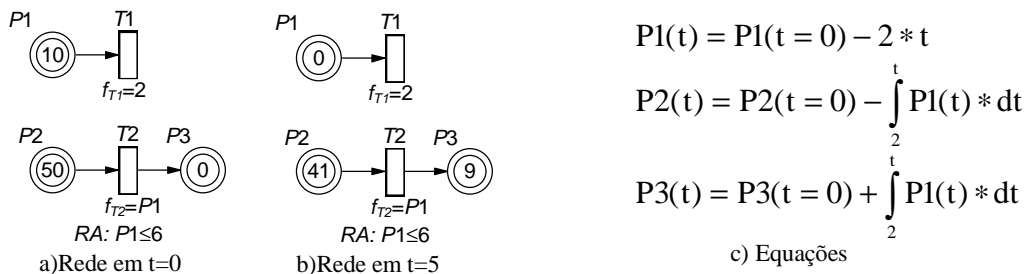


Figura 2 – Exemplo de uma restrição adicional para disparo.

2.3. Sistema de Ar Condicionado

Dentro da abordagem apresentada no item 2.1, o sistema de ar condicionado tradicional tem sido caracterizado como tipicamente contínuo, pois o processo de condicionamento do ar

envolve o controle de variáveis como a temperatura, que tem a propriedade de variação contínua segundo leis físicas, como a de conservação de energia. A modificação do estado do sistema é, portanto, realizada continuamente em função do tempo.

Analogamente, o sistema de controle do ar condicionado tradicional também é contínuo, sendo comumente adotadas estratégias de controle automático realimentado do tipo proporcional (P), proporcional-integral (PI) e proporcional-integral-derivativo (PID).

Quando tratamos do sistema de ar condicionado no contexto de edifícios inteligentes, torna-se imprescindível a interação com os demais sistemas do edifício, que apresentam características predominantemente discretas, como por exemplo: sistema de controle de acesso, sistema de iluminação, etc., o que implica em interpretar-se o sistema como também dirigido a eventos discretos. A ocorrência de eventos discretos gera, portanto, intervenções no sistema de controle contínuo do ar condicionado.

O sistema resultante apresenta características contínuas e discretas simultaneamente, interagindo entre si. A parte discreta do sistema é fundamental na modelagem da influência dos eventos discretos. Por outro lado, a parte contínua é intrínseca ao sistema de controle do ar condicionado. Nestes termos, o sistema deve ser representado como um sistema híbrido. A Figura 3 ilustra o que foi apresentado.

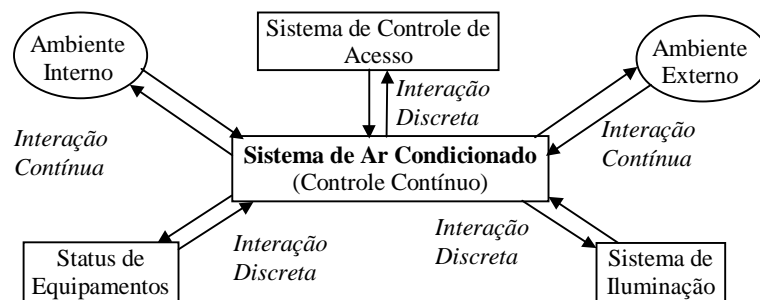


Figura 3 – Concepção híbrida de um sistema de ar condicionado de um EI.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado refere-se ao Prédio dos Ambulatórios (PAMB) do Hospital das Clínicas, da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC – FMUSP). O PAMB tem aproximadamente 100.000m² de área construída, 10 andares (e 7 pisos intermediários entre andares) e inclui ambulatórios, centro cirúrgico, farmácia industrial, entre outras instalações, por onde circulam em média cerca de 2.300 pessoas por dia.

Atualmente, seu sistema de controle de ar condicionado vem atuando de forma pouco eficaz, devido à ausência de um sistema de controle que interaja com os demais sistemas do edifício. A proposta de uma solução para este problema baseia-se fundamentalmente em desenvolver módulos que controlem eficazmente cada um destes sistemas e que possibilitem a interação dos diversos sistemas entre si. Baseado nestas hipótese, o que se pretende é inserir a tecnologia de EI no PAMB.

Funcionalmente, seu sistema de ar condicionado pode ser dividido em três circuitos: o circuito de água gelada, o circuito de água quente e o circuito de condicionamento do ar (Figura 4). A produção de água gelada é realizada por 4 resfriadores (*chillers*). 8 torres de resfriamento são responsáveis pelo resfriamento da água de arrefecimento dos resfriadores. A água quente é produzida em 2 aquecedores. O condicionamento do ar é realizado em diversas unidades de condicionamento (*fan-coils*) de diferentes capacidades, onde a vazão de ar a ser fornecida aos ambientes escoia através de serpentinas de resfriamento e aquecimento para a troca de calor. O controle da temperatura nos ambientes é realizado através da modificação da posição de registros (*dampers*) que variam a vazão de ar insuflado.

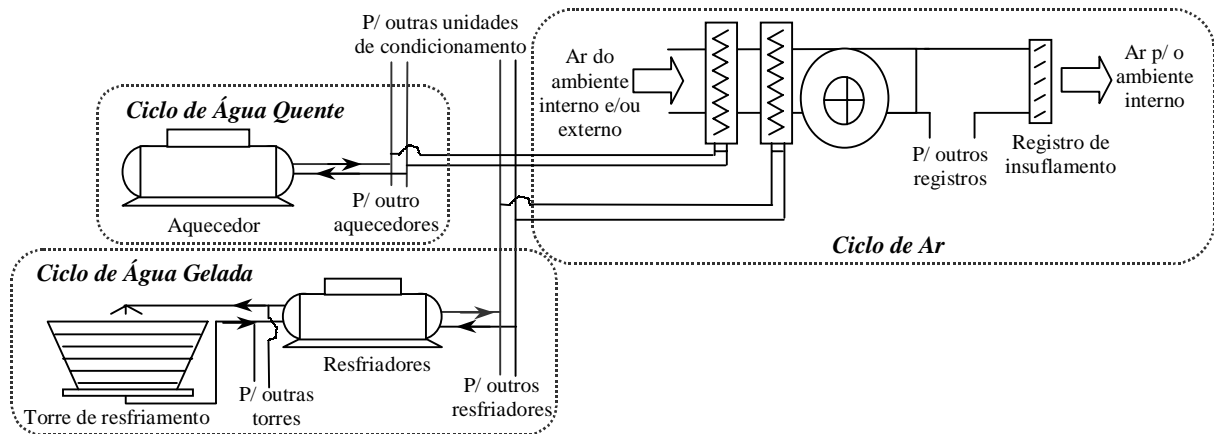


Figura 4 – Esquema do sistema de ar condicionado do PAMB.

3.1. Modelagem do Sistema de Ar Condicionado

Através de Redes de Petri Híbridas, modela-se o estado do fluxo de água quente, de água fria e de ar nos diversos pontos de interesse do sistema.

Como exemplo, apresenta-se aqui a modelagem de um registro de insuflamento de ar. Considerando que a pressão no duto é constante e igual a um determinado valor estabelecido em projeto, a vazão de ar enviada a um ambiente é diretamente proporcional à posição do registro, que varia entre 0 (totalmente fechado) e 1 (totalmente aberto), obedecendo a equação abaixo:

$$v_a = P * v_T, \quad (1)$$

onde v_a = vazão em massa de ar,

P = posição do registro, que pode variar de 0 a 1,

v_T = vazão de ar para o registro totalmente aberto.

No entanto, quando da abertura ou fechamento do registro, ocorre um desbalanceamento da pressão no duto que é detectado por um sensor de pressão, o qual envia o sinal para um sistema de controle local que ajusta a velocidade do ventilador. Este processo caracteriza uma resposta não instantânea da vazão a variação da posição do registro. Para representar o procedimento acima descrito foi associada à vazão uma velocidade de variação em função do tempo, correspondente a seguinte expressão:

$$\dot{v}_a = \frac{dv_a}{dt} = w_a, \quad (2)$$

onde w_a = velocidade relacionada ao tempo de estabilização da pressão no duto.

O sistema de controle do ar condicionado do PAMB é dividido em diversos subsistemas que adotam estratégias de controle realimentado do tipo P e PI, na sua grande maioria. Para o caso do registro de insuflamento, o controle de sua posição em função da temperatura no ambiente é do tipo PI e pode ser representado pela seguinte equação:

$$P = K_E + K_P * \Delta T_{AMB} + \int (K_I * \Delta T_{AMB}) dt, \quad (3)$$

onde K_E , K_P e K_I = parâmetros do sistema de controle para serpentina de resfriamento,
 ΔT_{AMB} = desvio entre a temperatura medida no ambiente e a temperatura desejada,
 P = sinal de controle correspondente a posição da válvula,

Uma vez definidas as equações que regem este elemento e seu controle, desenvolveu-se o modelo utilizando a Rede de Petri Híbrida proposta. Nesta rede, apresentada na Figura 5, utiliza-se a Equação 1 como regra adicional (RA) de disparo para habilitação das transições responsáveis pelo aumento e diminuição da vazão de ar. Nesta RA substitui-se a expressão de P fornecida pela Equação 3.

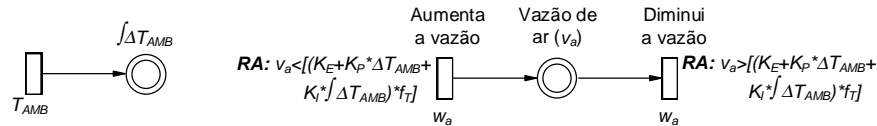


Figura 5 - Exemplo de modelagem – registro de insuflamento.

Observa-se aqui que não foi explicitada na rede a modificação da variável T_{AMB} , pois esta é realizada em função das diversas cargas térmicas atuantes no ambiente, e a sua modelagem, ao menos nesta etapa, foge ao escopo do trabalho.

Os procedimentos apresentados e exemplificados em 3.1 foram aplicados para todos os equipamentos do sistema de ar condicionado do PAMB, obtendo-se assim um modelo geral do sistema de ar condicionado e seu sistema de controle.

4. INTEGRAÇÃO COM OUTROS SISTEMAS

Uma vez modelado o sistema de ar condicionado e seu sistema de controle, estuda-se sua integração com os demais sistemas do edifício.

O controle do sistema de ar condicionado é dividido em diversos subsistemas locais. A este controle local, se sobrepõe um sistema de gerenciamento do ar condicionado, responsável pela integração dos diversos subsistemas de controle local. No sistema de gerenciamento também são processadas as informações de eventos discretos ocorridos em outros sistemas, como de iluminação, de fluxo de pessoas, etc., para intervenções nos subsistemas de controle local do ar condicionado [Honeywell, 1995]. Este nível não existe atualmente no PAMB, mas é um dos objetivos do presente trabalho, no sentido de avaliar a viabilidade de transformar o PAMB em um edifício inteligente.

O nível mais elevado de controle, correspondente ao sistema responsável pelo gerenciamento de todo o edifício, é o BMS (*Building Management System*). Este sistema tem poder de atuar em todos os sistemas integrados do edifício, operando segundo estratégias de controle que envolvam diversos sistemas, como por exemplo minimização do consumo de energia. O presente trabalho não abrange a modelagem deste nível, considerando apenas o fornecimento de dados ao sistema de gerenciamento do ar condicionado.

4.1. Variações da Carga Térmica

As variações de carga térmica consideradas no presente estudo são aquelas que podem ser tratadas como eventos discretos, pois o tempo da ocorrência da perturbação é desprezível em relação a duração do estado do sistema depois da ocorrência da perturbação. Ou seja, a duração do evento “ligando computador”, “acendendo luzes” ou “pessoas entrando”, geralmente, é muito inferior à duração dos estados “computador funcionando”, “luzes acesas” ou “pessoas dentro da sala”.

Para carga térmica resultante da ocupação ou do acionamento de equipamentos adota-se valores médios obtidos experimentalmente. Alguns exemplos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Produção de calor em Watts [ASHRAE, 1997].

Atividades	Sentado, trabalho leve	132W
	Sentado, trabalho moderado	140W
	em pé, trabalho leve, caminhando	160W
Equipamentos	Microcomputador	528W
	Incubadora	1130W
	Esterilizador	2370W

Para a carga térmica produzida pela iluminação, deve-se considerar que apenas uma fração da energia liberada se dá na forma convectiva, do que resulta um aumento imediato da temperatura do ambiente. Esta fração é fornecida por:

$$Q_{il} = W * F_{sa}, \quad (4)$$

onde Q_{il} = carga térmica dissipada por luminárias (Watts),
 W = potência (Watts),
 F_{sa} = fator de ajuste.

Os valores do fator de ajuste também podem ser encontrados em [ASHRAE, 1997].

4.2. Interferência no Sistema de Controle da Temperatura no Ambiente Interno

Um dos objetivos da interferência no sistema de controle do ar condicionado é a redução do tempo de resposta, isto é, o tempo entre a introdução de um distúrbio e o momento no qual o sistema de controle começa a responder a este distúrbio.

O atraso no controle de sistemas de ar condicionado ocorre porque uma modificação na variável de controle (ex.: temperatura do ambiente) não gera uma alteração instantânea das variáveis envolvidas. Ao se introduzir uma nova “fonte de calor”, esta aquece inicialmente o ar ao seu redor. Em seguida este calor é transmitido ao restante do ambiente, até atingir o sensor. Finalmente, tem-se, também, o atraso do próprio sensor, que demora um certo tempo para alterar suas propriedades e transmitir a informação para o sistema de controle. Somando-se a este retardamento, tem-se o tempo de resposta do sistema, ou seja o tempo necessário para que o sistema retire efetivamente o calor adicional introduzido e para que o ar devidamente resfriado seja dispersado pelo ambiente.

Para reduzir o efeito e a intensidade da perturbação causada pela introdução de uma nova carga térmica no sistema, atua-se no sistema de controle de ar condicionado quando esta introdução é sinalizada e/ou prevista por outros sistemas. Assim, eventos como a entrada de pessoas, o acionamento de equipamentos, etc., devem ocasionar uma modificação no sistema de ar condicionado que possibilite o início da retirada da carga térmica por eles produzida.

No caso do sistema de ar condicionado do PAMB, esta modificação pode ser realizada nos registros de insuflamento. Através da determinação da carga térmica a ser retirada ou adicionada, atua-se no registro de forma que a variação na vazão de ar compense esta carga térmica.

A relação entre uma variação na posição do registro e a variação correspondente de carga térmica é apresentada na Equação (5). Observa-se que a entalpia do ar foi considerada constante, pois a temperatura de insuflamento do ar é mantida constante.

$$\Delta v_a = \frac{\Delta Q}{\Delta h_a * \rho} \Rightarrow \Delta P = \frac{\Delta v_a}{f_T} = \frac{\Delta Q}{\Delta h_a * \rho * f_T}, \quad (5)$$

onde ΔQ = carga térmica correspondente à perturbação introduzida no ambiente (kJ/s),
 Δv_a = vazão adicional necessário para anular ΔQ (m³/s),
 ΔP = variação na posição da válvula correspondente a Δf_a ,
 Δh_a = diferença entre entalpia do ar insuflado e entalpia do ar no ambiente (kJ/kg),
 ρ = densidade do ar (kg/m³),

Na Figura 6 apresenta-se a Rede de Petri correspondente à intervenção na posição do registro. As intervenções são geradas por transições discretas. Observa-se que a interferência realiza-se através da somatória de uma nova parcela ao sinal de controle da posição do registro.

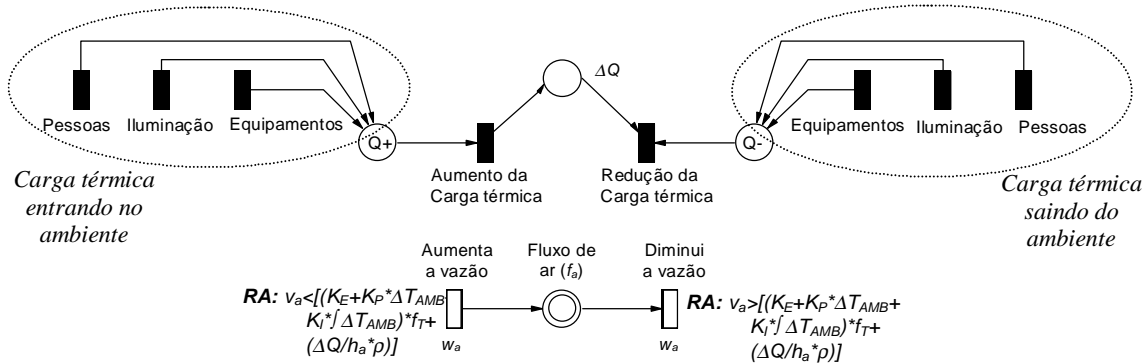


Figura 6 - Intervenção no sistema de controle do registro de insuflamento.

5. CONCLUSÕES

Evidentemente, devido a natureza e limitações do presente texto, não foram apresentados todos os modelos desenvolvidos.

Em relação à abordagem híbrida utilizada, constatou-se que é uma possível alternativa na representação do sistema de ar condicionado em EI. No entanto, ressalta-se que a rede de Petri Híbrida utilizada, se, por um lado, apresenta maior flexibilidade devido a associação de funções às transições, também torna não explícita esta relação, comprometendo a facilidade de análise, legibilidade e interpretação das relações entre os elementos.

O presente trabalho envolve estudos no sentido de aprimorar a eficácia dos sistemas de ar condicionado no que se refere ao conforto térmico, procurando minimizar os efeitos de perturbações no sistema causadas pela ocorrência de eventos, baseando-se na implementação de uma estratégia de controle de caráter preditivo. A validação dos modelos desenvolvidos foi realizada principalmente através de técnicas de simulação.

Paralelamente a este trabalho estão sendo desenvolvidos também modelos referentes a outros sistemas do PAMB, como o sistema de controle de acesso, o sistema de elevadores, o sistema de movimentação de pessoas e de recursos e o sistema de gerenciamento global do edifício, que deverão ser todos devidamente integrados.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Grupo de Administração dos Sistemas de Saúde da FSP-USP e a Superintendência do HC-FMUSP, que auxiliam no desenvolvimento desta pesquisa. Agradecemos também o apoio das seguintes entidades: FAPESP, CYTED, CNPq e CAPES .

REFERÊNCIAS

ALLA, H. & DAVID, R (1998) "Continuous and Hybrid Petri Nets" Journal of Circuits, Systems and Computers, vol.8, n.1

- ANTSAKLIS, P. J. & NERODE, A. (1998) "Hybrid Control Systems: An Introductory Discussion to the Special Issue" IEEE Transactions on Automatic Control, vol 43, n.4, pp 457-459.
- ARKIN, H. (1997) "Introduction of special issue of intelligent buildings"; In: *Automation in Construction*, pp 379-381, vol. 6 n.5,6 1997.
- ARKIN, H. & PACIUK, M.(1995) "Service Systems Integration in Intelligent Buildings "; In: *Proceedings of IB/IC Intelligent Buildings Congress*", pp 19-30, Telaviv.
- ASHRAE. (1997) *Ashrae Handbook of Fundamentals*. Ashrae, New York.
- BLANCHARD, B.S. & WOLTER, J. F. (1981). *Systems Engineering and Analysis* Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- CHAMPAGNAT, R. ET ALL (1998). "Petri Net Based Modeling of Hybrid Systems". *Computers in Industry*, vol. 36, n.1-2, pp 139-146.
- DRATH, R. (1997). "A Mathematical Approach to Describing a Class of Hybrid Systems". *IEEE Workshop on Parallel and Distributed Real Time Systems*, Genf.
- DRATH, R. (1998). "Hybrid Object Nets: An Object Oriented Concept for Modelling Complex Hybrid Systems" *ADMP'98 3rd International Conference on Automation of Mixed Processes*, Reims, France.
- DONABEDIAN A. (1990) "The seven pillars of quality". *Archives of pathology and laboratory medicine*, n.114, pp.1115-8.
- FANGER, P. O. (1970) *Thermal Comfort*. McGraw-Hill, New York.
- FROTA, A. B.& SCHIFFER, S. R. (1988) *Manual de Conforto Térmico*; Nobel, São Paulo, SP.
- GOTESMAN, M. & BENITEZ, N. L. (1996). "Petri Net-Based Modeling of Hybrid Dynamic Systems" *Annual Allerton Conference on Communication, Control and Computing'96*, USA.
- HO, Y.C. (1989) "Scanning the issue - Dynamics of discrete event systems". *Proceedings of IEEE*, vol.77, n.1, pp.3-6.
- HONEYWELL. (1995) *Engineering Manual of Automatic Control – HVAC*. Honeywell, Minnesota, USA.
- JABARDO, J.M.S. (1984) *Conforto Térmico das Habitações*; Eternit/IPT, São Paulo, SP.
- MIYAGI, P.E. (1996) *Controle Programável - Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos*, Edgar Blücher, São Paulo, SP.
- SANTOS FILHO, D.J. (1993) *Proposta do Mark Flow Graph Estendido para a Modelagem e Controle de Sistemas Integrados de Manufatura*. Dissertação de Mestrado, Escola Politecnica da Universidade de São Paulo
- STIVER, J. A., ANTSAKLIS, D. A. & LEMMON, M. D. (1995) "Interface and Controller Design for Hybrid Control Systems" *Lecture Notes in Computer Science 999, Hybrid Systems II*, Springer.
- WIETING, R. (1996) "Modelling and Simulation of Hybrid Systems Using Hybrid High-Level Nets" *Proceedings of the 8th European Simulation Symposium*, Genova, Italy.

Modelling of Thermal Comfort Control System in Intelligent Buildings

Abstract. *In this paper, hybrid systems and Hybrid Petri Nets are introduced for modelling of HVAC systems (Heating, Ventilation and Air Conditioning) of Intelligent Buildings. In this context, it is claimed that integration with other building systems can be achieved in a more systematic way. Particularly, in the case study, which is presented here, it is shown that using this approach, the response of the HVAC system to thermal load variations can be enhanced, improving the thermal comfort. The models of the case study are based on the Ambulatory Building of the Hospital of the Medical School of University of São Paulo.*

Key words: *Intelligent Buildings, Petri Nets, Hybrid Systems, HVAC systems, Thermal Comfort*