

RELATÓRIO FINAL – BOLSA DTI  
GERENCIAMENTO E SUPERVISÃO INTELIGENTE  
DE SISTEMAS DISTRIBUÍDOS DE BAIXO CUSTO  
PARA OPERAÇÃO E CONTROLE EM AMBIENTES  
INÓSPITOS

**Eduard Montgomery Meira Costa**  
**Universidade Federal da Bahia**  
**Escola Politécnica**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Setembro de 2006**



# Conteúdo

Parte I - Desenvolvimento Teórico: Controle de Sistemas Modelados por Redes de Petri via Redes Neurais Artificiais	1
RESUMO -	3
Introdução -	5
Controle Supervisório e Redes de Petri	7
Conceitos Básicos -	8
Redes de Petri	8
Redes de Petri com Funções de Habilitação de Transições	9
Redes Neurais Artificiais	11
Introdução ao Controle de SED por RNA	13
Conclusões	15
Referências	16
Parte II - Produção Científica	18
Artigos	20
<b>Revistas</b>	20
<u>Submetidos</u>	20
Revista Controle & Automação da SBA	20
Revista Ciência e Engenharia da UFU	20
Revista Diálogos e Ciência da FTC-FSA	20
<b>Eventos</b>	20
<u>Publicados</u>	20
IV SNCA – IV Seminário Nacional de Controle e Automação	20
<u>Submetidos</u>	20
VII SEMPPG - VII Seminário de Pesquisa e Pós-Graduação e XXV SEMEP - XXV Seminário Estudantil de Pesquisa	20
<b>Livros</b>	21
<u>Publicados</u>	21
Parte III – Formação de Recursos Humanos	23
Introdução	25
Disciplinas:	25
Cursos Assistidos e Participação em Eventos:	25
Orientações:	26
Considerações Finais	27

# **Parte I**

## **Desenvolvimento Teórico:**

### **Controle de Sistemas Modelados por Redes de Petri via Redes Neurais Artificiais**



## RESUMO

Rede de Petri é um formalismo matemático e gráfico que permite fundamentar modelos de sistemas de transições. Diferentemente dos autômatos, esta ferramenta se apresenta como substituta quando modelando sistemas que apresentam concorrência, como é o caso dos Sistemas a Eventos Discretos. Este paradigma apresenta vários formalismos que foram introduzidos ao longo do tempo, permitindo controlar sistemas a eventos discretos via teoria de controle supervisorio. Entre estes formalismos, encontra-se a abordagem de Barroso via funções de habilitação de transições, que introduz o formalismo de controle de Ramadge e Wonham nas redes de Petri. Considerando que o sistema necessite modificar dinamicamente estas funções de transições, por esta abordagem serão necessárias várias execuções do algoritmo para cada vez que a marcação inicial do sistema for modificada. dessa forma, a introdução de uma rede neural artificial, já muito utilizada na área de controle não linear, permite gerar este controle dinâmico. Pretende-se com este princípio realizar este controle, bem como introduzir futuramente novas estratégias de controle, visando abordar o problema de controle supervisorio com observação parcial, bem como a introdução de características híbridas para a geração do controle desses sistemas, mais conhecidos como sistemas híbridos, de forma a aplicar esta nova metodologia a sistemas encontrados em ambientes inóspitos, como campos de petróleo.



## Introdução

As modernas técnicas utilizadas para automação vêm ganhando espaço nas mais variadas áreas. Estas técnicas englobam as metodologias de controle supervisório (Ramadge and Wonham, 1982; Ramadge and Wonham, 1989; Costa, 2005; Costa e Lima, 2005a; Costa e Lima, 2005b) e a inteligência artificial, em cujo contexto se encontram a automação de sistemas de manufatura, sistemas de tráfego, sistemas embarcados, entre outros. Em se tratando de automação, a especificidade destes sistemas se enquadram nos denominados sistemas a eventos discretos e nos sistemas híbridos. Estes últimos são sistemas que apresentam características de Sistemas a Eventos Discretos (SEDs) (Ramadge and Wonham, 1982; Ramadge and Wonham, 1989; Costa, 2005; Costa e Lima, 2005a; Costa e Lima, 2005b), cuja evolução dinâmica é descrita por meio da ocorrência de eventos físicos que mudam o estado do sistema, e características de sistemas contínuos (Ogata, 2004).

Com o avanço tecnológico, estas metodologias de controle foram aplicadas à vários contextos, de forma a flexibilizar a produção, além de ampliá-la, dando quantidade e garantir a segurança nos ambientes inóspitos.

Tomando como base que todo sistema em que se possa descrever por meio de ações físicas que mudam suas características instantâneas podem ser modelados como um SED, é notório que a aplicação da metodologia de controle supervisório possa ser aplicada a poços de petróleo visando ampliar produção, reduzindo custos com deslocamentos, manutenção e atuação humana *in loco*, bem como garantindo a segurança ao meio ambiente contra desastres ambientais.

A aplicação da metodologia de controle supervisório inicia sua contextualização na produção de petróleo via estruturação de um formalismo específico baseado no SCADA, como se pode ver em (Going *et al.*, 2006; Campos *et al.*, 2006; Cassar, 2006; Steen, 2006). Entretanto, as estratégias que ainda dominam o campo petrolífero é o sistema de controle local, tipo Mestre-Escravo, em que o controle é realizado por Controladores Lógico Programáveis (CLP) que têm função apenas de execução, sem poder de decisão sobre quaisquer problemas que possam vir a ocorrer, como o parafinamento de um poço. Nesta estrutura, um controle central determina todas as execuções a serem realizadas nos poços, o qual depende muito da intervenção humana.

Com o avanço dos paradigmas de modelagem de sistemas deste tipo, como as Rede de Petri (Murata, 1989; Costa e Lima, 2005), a perspectiva de aplicação de controle supervisorio local, com uma atuação distribuída intercomunicável (Steen, 2006), as perspectivas de ampliação na produção de poços distantes cresce, reduzindo custos com deslocamentos humanos para intervenção, bem como os prejuízos ambientais e aumentando a segurança humana em se tratando de ambientes inóspitos.

Por outro lado, as aplicações das técnicas de Inteligência Artificial (IA) (Campos e Saito, 2004; Nascimento Jr. e Yoneyama, 2000) neste contexto, vêm crescendo, como se pode ver em (Schnitman *et al.*, 2002), cuja utilização baseia estruturas de reconhecimento de padrões, de modo a facilitar a função automática de relatórios. Neste contexto, vários formalismos da IA podem ser aplicados nos poços de petróleo, visando obtenção de dados para prever situações não desejadas de forma a impedir que o mesmo pare sua produção ou que acidentes ambientais, como vazamentos de óleo, ou prejuízos como quebra de peças no bombeio forçado por causa de um parafinamento, ou mesmo a segurança do ambiente contra intrusos via reconhecimento de padrões.

Dessa forma, a união destas duas ferramentas na aplicação à automação de poços de petróleo ganha uma nova abordagem, gerando uma nova metodologia de controle supervisorio, cujo modelo é baseado em redes de Petri, com a introdução de Redes Neurais Artificiais e Lógica Fuzzy para o controle de sua dinâmica.

Este relatório apresenta os resultados preliminares do estudo desenvolvido ao longo do ano neste projeto, que é a base das pesquisas desenvolvidas pelo Grupo de Sistemas Integrados Distribuídos (GSID) do Centro de Tecnologia de Automação Industrial (CTAI) do Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica (PPGM) na Escola Politécnica da UFBA. Este relatório está composto da base teórica estruturada ao longo deste primeiro ano do projeto (primeira parte); a produção científica do período (segunda parte) e a formação de recursos humanos na área (terceira parte), com algumas considerações finais sendo apresentadas ao final deste documento.

## Controle Supervisório e Redes de Petri

Os Sistemas a Eventos Discretos (SED) (Ramadge and Wonham, 1982; Ramadge and Wonham, 1989; Costa, 2005; Costa e Lima, 2005a; Costa e Lima, 2005b) são sistemas que exibem características dinâmicas de evolução baseada na ocorrência de eventos físicos que mudam seu estado. Estes sistemas, devido à sua própria natureza são não lineares e não podem ser descritos facilmente pelas teorias clássicas de controle, via equações diferenciais, necessitando de formalismos específicos, como os autômatos e as linguagens formais (Hopcroft e Ullman, 1979) ou as redes de Petri (Murata, 1989; Costa e Lima, 2005), dentre outros paradigmas de modelagem.

A estratégia utilizada no controle supervisório é, através do mapeamento geral dos estados do sistema, avaliar por meio de um algoritmo quais os estados que não pertencem à especificação de comportamento definida, e eliminar os caminhos do autômato que levem o sistema a um estado de bloqueio ou quaisquer situações indesejadas, mas mantendo uma situação no sistema, de realização de pelo menos uma tarefa completa na especificação dada (ou seja, deve manter, pelo menos um estado marcado no autômato).

Quando modelando um SED por uma rede de Petri (Zhou e DiCezare, 1993), uma das estratégias de controle utilizadas é a rede de Petri com função de habilitação de transições (RPFHT), em que o algoritmo desenvolvido por (Barroso, 1996), permite gerar um sistema de equações lógicas em algumas transições, que bloqueiam-nas quando algumas marcações da rede são atingidas, evitando que o sistema pare. Estas funções lógicas são baseadas em formalismos básicos que permitem às transições verificar a marcação de um lugar que não está ligado a ela, mas não modificando a estrutura do modelo. Assim, tanto o supervisor (agente de controle) quanto o modelo do SED são idênticos estruturalmente, diferenciando-se apenas pelas funções injetadas nas transições.

O formalismo das RPFHT permite a tradução direta do supervisor para um diagrama ladder de um CLP, aplicando diretamente o controle abstrato ao mundo real, como se pode ver em (Góes, 2003; Frey, 2000; Frey and Litz, 2000, Uzam, 1996).

O único problema encontrado quando da utilização das RPFHT no controle supervisório é que se houver mudanças na marcação inicial da rede, ou se for modificada a especificação de comportamento desejada, o algoritmo deve ser executado novamente para

gerar as novas funções de habilitação de transições e o diagrama ladder deve ser reestruturado devido a estas modificações.

Nesta perspectiva, a introdução do formalismo das redes neurais artificiais se mostra interessante, desde que seria uma estrutura externa à rede (e ao CLP), que determinaria o bloqueio da transição, após um treinamento com várias marcações iniciais, sem a necessidade de novas execuções do algoritmo de controle, bem como evitaria modificações no CLP.

Para entender este formalismo, a seguir são apresentados os conceitos básicos das redes de petri e RPFHT, e das redes neurais.

## Conceitos Básicos

Para o entendimento deste novo formalismo introduzido nesse trabalho, alguns conceitos são necessários, os quais são apresentados a seguir.

### *Redes de Petri*

Uma rede de Petri (Murata, 1989; David and Alla, 1994; Costa e Lima, 2005) é definida como:

**Definição 1** *Uma Rede de Petri é uma sextupla*

$$RP = (P, T, A, K, W, M_0),$$

em que  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  é um conjunto finito de lugares;  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  é um conjunto finito de transições;  $A \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  é um conjunto de arcos;  $K: P \rightarrow \mathbb{N} \cup \infty$  é a função de capacidade;  $W: A \rightarrow \mathbb{N}^+$  é a função de ponderação;  $M_0: P \rightarrow \mathbb{N}$  é a função de marcação inicial, que satisfaz  $\forall p \in P: M_0(p) \leq K(p)$ .

A representação gráfica de uma rede de Petri é dada por círculos que representam os lugares; barras ou retângulos que representam as transições; arcos direcionados de lugares para transições e vice-versa e círculos pretos (fichas) dentro dos lugares, representando as marcações.

A evolução dinâmica de uma rede de Petri é definida pelas seguintes regras de disparo das transições:

1. Uma transição  $t$  é dita estar habilitada (pronta para disparar) em uma marcação  $M$  se e só se

$$\forall p \in P \text{ que é entrada de } t: W(p,t) \leq M(p)$$

e

$$\forall p \in P \text{ que é saída de } t: M(p) \leq K(p) - W(t,p);$$

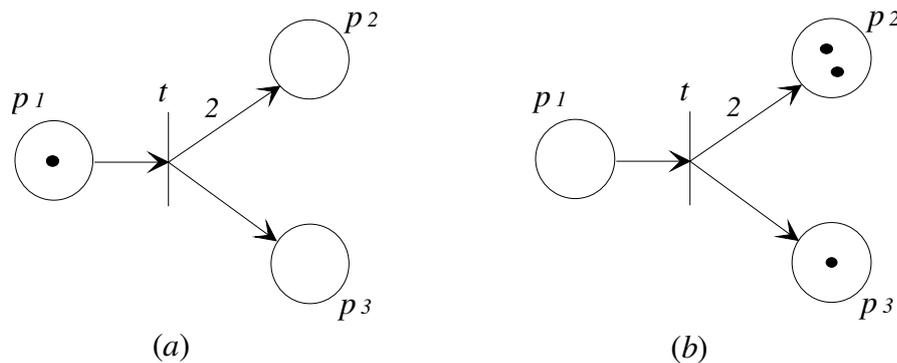
2. Uma transição habilitada pode ou não disparar;

3. O disparo de uma transição  $t \in T$ , habilitada na marcação  $M$ , é instantânea e resulta em uma nova marcação  $M'$  da rede dada pela equação

$$M'(p) = M(p) - W(p,t) + W(t,p), \quad \forall p \in P;$$

4. A ocorrência do disparo de  $t$ , que modifica a marcação  $M$  da rede para uma nova marcação  $M'$ , é denotada por  $M[t > M'$ .

**Exemplo 1** Na Figura 1 é apresentada uma rede de Petri antes e depois do disparo de uma transição, seguindo as regras da evolução dinâmica citadas anteriormente.



**Figura 1:** Exemplo de uma rede de Petri antes (a) e depois (b) do disparo da transição  $t$ .

### **Redes de Petri com Funções de Habilitação de Transições**

Dentre os vários formalismos de controle de SED por redes de Petri, o presente trabalho propõe um formalismo direcionado ao fundamentado por (Barroso, 1996). As redes

de Petri com função de habilitação de transições são redes de Petri que comportam em suas transições funções que determinam se a transição pode ser habilitada quando satisfaz as condições normais de habilitação. Estas funções são dependentes das marcações de alguns lugares da rede. Com estas funções, é possível determinar condições específicas para controlar a evolução dinâmica da rede de Petri, impedindo que certos ramos da árvore de alcançabilidade sejam alcançados. Dessa forma, tem-se a seguir a definição desta rede:

**Definição 2** *Uma rede de Petri com função de habilitação de transição, é uma quintupla*

$$\text{RPFHT}=(E, l, K, M_0, \Phi),$$

*em que:*

- $E = (P, T, A, W)$  é uma estrutura de rede de Petri;
- $l : T \rightarrow \Sigma$ , é a função que etiqueta as transições, onde  $\Sigma$  é um alfabeto;
- $K : P \rightarrow \mathbf{N} \cup \{\infty\}$  é a função de capacidade;
- $M_0$  é a marcação inicial, como definido para as redes de Petri;
- $\Phi = \{ \phi_1, \dots, \phi_m \} : MA(E, M_0) \rightarrow \{0, 1\}$  é a função de habilitação das transições, que mapeia o conjunto de marcações alcançáveis em 0 ou 1.

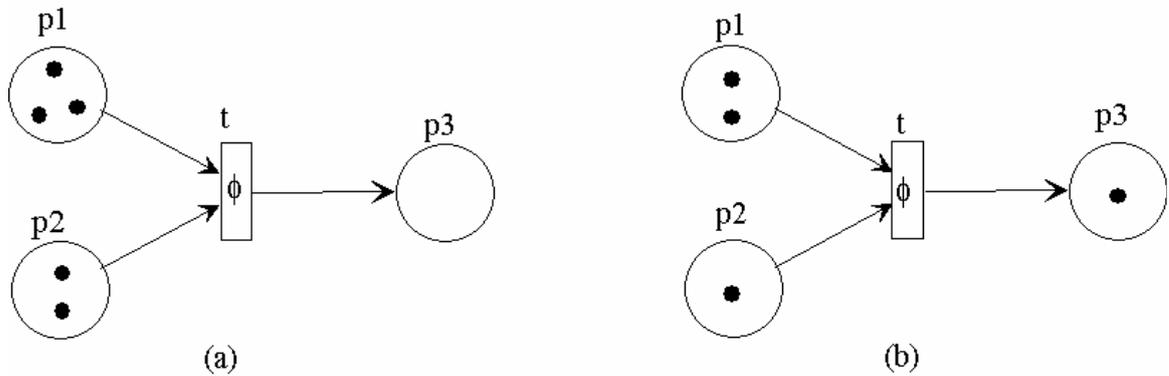
Com a introdução das funções de habilitação, uma transição  $t_j$  com função de habilitação  $\phi_j$  associada estará desabilitada na marcação  $M_i \in MA(E, M_0)$  quando  $\phi_j(M_i) = 0$ . Caso contrário, se  $\phi_j(M_i) = 1$ , então  $t_j$  estará habilitada e sujeitas às condições definidas nas regras de disparo das transições.

Os mesmos métodos de análise das redes de Petri convencionais podem ser usados para as RPFHTs, embora tenham de ser consideradas as condições específicas para a evolução.

**Exemplo 2** *Na Figura 2 é mostrado um exemplo de RPFHT, onde a transição  $t$  tem a função de habilitação associada definida por*

$$\phi = [M(p_1) \geq 2 \wedge M(p_3) = 0].$$

De acordo com a função de habilitação  $\phi$ , a transição  $t$  está habilitada podendo disparar, desde que as condições necessárias a sua habilitação sejam verdadeiras, tornando  $\phi = 1$ . Com o seu disparo (Figura 2 (b)), vê-se que a condição para o lugar  $p_3$  ( $M(p_3) \neq 0$ ), o que torna a função  $\phi = 0$  e desabilita a transição  $t$ .



**Figura 2:** Exemplo de uma RPFHT.

### Redes Neurais Artificiais

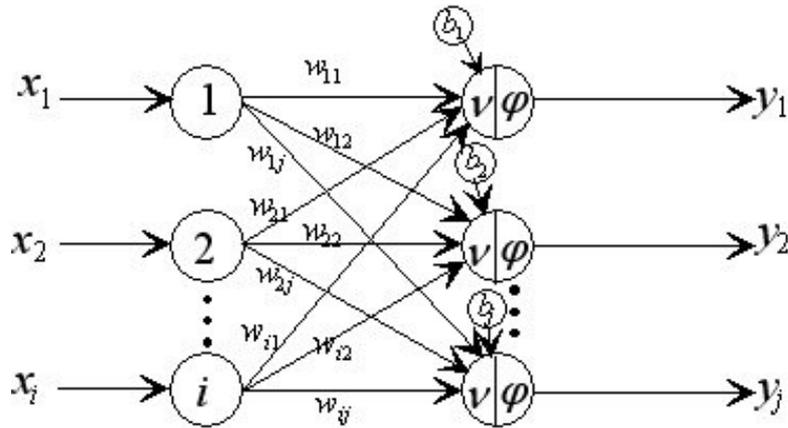
Uma rede neural artificial, ou rede neural, ou ainda RNA, é um formalismo matemático que imita a estrutura do neurônio biológico e que pode ser utilizado em estruturas de controle, especialmente de sistemas não lineares. Entre as estruturas de RNA, encontram-se o *Perceptron* (RNA com uma camada de neurônios), o *Perceptron de Múltiplas Camadas* (MLP), entre outras. Basicamente, a RNA é formada por um conjunto de entradas, uma ou mais camadas de neurônios que se ligam entre si, e as saídas, podendo ter realimentação entre as saídas e as entradas. Cada arco que liga um neurônio tem um peso especificado e cada neurônio tem uma função de ativação e uma função de transferência para a saída. Além do mais, os neurônios são ativados por um sinal extra de entrada, denominado *bias*.

Um exemplo de uma RNA é mostrado na Figura 3, com  $i$  entradas,  $w_{ij}$  representando os pesos dos arcos, ou pesos sinápticos,  $j$  sinais de *bias* ( $b_j$ ) para neurônios de saída, com funções de ativação representadas pela letra  $v$  definida como:

$$v_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} \cdot x_i$$

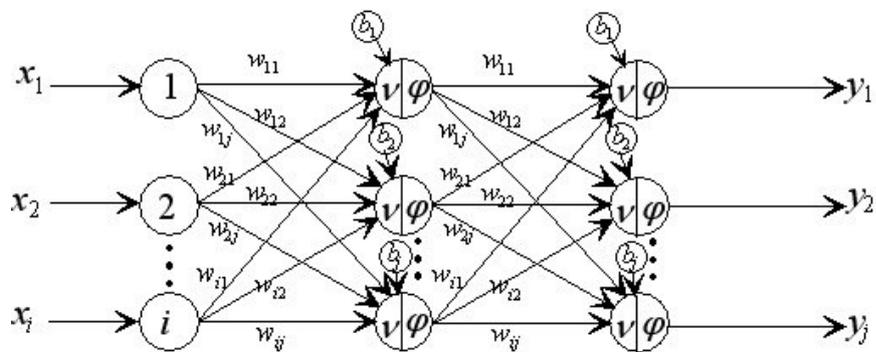
e a função de transferência é representada pelo símbolo  $\varphi$  que, normalmente, são utilizadas funções de limite ríspido como a função degrau, onde  $\varphi$  pode assumir dois valores:

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, \forall v \geq 0 \\ 0, \forall v < 0 \end{cases}$$



**Figura 3:** Rede neural perceptron.

Já na Figura 4, vê-se um MLP, em que há vários neurônios na camada escondida, como é definido pela teoria.



**Figura 4:** Exemplo de um Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP).

O treinamento de uma RNA é feito baseado em algoritmos específicos, que baseados nas entradas e nas saídas utilizadas como exemplos para treinamento, são gerados os pesos dos arcos  $w$ , garantindo que possa ser generalizado seu aprendizado. Assim, após treinamento da RNA com um conjunto de entradas e saídas, se o erro for mínimo ou tender a zero, a rede “aprende”, e é possível se colocar outros valores na entrada que a resposta será conforme esperado.

## Introdução ao Controle de SED por RNA

Com os conceitos apresentados na Seção anterior, a seguir é formalizada a estrutura de controle aqui pretendida. A definição da rede de Petri controlada por RNA é um conceito que introduz a idéia de utilização das RNA para impedir a evolução da rede de Petri por caminhos que levam a bloqueio. Sua definição formal é a seguinte:

**Definição 3** *Uma Rede de Petri controlada por RNA (RPRNA) é uma dupla*

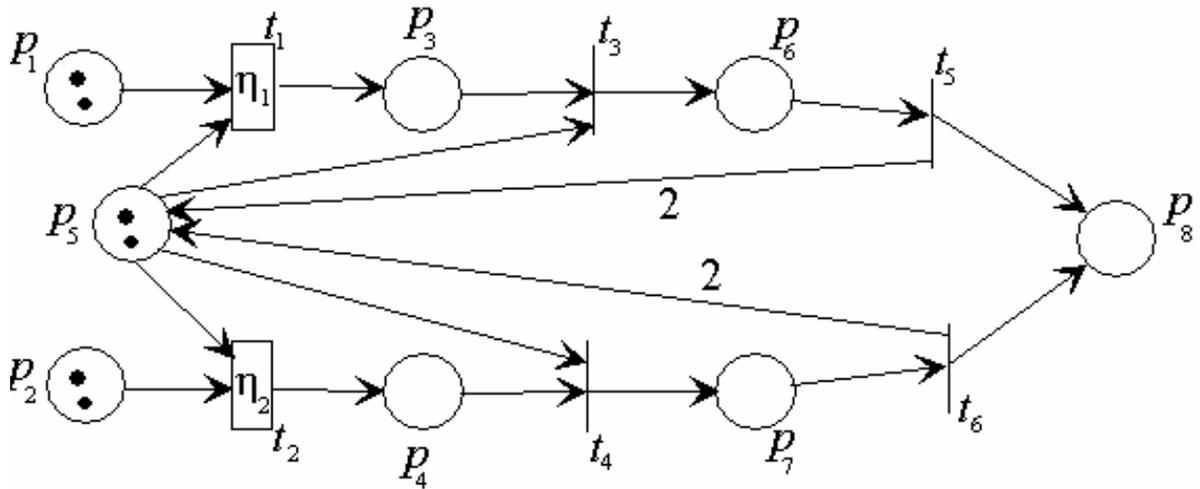
$$RPRNA = (RP, \eta),$$

*em que RP é uma Rede de Petri marcada com n lugares e m transições e N é uma RNA com x ( $x \leq n$ ) entradas e y ( $y \leq m$ ) saídas, cujas entradas são marcações de alguns lugares da rede de Petri RP e as saídas são funções  $\eta_i : M(p_j) \rightarrow \{0, 1\}$  ligadas a algumas transições definidas do conjunto de transições T da rede de Petri RP, cujas funções de transferência da RNA são têm saídas fundamentadas sempre como 0 (não habilita a transição) ou 1 (habilita a transição).*

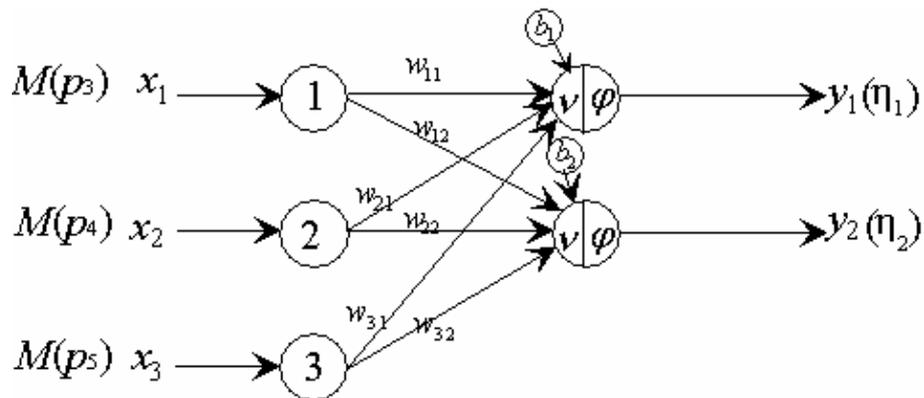
A representação de uma RPRNA é similar às RPFHT, desde que sua estrutura é igual, mudando apenas as funções das transições para as funções  $\eta$  das saídas da RNA. Quando uma transição não apresenta uma função  $\eta$ , entende-se que seu valor é sempre verdadeiro, e ela está sempre habilitada perante as condições normais de disparos das transições de uma rede de Petri..

**Exemplo 3** *Um exemplo de uma rede de Petri controlada por RNA (RPRNA) é apresentado na Figura 5, em que as saídas da RNA vista na Figura 6, definem as funções  $\eta$  para habilitação das transições  $t_1$  e  $t_2$ . Nesta RPRNA, o vetor de entradas da RNA de controle é formado pelas marcações dos lugares  $p_3$ ,  $p_4$  e  $p_5$ , com o vetor de saída sendo os valores de ativação das transições  $t_1$  e  $t_2$ . Esta rede de Petri, considerando as regras de disparo convencionais, apresenta algumas marcações não desejadas, que são as marcações (0 2 2 0 0 0 0), (1 1 1 1 0 0 0 0) e (2 0 0 2 0 0 0 0), que são ambas bloqueios da rede, e são vistas na Figura 7, que apresenta parte do grafo de alcançabilidade desta rede de Petri. Dessa forma, com este simples perceptron visto na Figura 5, pode-se controlar a RP que bloqueia em qualquer das seqüências que apresentam problemas, garantindo que as saídas da RNA*

sejam 0 sempre que um dos lugares  $p_3$  ou  $p_4$  apresentem marcação 1, sendo generalizado pelo aprendizado da RNA em treinamentos com várias outras marcações, para situações que bloquearão a rede dadas por novas marcações iniciais e suas árvores de alcançabilidade. Deve-se observar que, uma vez treinada a RNA para várias marcações da rede de Petri, seu aprendizado garantirá o não bloqueio da mesma.



**Figura 5:** Rede de Petri controlada por RNA



**Figura 6:** RNA utilizada para controlar a evolução da rede de Petri da Figura 5.

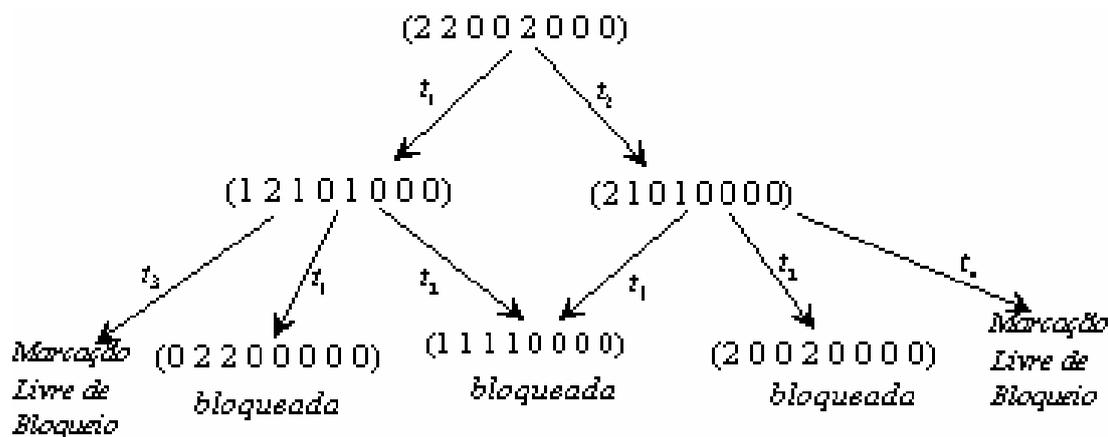


Figura 7: Grafo de Alcançabilidade da rede de Petri da Figura 5.

## Conclusões

Nesse trabalho foi introduzido o conceito de uma nova formalização de controle de SEDs modelados pelo paradigma Redes de Petri, baseado em RNA. Com este novo formalismo, pretende-se fundamentar a garantia de não bloqueio de sistemas modelados por este paradigma, de uma forma sem redundâncias, bem como introduzir novas estratégias que venham a estruturar novas metodologias de controle com observação parcial, bem como estratégias de controle para sistemas híbridos.

Com o exemplo apresentado, pode-se verificar a validação da idéia pré-formulada, em que, atualmente, está sendo desenvolvida uma dissertação de mestrado com este formalismo na busca da utilização do mesmo por meio de perceptrons de múltiplas camadas, bem como a fundamentação deste controle para ser introduzido no CLP, via diagrama Ladder e com perspectivas de trabalhos futuros utilizando a estratégia de controle de evolução dinâmica com entradas contínuas, considerando uma das entradas da RNA como Fuzzy.

Além do mais, este princípio aqui apresentado é a base para o desenvolvimento de um controle inteligente, o qual se pretende aplicar à automação de campos petrolíferos maduros, definindo uma estratégia de alto valor agregado para ampliação de produção e mínima intervenção humana, incluindo aí, a segurança ao meio ambiente para casos de falhas do sistema.

## REFERÊNCIAS

- BARROSO, G.C. **Uma Nova Abordagem para a Síntese de Supervisores de Sistemas a Eventos Discretos**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- CAMPOS, S.R.V, SILVA Jr., M.F., CORREA, J.F., BOLONHINI, E.H. and FILHO, D.F. **Right Time Decision of Artificial Lift Management for Fast Loop Control**. In: SPE Anual Technical Conference and Exhibition, 2006.
- CAMPOS, M.M. e SAITO, K. **Sistemas Inteligentes em Controle e Automação de Processos**. Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- CASSAR, H. **Wireless Condition Monitoring**. In: SPE Anual Technical Conference and Exhibition, 2006.
- COSTA, E.M.M. **Introdução aos Sistemas a Eventos Discretos e à Teoria de Controle Supervisório**. Editora Alta Books, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- COSTA, E.M.M. e LIMA, A.M.N. **Introdução às Redes de Petri e à Modelagem de Sistemas**. Editora da Unibahia, Lauro de Freitas, BA, 2005.
- COSTA, E.M.M. e LIMA, A.M.N. **Sistemas Dinâmicos a Eventos Discretos: Fundamentos Básicos para a Moderna Automação Industrial**. Editora da Universidade Federal da Bahia, EDUFBA, Salvador, BA, 2005.
- DADID, R. and ALLA, H. **Petri Nets for Modeling of Dynamic Systems – A Survey**. Automatica, fev. 1994. vol. 30. p. 175-202.
- FREY, G. **Automatic implementation of Petri net based control algorithms on PLC**. Proc. of the American Control Conference, Chicago, Illinois, pages 2819 - 2823, June 2000.
- FREY, G. and LITZ, L. **Formal methods in PLC programming**. 0-7803-6583-6/00, pages 2431 – 2436, IEEE, 2000.
- GÓES, G.B.S. **Uma Abordagem para a Síntese de Supervisores de Sistemas a Eventos Discretos Utilizando Redes de Petri Síncronas**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal da Bahia, Salvador.

GOING, W.S., THIGPEN, B.L., CHOK, P.M., ANDERSON, A.B. **Intelligent-Well Technology: Are We Ready for Closed-Loop Control?**. In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 2006.

HOPCROFT, J.E. and ULLMAN, J.D. **Introduction to Automata Theory, Languages and Computation**. Addison-Wesley, USA, 1979.

MURATA, T. **Petri Nets: Properties, Analysis and Applications**. In: Proceedings of the IEEE, abr. 1989. vol.77, p.541-580.

NASCIMENTO Jr., C.L. e YONEYAMA, T. **Inteligência Artificial em Controle e Automação**. Editora Edgard Blücher, São Paulo, SP, 2000.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. Pearson Education do Brasil, São Paulo, SP, 2004.

RAMADGE, P.J.G. and WONHAM, W.M. **Supervision of discrete event processes**. In: Proceedings of 21st Conference on Decision and Control, 1982. p.1228–1229.

RAMADGE, P.J.G. and WONHAM, W.M. **The control of discrete event systems**. In: Proceedings of the IEEE, jan.1989. vol.77. p.81–98.

SCHNITMAN, L., CORRÊA, J.F., LEPIKSON, H., BITTENCOURT, A.C., CERQUEIRA, J.F. e JESUS, A.B. **Development of an Intelligent Distributed Management System for Automated Wells (SGPA)**. In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas. Proceedings of the SPE 2002, 2002.

STEEN, E. van der. **An Evolution From Smart Wells to Smart Fields**. In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 2006.

UZAM, M., JONES, A.H. and AJLOUNI, N. **Conversion of petri nets controllers for manufacturing systems into ladder logic diagrams**. Intelligent Machinery Division, Research Institute for Design, Manufacture and Marketing, University of Salford, UK, 1996.

ZHOU, M.C. and DiCESARE, F. **Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems**. Kluwer Academic Publishers. 1993.

## **Parte II**

### **Produção Científica**



Durante a realização desta fase do Projeto, foram produzidos os seguintes materiais, os quais estão classificados como artigos e livros, publicados, aprovados e submetidos:

**Artigos:**

***Revistas:***

Submetidos:

• **Revista Controle & Automação da SBA:**

1. *Síntese de Supervisores de Sistemas a Eventos Discretos Temporizados Através dos Dióides.*

• **Revista Ciência e Engenharia da UFU:**

1. *Síntese de Supervisores de Sistemas a Eventos Discretos com Observação Parcial Baseada em Matrizes de Incidência e Álgebra de Dióides.*

• **Revista Diálogos e Ciência da FTC-FSA:**

1. *Redes de Petri com Temporização Variável.*

2. *Projeto de um Capacímetro Utilizando Amplificadores Operacionais.* Em co-autoria com José de Arimatéia dos Santos, Eng.

3. *Síntese de Supervisores de Sistemas a Eventos Discretos com Observação Total “Aparente”*

***Eventos:***

Publicados:

• **IV SNCA (IV Seminário Nacional de Controle e Automação)**

1. *Supervisores de Sistemas a Eventos Discretos com Adaptação Temporal.*

2. *Formulação de Funções de Transição de Autômatos via Dióides.*

Submetidos:

• **VII SEMPPG (VII Seminário de Pesquisa e Pós-Graduação) e XXV SEMEP (XXV Seminário Estudantil de Pesquisa)**

1. *Desenvolvimento de um protótipo de bomba de extração de Petróleo.*

***Livros:***

**Publicados:**

1. ***Introdução às Redes de Petri e à Modelagem de Sistemas.*** Em co-autoria com Antonio Marcus N. Lima, Dr., UFCG. Editora da Unibahia, Lauro de Freitas, BA, 2005.
2. ***Introdução aos Sistemas a Eventos Discretos e à Teoria de Controle Supervisório.*** Editora Alta Books, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
3. ***Sistemas Dinâmicos a Eventos Discretos: Fundamentos Básicos para a Moderna Automação Industrial.*** Em co-autoria com Antonio Marcus N. Lima, Dr., UFCG. Editora da Universidade Federal da Bahia - EDUFBA, Salvador, BA, 2005.
4. ***Eletromagnetismo: Eletrostática e Magnetostática.*** Editora Alta Books, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
5. ***Animação Gráfica no PC Baseada em C para Windows.*** Editora Alta Books, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
6. ***Escrevendo Trabalhos de Conclusão de Cursos: Guia Prático para Desenvolver Monografias e Teses.*** Editora Alta Books, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
7. ***Programando em C Simples e Prático.*** Editora Alta Books, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
8. ***Eletromagnetismo: Campos Dinâmicos.*** Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
9. ***Álgebra de Dióides e Aplicações aos Sistemas Dinâmicos a Eventos Discretos.*** Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, RJ, 2006.



## **Parte III**

# **Formação de Recursos Humanos**



## **Introdução**

A formação de recursos humanos como parte integrante deste projeto compreende a apresentação de cursos, mini-cursos e palestras a serem apresentados ao público em instituições de ensino do Estado da Bahia, bem como a orientação de alunos de graduação e pós-graduação e preparação de materiais para utilização em acompanhamento de cursos.

### **Disciplinas:**

Durante a realização desta pesquisa, foram ministradas as disciplinas *Sistemas Integrados de Manufatura* (2005), em conjunto com o Professor Herman Augusto Lepikson; *Metodologia da Pesquisa* (2006), em conjunto com os Professores Raimundo José Macedo e Herman Augusto Lepikson e *Sistemas a Eventos Discretos* (2006) no Mestrado em Mecatrônica.

Atualmente, tornei-me Professor Permanente do quadro do Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica (PPGM) da UFBA. Atualmente, encontro-me desenvolvendo pesquisas na área de Mecatrônica neste, Coordenando em conjunto com o Professor Herman Augusto Lepikson o Grupo de Sistemas Inteligentes Distribuídos (GSID).

### **Cursos Assistidos e Participação em Eventos:**

Durante o ano de 2005, tive participação no IV Seminário Nacional de Controle e Automação (IV SNCA) com a apresentação de dois trabalhos técnicos:

1. *Supervisores de Sistemas a Eventos Discretos com Adaptação Temporal.*
2. *Formulação de Funções de Transição de Autômatos via Dióides.*

## **Orientações:**

Também, como parte integrante da formação de recursos humanos, a orientação de trabalhos de pesquisa na área é de importância fundamental. No caso do Mestrado durante este último ano, estou orientando dois alunos em fase de Dissertação (Lázaro Edmilson Brito da Silva e João Bosco Estevam Margarida), e um aluno em fase de créditos (Roque Jorge de Jesus do Carmo). Além do mais, sob minha co-orientação estão os alunos bolsistas ITI referentes a este projeto (Marcos Vinícius Sampaio Santiago e Fernando Pereira Souza), bem como dando apoio na coordenação dos alunos mestrandos envolvidos com o projeto em questão (Luciana de Almeida Pacheco, Placídio de Lima Ferreira Filho e Margarete Oliveira dos Santos de Sá). Entre estes três últimos, a primeira (Luciana de Almeida Pacheco) está envolvida em estruturar a arquitetura do sistema de controle inteligente para gerenciamento e controle de campos de petróleo, baseada em redes de Petri e UML, no qual se pretende inserir os demais projetos satélites no seu contexto. O segundo, Placídio de Lima Ferreira Filho, participante do GSID e aluno especial no PPGM, está estudando a estruturação de um sistema inteligente de transrecepção baseado em ondas curtas, que foi a melhor alternativa avaliada para a estruturação de um módulo de comunicação a longas distâncias, sem necessidades de inserção de antenas entre os campos. Além do mais, este sistema de comunicação deverá apresentar um módulo inteligente mecatrônico cuja antena possa ser auto-regulável a partir de elementos inteligentes para se adaptar a mudanças de frequências impostas ao sistema para segurança. A terceira (Margarete Oliveira dos Santos de Sá) está estudando como estruturar elementos temporizados em linguagens de alto nível para CLP (como a STL), e como gerar a estruturação de redes neurais para controle no CLP, sendo também aluna especial no PPGM.

## **Considerações Finais**

Ao longo do desenvolvimento deste projeto, durante este ano realizaram-se várias atividades técnico-científicas de grande valia, tanto para a formação de recursos humanos, como para o aumento na produção científica do Departamento de Engenharia Mecânica da UFBA, especificamente do Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica.

Neste projeto, foram desenvolvidas a teoria básica do controle de Sistemas a Eventos Discretos por meio das Redes Neurais Artificiais, a qual dá base para o desenvolvimento da dissertação de Mestrado em Mecatrônica do mestrando Lázaro Edmilson Brito da Silva sob minha orientação, bem como para o desenvolvimento de um projeto recém-submetido à ANP: Campo Escola.

No total, foram obtidas duas publicações em Congressos, e algumas ainda se encontram em vias de fundamentação para submissão. Entretanto, o GSID tem trabalhado de forma a um breve espaço de tempo obter algumas publicações com o desenvolvimento do projeto. Além do mais, ainda há alguns artigos submetidos a revistas, além de ter tido durante o ano de 2005 e 2006 a publicação de 9 livros técnico-didáticos em editoras universitárias e comerciais.

Em novembro próximo, um resumo referente aos alunos ITI deste projeto será publicado, no qual a apresentação será feita em painel. Embora ainda não haja nenhuma orientação de Mestrado concluída, pretende-se que os alunos atualmente sob minha orientação, concluam-nas até março de 2007.

Atualmente, estão sendo preparados alguns artigos que serão submetidos ao Seminário Nacional de Controle e Automação (V SNCA) a ser realizado em Salvador, BA, em 2007, bem como ao SBAI e outros eventos internacionais. Além do mais, há o projeto de desenvolvimento de mais um livro didático já avançado, em conjunto com um participante do SGPA, cujo assunto é Redes Neurais Artificiais, além de um livro de cunho geral (literatura) no prelo e outro em preparação.

Neste último mês, foi apresentado um curso de extensão para divulgação do conhecimento na área de Sistemas a Eventos Discretos e Controladores Lógico Programáveis, em conjunto com Lázaro Edmilson Brito da Silva.

Além destas contribuições científicas, um processo de avaliação de trabalho para o CBA foi realizada.

Pôde-se observar a grande divulgação da pesquisa ao longo deste ano, o que trouxe um grande arcabouço teórico-prático para o Estado da Bahia, embora em princípio, tenha sido um projeto puramente teórico. Tal desenvolvimento de ferramentas trouxe uma nova perspectiva no desenvolvimento de controle de Sistemas a Eventos Discretos, definindo uma nova abordagem para o controle de Sistemas a Eventos Discretos.

No geral, afirmo que houve uma imensa contribuição em minha formação pessoal, profissional e acadêmico-científica e ao Estado da Bahia, gerada pelo desenvolvimento deste Projeto de Pesquisa junto à Universidade Federal da Bahia, e fomentada pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), o que exponho com grande satisfação, esperando que a teoria apresentada como base neste relatório seja ampliada de forma a absorver o contexto dos sistemas híbridos e abrindo grandes perspectivas na contribuição ao conhecimento científico envolvendo este contexto.