

AUTÔMATOS HÍBRIDOS: MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS DE TRANSFERÊNCIA E DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

ROBSON A.C ALVO, C LEVERSON M.C ORREIAE SILVA, RICARDO J.M ARTINCOSKI,
F LÁVIO NEVES JR., LUCIA V.R.A ARRUDA

LASCA, CPGEI, CEFET -PR

Av. Sete de Setembro, 316 5, CEP 80230 -901 Curitiba, PR Brasil

Tel.: +5541310 -4707 -Fax.: +5541310 -4683

E-mails: {racalvo, clever, rjmartin, neves, arruda}@cpgei.cefep.br

Resumo: O objetivo deste artigo é aplicar técnicas de especificação formal na modelagem de sistemas de transferência e distribuição de gás natural. Neste caso, os modelos formais caracterizam a separação de componentes existentes na rede em modelos representados por autômatos híbridos independentes. A dinâmica global é obtida através do autômato híbrido produto. A partir do autômato híbrido, são obtidas linguagens que representam os estados desejáveis do sistema, permitindo assim, estabelecer um procedimento de controle híbrido. Para a modelagem e simulação é utilizada a ferramenta computacional SHIFT.

Abstract: The objective of this article is to apply techniques of formal specification in transfers systems modeling and natural gas distribution. In this case the formal models are characterized by using hybrid automata. Initially the existent components in the net are modeled and represented by independent hybrid automata. The global dynamics is obtained through the product hybrid automata. Languages representing the desirable states of the system are obtained from the hybrid automata, allowing a hybrid control procedure. An automatic tool as SHIFT must be used to modeling and simulation.

Keywords: Hybrid Automata, Hybrid System, Natural Gas Distribution.

1 Introdução

A utilização de especificações formais no processo de desenvolvimento, análise e controle de sistemas torna-se indispensável no meio computacional e industrial, principalmente em sistemas que envolvem aplicações críticas, como nos casos de sistemas de transferência e distribuição de gás natural. Sistemas críticos englobam sistemas reativos de tempo real, onde uma falha de operação pode causar enormes prejuízos ou danos irreparáveis. A modelagem de sistemas, utilizando-se especificações formais ou através de um modelo matemático, possui características interessantes quando aplicada à análise de sistemas críticos. Um exemplo seria a previsão da dinâmica através da simulação do comportamento do modelo. A partir de uma dada entrada no modelo do sistema obtém-se uma saída, possibilitando a análise das consequências da entrada e validando ou não sua aplicação no sistema real.

A aplicação tratada neste artigo caracteriza-se por ser um sistema híbrido, com componentes discretos e contínuos (Puri, 1995; Ramadge e Wonham, 1989). As características híbridas associadas à dinâmica inerente aos sistemas impõem a necessidade de acompanhamento da evolução do comportamento do sistema em operação ao longo do tempo. Para tanto, torna-se imperativo dispor de modelos matemáticos que sejam capazes de retratar essa evolução do comportamento, combinando as abordagens contínuas e discretas. Isso implica manipular de forma integrada, sistemas algébricos diferenciais (aspecto contínuo) e autômatos de estados finitos (aspecto discreto). Esse formalismo

estende a noção de autômatos finitos, agregando-se aos estados, equações que determinam a dinâmica do sistema e associando as transições, entre estados, mudanças no perfil dinâmico.

A abstração do sistema é realizada modelando-se cada componente existente no sistema como um autômato independente, sendo que o comportamento global do sistema é obtido através do autômato produto destes componentes, ou do compartilhamento de variáveis. Tal metodologia possibilita a análise e formalização de diferentes sistemas de transferência e distribuição de gás natural.

Os estudos relacionados à confiabilidade em sistemas de transferência e distribuição de gás natural tratam a necessidade de desenvolvimento de metodologias que possibilitem a ordenação das atividades do projetista de rede de gás, bem como a respectiva aplicação de conceitos e metodologias a fim de aumentar o aumento de confiabilidade (Puri, 1995). Dessa forma, a metodologia resultante destes estudos contribui com uma ferramenta de análise e simulação da dinâmica de sistemas, tornando-os mais confiáveis.

2 Autômatos Híbridos

O autômato híbrido pode ser considerado como um modelo formal para sistemas híbridos, os quais se caracterizam por serem sistemas dinâmicos que apresentam comportamento contínuo e discreto. A componente contínua é modelada por vértices de um grafo (modos de operação), associada a uma equação diferencial que representa a dinâmica dentro do modo. A componente discreta é modelada através de arestas (transições) ligando os modos de operação.

Ataisarestas, é associado um conjunto de condições de segurança que forçam a transição entre dois modos de operação, mudando assim o perfil dinâmico do sistema.

Definição [Autômato Híbrido] (Henzinger, 1996; Ho e Wong -Toi, 1995; Moura e Bonifácio, 1999)

Um *autômato híbrido* H é uma tupla $H = (X, V, flow, init, inv, E, jump, \Sigma, syn)$, formado pelos seguintes componentes:

Variáveis (X). Um conjunto finito $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ de variáveis. O número n é chamado dimensão de H . Denota-se $\dot{X} = \{\dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n\}$, conjunto das derivadas primeiras dos elementos de X .

Modos de Operação (V). Um conjunto finito V de modos de operação.

Condições de Atividade Contínua ($flow$). Para todo modo $v \in V$, $flow(v)$ é um predicado sobre o conjunto de variáveis $X \cup \dot{X}$, onde $\dot{X} = \{\dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n\}$.

A variável \dot{x}_i , para $1 \leq i \leq n$, é derivada primeira x_i de uma relação ao tempo, ou seja $\dot{x}_i = dx_i / dt$. Enquanto o modo de operação de H é v , as variáveis em X evoluem de acordo com uma curva diferencial em que os valores das variáveis reais e suas derivadas primeiras satisfazem a condição de atividade contínua $flow(v)$.

Condições Invariantes (inv). Para todo $v \in V$, $inv(v)$ é um predicado sobre as variáveis em X . Enquanto o modo de operação do autômato é v , as variáveis em X devem satisfazer a condição invariante $inv(v)$.

Condições Iniciais ($init$). Para todo modo $v \in V$, $init(v)$ é um predicado sobre as variáveis em X . O autômato H pode começar no modo v quando a condição inicial $init(v)$ é verdadeira.

Chaves de Controle ou Transições (E). É formado por um multi-conjunto E de arestas (v, v') , onde $v, v' \in V$ são modos de operação. A transição $e \in E$ é uma mudança de v para v' .

Condições de Mudança de Fase ($jump$). É dada pelo componente $jump$. Para toda transição $e \in E$, $jump(e)$ é um predicado sobre as variáveis em $X \cup X'$, onde $X' = \{x'_1, \dots, x'_n\}$. O símbolo primitivo x_i , para $1 \leq i \leq n$, refere-se ao valor da variável x_i antes da mudança de modo de operação, e o símbolo derivado x'_i , refere-se ao valor atribuído à variável x_i após a mudança de modo de operação. Desta forma, a condição $jump$ relaciona o valor das variáveis reais antes da mudança de modo de operação com os possíveis valores dessas variáveis após a mudança de modo de operação.

Eventos ou Mensagens de Sincronização (Σ). É um conjunto Σ de eventos, junto com uma função syn que associa um evento de Σ a cada transição $e \in E$. Os eventos permitem a sincronização entre autômatos híbridos distribuídos.

2.1 Autômato Produto e Variáveis Compartilhadas

Um sistema distribuído normalmente é formado por vários componentes operando concorrentemente e comunicando-se uns com os outros. O sincronismo do sistema global é capturado de duas maneiras: (i) forçando que as transições ocorram no mesmo evento, e (ii) usando variáveis compartilhadas. Para se impor o sincronismo do tipo (i), calcula-se inicialmente o autômato produto dos autômatos distribuídos que fazem parte do sistema. Aquelas transições, nos autômatos participantes, às quais está associado o mesmo evento, correspondem a uma única transição, simultânea, no autômato produto.

3 Problemática e Metodologia de Modelagem

O sistema de *transporte* é composto basicamente por gasodutos, sistemas de compressão, redução de pressão, medição, supervisão e controle, que objetiva colocar o gás natural à disposição das companhias distribuidoras e/ou usuários finais em todos os pontos de entrega. Nestes pontos existem os chamados "City-Gates", que são estações de controle e limitação de pressão com medição de consumo e que servem como limitadores de áreas, visto que a partir deste ponto inicia-se a rede de distribuição de gás, cuja responsabilidade pertence integralmente à companhia distribuidora. Os principais componentes da rede de *distribuição* são: válvulas, lançadores/recebedores de "Pig", EMRP – Estação de Medição e Regulagem de Pressão. Por sua vez, uma EMRP é composta por um conjunto de componentes menores: filtro, válvula reguladora de pressão, válvula de alívio de pressão, válvula de retenção e estação de medição. Este sistema apresenta uma complexidade considerável, e a obtenção de um modelo completo é uma tarefa de difícil realização. Assim, faz-se necessária a modelagem dos componentes individualmente para posterior obtenção da dinâmica completada do sistema.

Do exposto acima, o sistema de distribuição de gás é formado pela junção de vários componentes (como válvulas, dutos, compressores, etc) que possuem um conjunto de características a serem analisadas e modeladas. A identificação destes componentes é de fundamental importância para a qualidade do modelo, pois um modelo qualitativo preserva as características chave suprimindo as características secundárias (Calvo e Gimenes, 1999), representando fielmente as características relevantes dos componentes. O modelo global (que representa a dinâmica global) do sistema é obtido pela junção dos modelos dos componentes identificados.

Para que o modelo global represente de forma segura o sistema de transferência e distribuição de gás natural, os componentes devem ser modelados com muito cuidado, observando-se quais são os atributos relevantes à análise em questão, bem como o equacionamento correto para a representação da dinâmica contínua do componente. Neste trabalho, o

modelo formal de representação para cada componente é um autômato híbrido, que possibilita a representação das características contínuas e discretas.

3.1 Ferramenta Utilizada - Shift

Na modelagem, análise e validação, utiliza-se a ferramenta SHIFT. O SHIFT (Deshpande et al., 1995; Semenzato et al., 1996) é uma linguagem de programação para simular redes dinâmicas de autômatos híbridos. O sistema consiste de componentes que podem ser criados, interconectados e destruídos, conforme a evolução do sistema. Os componentes exibem ações híbridas, consistindo de fases, de tempo contínuo, separadas por transições de eventos discretos. Podem evoluir independentemente ou interagir através de suas entradas, saídas e eventos exportados.

O modelo SHIFT oferece um nível apropriado de abstração para descrever aplicações complexas como sistemas de controle de tráfego aéreo, sistemas de rodovias e outros, que não são facilmente capturados por modelos convencionais. O objetivo da linguagem é facilitar a aprendizagem e seu uso. Esta ferramenta apresenta um único tipo numérico, equivalente ao tipo "double" da linguagem C. Ela não trabalha com funções, embora possa usar funções externas escritas em C, não possui primitivas de gerenciamento de memória. Os programas SHIFT são poderosos e compactos. Isto deve ao alto nível de abstração matemática do sistema, incluindo equações diferenciais, transições de estado e composição síncrona, todas dentro da estrutura de redes dinâmicas de autômatos híbridos.

4 Estudo de Caso - Um exemplo

Um exemplo aqui apresentado caracteriza-se por ser simples a fim de propiciar um bom entendimento dos conceitos utilizados, bem como das idéias de modelagem. O seguinte estudo parte de um regime operacional estável, onde serão apresentados formalmente os modelos e a evolução do modelo ao longo do tempo. Utilizamos a ferramenta SHIFT para obter a dinâmica global, através de variáveis compartilhadas, para obter um regime suportável pelo segmento de distribuição.

4.1 Modelos Utilizados

Como resultado, foi obtido um conjunto de autômatos híbridos que modelam a dinâmica dos elementos que compõem as redes de transferência e distribuição. Dentre os modelos obtidos faz-se necessária a apresentação de alguns componentes que serão utilizados em nosso exemplo.

4.1.1 Válvulas de Alívio

Uma válvula de alívio Fig. 1(a), cuja função é variar o valor do fluxo de gás a fim de manter a pressão em valores desejáveis, permitindo regimes de operação seguros, pode ser modelada utilizando-se um autômato composto por quatro modos de operação: *Aberto*, *Abrindo*, *Fechado* e *Fechando*.

Este autômato pode ser visto na Fig. 1(b). A variação de fluxo causada pela dinâmica da válvula é representada pelo gráfico 1. O gráfico 1 demonstra que entre t_0 e t_1 a válvula está no estado *Fechado*, pois o fluxo de entrada (q_{in}) é igual ao de saída (q_{out}). A partir de t_1 , a válvula entra no estado *Abrindo*, que faz com que q_{atm} (Δq) aumente até o limite $q_{atm,máx.}$, definindo pelas características da válvula. Quando $q_{atm,máx.}$ é alcançado, a válvula entra no estado *Aberto*, entre t_2 e t_3 , permanecendo neste estado enquanto a pressão na rede estiver acima de um valor crítico, que é uma característica intrínseca da válvula. Quando a pressão na rede diminui de um determinado valor, a válvula entra no estado *Fechando*, entre t_3 e t_4 . A partir de t_4 , a válvula entra no estado *Fechado*.

No modo de operação *Fechado* a válvula não interfere na dinâmica da rede, uma vez que não proporciona variação de fluxo, conseqüentemente não alterando a pressão. Quando no modo de operação *Aberto*, a válvula alivia um certo fluxo q_{atm} para a atmosfera ocasionando uma diminuição na pressão interna da rede próxima ao local de instalação. Para o primeiro modo de operação, estado *Fechado*, são associadas as seguintes equações diferenciais que definem as variações em função do tempo: $\dot{q} = 0$. A modo de operação *Aberto* está também associada a seguinte equação: $\dot{q} = 0$.

Para o modo de operação *abrindo*, a válvula varia o fluxo de saída q_{atm} até que sejam atingido o máximo, definindo o estado em que a válvula está completamente aberta. O estado *fechando* modela o fechamento da válvula, onde q_{atm} varia de seu valor máximo - abertura máxima possível da válvula, para zero - totalmente fechada. As equações que regem as dinâmicas dos estados e as chaves de transições podem ser visualizadas na Fig. 1(b).

4.1.2 Dutos

O autômato da Fig. 2(b) modela a dinâmica de uma linha horizontal de dutos de seção transversal homogênea de comprimento l , diâmetro d de uma constante de rugosidade λ - Fig. 2(a).

As equações de fluxo associadas aos modos de operação são definidas em função dos fluxos de entrada q_{in} e saída q_{out} . A partir dos fluxos de entrada e saída pode-se determinar a variação de pressão Δp do duto. As condições de transições (chaves de transição) entre os modos de operação são em função da variação de fluxo Δp .

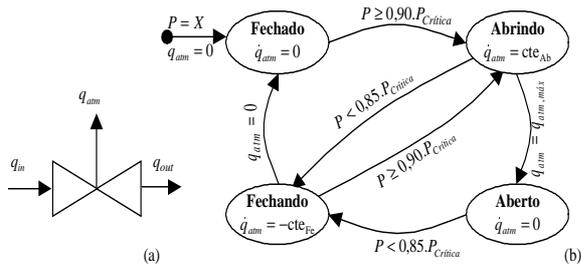


Figura 1. Representação esquemática de válvula e seu autômato

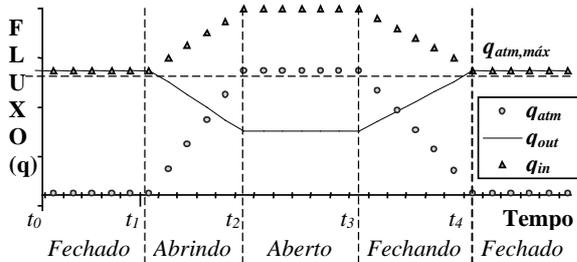


Gráfico 1. Fluxos através da válvula

Para fins de simplificação do modelo, a equação que define a pressão em função dos fluxos de entrada e saída (1) é minimizada, substituindo as constantes do duto por uma constante k que pode ser calculada por (2), resultando na equação simplificada representada em (3).

$$P_{out} = \sqrt{P_{in}^2 - 1.95 \times 10^{-4} \left(\frac{P_n}{T_n} \right) \frac{LMT \bar{\lambda}}{d^5} q_{in}^2} \quad (1)$$

$$k = 1.95 \times 10^{-4} \left(\frac{P_n}{T_n} \right) \frac{LMT \bar{\lambda}}{d^5} \quad (2)$$

$$P_{out} = \sqrt{P_{in}^2 - k q_{in}^2} \quad (3)$$

Como podemos notar pela Fig. 2, o autômato que modela a dinâmica de segmentos de dutos, como o especificado anteriormente, é composto por três modos de operação:

Equilíbrio: Neste modo de operação existe equilíbrio entre os fluxos de entrada e saída ($q_{in} = q_{out}$), mantendo-se a pressão de entrada constante. Esse equilíbrio implica que $\Delta p = 0$, conseqüentemente a equação diferencial associada a este modo de operação fica assim definida: $\dot{q} = 0$. A pressão de saída P_{out} é calculada (4) segundo a Eq. (3).

$$P_{out} = \sqrt{P_{in}^2 - k q_{in}^2} \quad (4)$$

Aumento: O fluxo de entrada é maior que o fluxo de saída ($q_{in} > q_{out}$), implicando no aumento de gás internamente ao duto, o que ocasiona um aumento na pressão interna do duto ($\Delta p > 0$). Esse aumento pode ser expresso em função dos fluxos de entrada e saída, sendo assim associada ao modo de operação a seguinte equação diferencial: $\dot{p} = \sqrt{|\Delta q|}$. A pressão de saída P_{out} é calculada por (5).

$$P_{out} = \sqrt{P_{in}^2 - k q_{in}^2} + \sqrt{|\Delta q|} \quad (5)$$

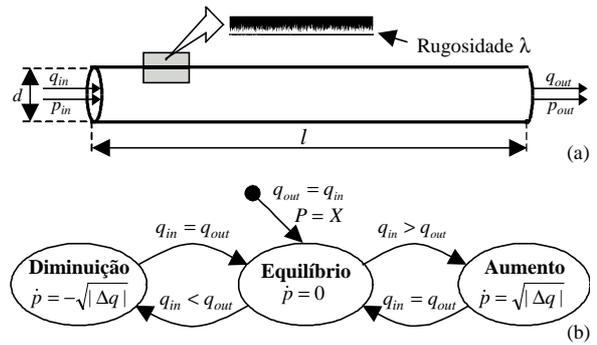


Figura 2. Segmento de uma linha de dutos e seu autômato

Diminuição: Analogamente ao modo de operação **Aumento**, existe uma diferença entre os fluxos de entrada e saída, entretanto neste o fluxo de saída (exigido) é maior que o fluxo de entrada ($q_{in} < q_{out}$), resultando em queda na pressão interna ($\Delta p < 0$). A equação diferencial que representa esse fluxo em função do tempo e variação de fluxo fica assim definida: $\dot{p} = -\sqrt{|\Delta q|}$. A pressão de saída para este modo de operação é definida pela Eq. (6).

$$P_{out} = \sqrt{P_{in}^2 - k q_{in}^2} - \sqrt{|\Delta q|} \quad (6)$$

4.1.3 Compressor Centrífugo

O compressor centrífugo pode ser modelado como a utilização de dois autômatos, que representam suas principais características dinâmicas. Basicamente, o compressor é formado pelos componentes representados na Fig. 3 (Rysehervari, 1999).

A Fig. 3 representa um sistema de compressor simplificado e a Fig. 4 o seu autômato, composto da VAS (Válvula Anti-Surge) e um compressor de multiestágio. Na dinâmica existente neste sistema, dado um fluxo de entrada q_{in} , o compressor fornece o gás a uma pressão de saída P_{out} e um fluxo q_{out} . É possível observar que se em um determinado momento o fluxo de entrada q_{in} diminuir, o compressor deve diminuir o estágio do motor a fim de que haja equilíbrio e não ocorrer o risco de danos ao compressor. Entretanto se q_{in} diminuir até um certo valor crítico, o compressor entra em *surge*. Para minimizar este problema é acrescentada a Válvula Anti-Surge, que desvia uma quantidade de fluxo q_{out} para a entrada q_{in} . Desto modo o novo q_{in} é o resultado da soma $q_{in(novo)} = q_{in} + q_{out}$. Este sistema é modelado segundo os autômatos da Fig. 4.

4.1.4 Conjunto de Consumidores

O conjunto de consumidores representa vários pontos finais de entrega de gás natural, onde cada um consome um determinado fluxo de gás $q_{usuário}$ dentro de um range previamente definido por contrato com a empresa fornecedora. Entretanto, todo o conjunto de N consumidores é tratado como um único elemento, definindo o fluxo $q_{Conj. Consumidores}$ de acordo

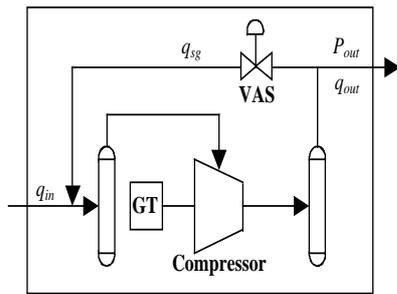


Figura3. Diagrama do compressor.

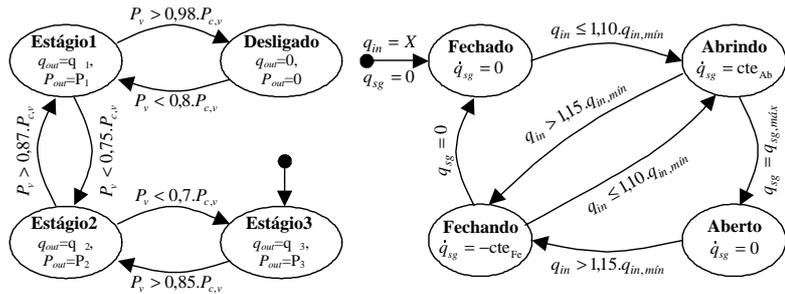


Figura4. Autômato do compressor (com a Válvula de Surge).

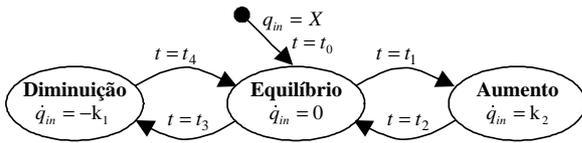


Figura5. Autômato do conjunto de consumidores.

com(7), e representando sua dinâmica por uma *Função de Consumo*.

$$Q_{Conj. Consumidores}(t) = \sum_{i=1}^N q_{usuário_i}(t) \quad (7)$$

Basicamente, pode-se modelar o *Conjunto de Consumidores* através de um autômato composto de três modos de operação -Fig.5. *Aumento*, quando a dinâmica de consumo está passando por um acréscimo, *Equilíbrio*, quando se encontra constante em um valor qualquer e *Diminuição*, quando ocorre uma diminuição no consumo de gás por parte dos usuários.

Para fins de simulação é atribuída uma *função de consumo* à dinâmica. Esta pode determinar o maior ou menor complexidade e possibilita analisar a dinâmica da rede e de seus componentes, em função dos mais diversos regimes de consumo permitindo analisar, verificar e sintetizar parâmetros que façam com que um segmento ou até mesmo uma rede esteja sempre em compressão e fluxos satisfatórios aos consumidores e aos requisitos de segurança da rede.

4.2 Exemplo – Segmentos simples de rede de distribuição

Um exemplo tratado neste artigo caracteriza-se por ser um simples segmento de uma rede de distribuição de gás natural, Fig.6, composta basicamente por cinco componentes: dois seguimentos de dutos (*Dutos1* e *Dutos2*), uma válvula de alívio (*Válvula1*), um conjunto de consumidores (*Consumidores1*) com uma dinâmica de consumo definida por uma função e um sistema de compressão (*Compressor*).

A interação entre os componentes é dada através do compartilhamento de suas variáveis. Desta forma é possível a interação e propagação de eventos ao longo da rede, em ambos os sentidos. Esta propagação caracteriza a dinâmica global da rede.

Neste exemplo, o segmento de rede se encontra em regime estável, onde o compressor está no *Estágio3* (máximo), a válvula fechada, os consumidores em um consumo estável e a rede com

pressão dentro dos limites de segurança. A fonte tem fluxo e pressão estáveis. A partir desta consideração inicial, o conjunto de consumidores varia, em função do tempo, a quantidade de fluxo que utiliza. Isso define uma dinâmica, a qual o modelo deve reagir, mudando de estado e simbolizando os estados alcançáveis a fim de que encontremos, por exemplo, um conjunto de estados seguros que mantêm a rede em valores aceitáveis de pressão.

4.2.1 Dinâmica Simulada –SHIFT

Através da ferramenta SHIFT, utilizada para analisar o comportamento resultante da interação entre os componentes definidos no estudo de caso, obtemos o *gráfico2*, que representa a variação da pressão média no segmento em função do tempo.

O *gráfico2* demonstra a atuação do compressor, diminuindo a pressão. Inicialmente $[t_0, t_1]$ a pressão média da rede encontra-se em equilíbrio, com a mudança no perfil de consumo do conjunto de consumidores, modelado pelo mudança de estado *equilíbrio* para o estado *diminuição*, a pressão média cresce até aproximadamente a pressão crítica definida para o modelo $[t_1, t_2]$. Ao alcançar o valor próximo de pressão crítica o compressor, a fim de diminuir a pressão a valores seguros, diminui sua potência, mudando de estado – *Estágio3* para *Estágio2*. Esta mudança faz com que a pressão da rede diminua $[t_2, t_3]$, voltando a valores seguros $[t_3, t_4]$.

Assim, não é necessária a atuação da válvula sobre a dinâmica da rede – mudança de estado para *Abrindo*, não liberando gás para a atmosfera. Isso demonstra que, para a função de consumo definida para o exemplo em funcionamento ordinário, o modelo suportaria a dinâmica sem que fosse necessária a atuação da válvula, ficando o sistema sempre em estado *Fechado*. Assim sendo, ao evitar a eliminação de gás para a atmosfera obtém-se um menor custo para seu transporte.

5 Conclusões

O sistema de transferência e distribuição de gás natural é um sistema crítico de tempo real, que exige uma validação rigorosa em relação à sua especificação. O formalismo dos autômatos híbridos

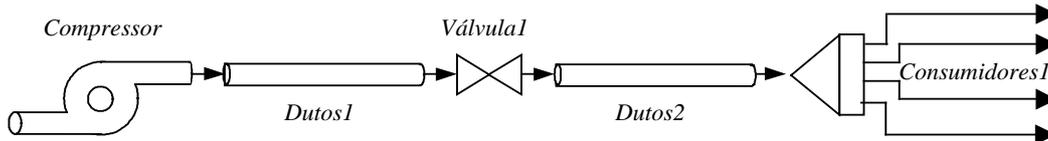


Figura6.Representação esquemática do segmento de estudo.

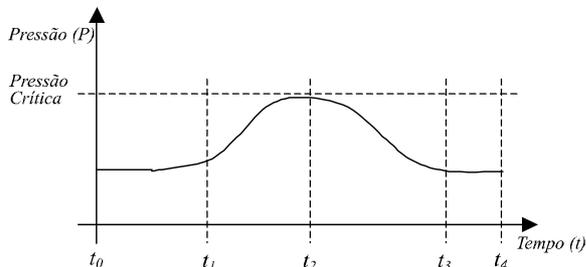


Gráfico2.Pressão média no segmento de rede.

acomodar características dinâmicas discretas apresentadas por este tipo de sistema, bem como a facilidade de representação de um grande número de componentes distribuídos existentes no sistema. A idéia básica do artigo consiste na formalização de modelos para cada componente individualmente e, através do autômato produto, representar a dinâmica das mais variadas topologias de redes, possibilitando sua análise e refinamento.

Como auxílio de ferramentas computacionais SHIFT, torna-se possível a análise e simulação de um grande número de elementos, isso viabiliza a aplicação dos modelos aqui formalizados no cenário real, possuindo estes um alto grau de complexidade, principalmente a tratar-se de redes de distribuição de gás.

A aplicação da abordagem híbrida na modelagem de sistemas de transferência de gás distribuído de gás natural é uma aplicação ainda não explorada na área científica. Desta forma, o estudo possibilita a ampliação do campo de utilização de autômatos híbridos, validando os conceitos e aplicabilidade de detalhes de especificação formal.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo e do CTPetro/Financiador de Estudos e Projetos (PRH - 10/CEFET - PR) e também, o CNPq através do projeto processo número 520965/99-0.

Bibliografia

Calvo, R.A.; Gimenes, I.M. (1999). P/p Derive - Sistema Especialista de Auxílio Inteligente na Modelagem de Processo Software Baseada na Modelagem P/p, Trabalho de Graduação, Universidade Estadual de Maringá, Depto. de Informática.

Deshpande, A.; Göllü, A.; Semenzato, L. (1995). *The Shift Programming Language and Run-time System for Dynamic Networks of Hybrid Automata*, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California at Berkeley, Berkeley.

Henzinger, T.A. (1996). The theory of hybrid automata, *Proceedings of the 11th Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 1996)*, pp. 278 - 292.

Ho, P.-H.; Wong-Toi, H. (1995). Automated analysis of an audio control protocol, In (Wolper, P., editor) *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Aided Verification*, volume 939 de Lecture Notes in Computer Science, pp. 381 - 394, Liege, Belgium, Springer-Verlag.

Moura, A.V.; Bonifácio, A.L. (1999). *Análise, Verificação e Síntese de Segmentos de uma Malha Metroviária*, Relatório Técnico IC-99-18, Unicamp - Sp.

Puri, A. (1995) *Theory of Hybrid Systems and Discrete Event Systems*, A Doctoral Dissertation, University of California at Berkeley.

Ramadge, P.J., Wonham, W.M. (1989). The Control of Discrete Event System, *Proceedings of the IEEE* 77(1), pp. 81 - 89.

Rys, R.; Fehervari, W. (1999). Improve Control Performance of Centrifugal Compressors, In *Hydrocarbon Processing*, pp. 71 - 82, Aug. 99.

Semenzato, L.; Deshpande, A.; Göllü, A. (1996). *Shift Reference Manual*, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California at Berkeley, Berkeley.