



CONVERSÃO DE REDE DE PETRI INTERPRETADA EM LINGUAGEM LADDER: METODOLOGIA E EXEMPLO

Matheus Ungaretti Borges – matheusungaretti@gmail.com
UFMG, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha
31270-901 – Belo Horizonte – Minas Gerais

Eduardo José Lima II – ejlima2@gmail.com
UFMG, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha
31270-901 – Belo Horizonte – Minas Gerais

Resumo: *Sistemas a eventos discretos é uma área do conhecimento que dentro da engenharia mecânica pode solucionar vários problemas de automação em plantas industriais. Uma forma organizada de representar esses eventos é utilizando uma ferramenta chamada rede de Petri interpretada. As bibliografias existentes trabalham as definições de rede de Petri e definem uma metodologia para a sua implementação. O objetivo deste artigo é explicar tais definições e ilustrar de forma didática com um exemplo de uma aplicação industrial para separação de peças metálicas em uma linha de montagem.*

Palavras-chave: *CLP, Ladder, Rede de petri interpretada*

1. INTRODUÇÃO

O ensino de engenharia pode apresentar diversas abordagens. Dentre elas estão: a tradicional e a humanista. Na abordagem tradicional, o conhecimento é centrado no professor e os alunos são meros coadjuvantes que executam os conteúdos apresentados nas disciplinas. Já na abordagem humanista, o professor é apenas um vetor e as próprias experiências do aluno é que constroem efetivamente o conhecimento. O professor geralmente não faz uso exclusivo de uma abordagem, mas uma mistura de tais abordagens. É necessária uma atualização dos métodos de educação em massa que engessam o aluno e o torna mero reprodutor de conteúdos. Portanto, é importante que o aluno tenha a habilidade de buscar e incorporar o conhecimento para depois aplicá-lo em outras situações. Uma forma de aprendizagem é o fornecimento de um problema real que cria um contexto para que o aluno desenvolva habilidades de resolução de problemas (COLENCI, 2000).

A rede de Petri (RdP) é uma ferramenta de modelagem para sistemas a eventos discretos (SED), cuja teoria foi desenvolvida em 1962 pelo cientista italiano C. A. Petri (ZHOU & TWISS, 1998). No contexto educacional, sua utilização é extremamente útil, pois é uma forma organizada de descrever uma série de eventos. Além disso, seu uso não fica restrito à explicação do professor em sala de aula. É possível montar uma bancada didática no laboratório com um exemplo de sistema eletropneumático com cilindros, atuadores e sensores para demonstrar alguma aplicação industrial, neste caso, a separação de peças metálicas em



uma linha de produção. A RdP pode ser implementada em um CLP através da linguagem ladder, cuja metodologia será explicada para melhorar o entendimento do aluno, possibilitando com que ele perceba como a teoria funciona no exemplo didático. Posteriormente, conhecendo este recurso, o aluno poderá aplicá-lo para resolução de outros problemas. Para exemplificar, pode-se citar o desenvolvimento de outra metodologia para o ensino do método cascata para implementação de circuitos pneumáticos (ZINATO & LIMA II, 2015). Sendo assim, o desenvolvimento de uma metodologia pode ser considerada uma ferramenta de ensino para validação do conhecimento que o aluno adquiriu tanto em sala de aula como em um laboratório didático.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, serão apresentadas as definições de rede de Petri (RdP) e rede de Petri interpretada (RdPi).

2.1. Rede de Petri

A rede de Petri (RdP), por definição (MURATA, 1989), pode ser representada por um vetor 5-uplo $RdP=(P, T, F, W, M_0)$, onde:

$P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ é um conjunto finito de lugares

$T=\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ é um conjunto finito de transições

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ é um conjunto de arcos

$W=F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ é a função peso

$M_0=P \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ é a marcação inicial, $P \cap T = \emptyset$ e $P \cup T \neq \emptyset$

Neste modelo, foram usados os conceitos de condições e eventos, que estão relacionados a lugares e a transições, respectivamente (MURATA, 1989). Uma transição é a conexão de um número finito de lugares de entrada (pré-condições) e de saída (pós-condições). A marcação inicial representa a distribuição de fichas na RdP. Uma ficha em um lugar significa que as condições associadas àquele lugar são verdadeiras. O número de fichas em um lugar também pode indicar a quantidade de recursos disponíveis e, nesse caso, o lugar pode possuir k fichas. Lugares que podem ter uma ficha, no máximo, são denominados lugares seguros. Uma rede composta apenas de lugares seguros é denominada rede segura. Quando a RdP é segura, a função peso W possui todos os elementos iguais a um, visto que nenhum lugar pode ter mais de uma ficha.

2.2. Rede de Petri interpretada

A rede de Petri interpretada (RdPi), por definição (FREY, 2000), é um tipo específico de RdP que contém mais informações do que a convencional. Sendo assim, ela é definida por um vetor 9-uplo $RdPi=(P, T, F, M_0, I, O, \varphi, \omega, \Omega)$, onde os quatro primeiros elementos foram descritos anteriormente para a RdP convencional. Os outros elementos são definidos a seguir.

I é um conjunto de sinais lógicos de entrada com $|I|>0$

O é um conjunto de sinais lógicos de saída com $I \cap O = \emptyset$, $|O|>0$

φ é um mapa que associa cada transição $t_i \in T$ com uma condição de disparo, tal que $\varphi(t_i)$ = função booleana em I

ω é um mapa que associa cada lugar $p_i \in P$ com uma saída $\omega(p_i) \in (0, 1, -)$, onde (-) significa ‘não importa’

Ω é uma função de saída que combina as saídas ω de todos os lugares marcados, tal que $\Omega: m \rightarrow (-, 1, 0, c, r_0, r_1, c_0, c_1, c_{01})$. A combinação da saída pode ser indefinida (-), um (1), zero (0), contraditória (c), redundante em zero ou em um (r_0, r_1), ou uma combinação de contradição e redundância (c_0, c_1, c_{01}).



Transições podem ser interpretadas como um fluxo de fichas pela rede. Isso significa que quando uma transição é ativada, uma ficha é removida de cada pré-lugar e colocada em cada pós-lugar conectados a ela. Entretanto, há quatro regras específicas que devem ser satisfeitas para que a transição seja disparada.

1. Uma transição é permitida, se todos os pré-lugares estiverem marcados e todos os pós-lugares estiverem desmarcados.
 2. Uma transição dispara imediatamente, se estiver permitida e suas condições de disparo forem satisfeitas.
 3. Todas as transições que puderem ser disparadas e que não estejam em conflito com outras transições disparam simultaneamente.
 4. O processo de disparo é iterado até atingir uma marcação estável (i.e., até nenhuma transição poder disparar mais). Disparos iterados são interpretados como simultâneos. Isso também significa que uma mudança nos valores do sinal de entrada não pode ocorrer durante o processo de disparo.
- Depois de atingir uma nova marcação estável, os sinais de saída são recalculados aplicando Ω à marcação. (FREY, 2000)

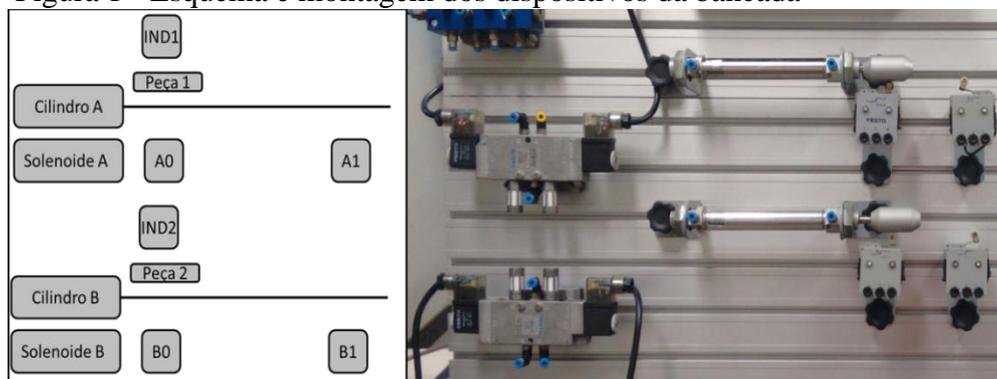
3. METODOLOGIA

Dadas essas definições sobre RdPi, foi desenvolvida uma metodologia para converter uma RdPi em linguagem ladder (FREY, 2000). Esta metodologia define os sinais de entrada e saída de um CLP para cada transição e evento. A cada lugar p_i é atribuído um valor de uma função booleana: VERDADEIRO para lugares marcados e FALSO para lugares desmarcados, considerando uma RdPi segura, na qual cada lugar pode ter apenas uma ficha no máximo. Então, satisfazendo todas as condições, as transições disparam, desmarcando todos os pré-lugares e marcando todos os pós-lugares.

3.1. Modelagem do exemplo a ser discutido

A metodologia de Frey será aplicada em um exemplo de uma bancada didática com dois cilindros pneumáticos (Figura 1) para demonstrar a aplicabilidade desta metodologia para a implantação da linguagem ladder em um CLP para sistemas industriais.

Figura 1 - Esquema e montagem dos dispositivos da bancada

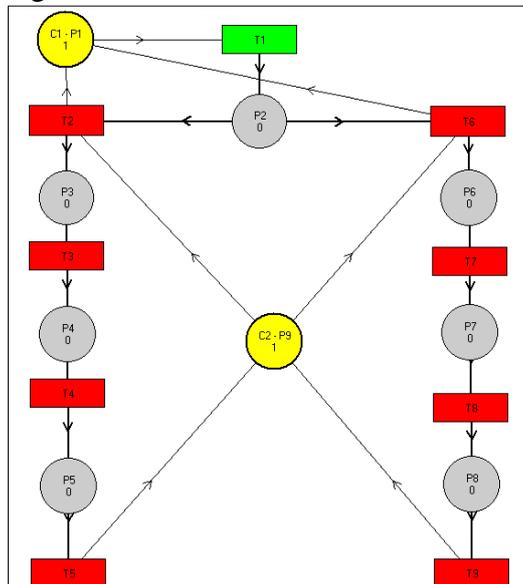


A função desta bancada é simular a separação de peças metálicas. Se ambas as peças forem metálicas, os cilindros avançarão juntos e recuarão separados. Em qualquer outro caso, os cilindros avançarão separados e recuarão juntos. A seguinte rede de Petri (Figura 2) foi



construída para representar este sistema com diferentes sequências usando programa elaborado em (LIMA II & DÓREA, 2002).

Figura 2 – Rede de Petri



As definições de RdP (MURATA, 1989) e RdPi (FREY, 2000) serão aplicadas no contexto deste exemplo.

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_9\}$ (a rede possui 9 lugares)

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_9\}$ (a rede possui 9 transições)

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ (os arcos estão representados na Figura 2)

$W = F \rightarrow \{1\}$ (todos os arcos possuem peso unitário)

$M_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$ (a marcação inicial pode ser escrita de forma vetorial representando quantas fichas cada lugar possui inicialmente)

$I = [A0, A1, B0, B1, ST, IND1 \text{ e } IND2]$ (os sinais de entrada são fornecidos pelos sensores do sistema; neste caso, temos sete sinais de entrada: os sensores de fim de curso dos cilindros A (A0 e A1) e B (B0 e B1), o botão start (ST) e os sensores indutivos (IND1 e IND2) para reconhecer se as peças são metálicas)

$O = [AADV, ARET, BADV, BRET]$ (os sinais de saída são os comandos que serão acionados; são quatro comandos possíveis: avanço de A, retorno de A, avanço de B e retorno de B)

As funções booleanas em I , $\varphi(t_i)$, estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Funções de disparo de cada transição

$\varphi(t_1) =$	ST
$\varphi(t_2) =$	IND1 & IND2
$\varphi(t_3) =$	A1 & B1
$\varphi(t_4) =$	A0
$\varphi(t_5) =$	B0
$\varphi(t_6) =$	(nIND1 & IND2) OU (IND1 & nIND2) OU (nIND1 & nIND2)
$\varphi(t_7) =$	A0
$\varphi(t_8) =$	B1
$\varphi(t_9) =$	A0 & B0



O mapa associativo ω dos lugares $p_i \in P$ com uma saída $\omega(p_i) \in (0, 1, -)$ vem da análise dos comandos executados para cada marcação da rede. Serão apresentados com vetores (Tabela 2) nos quais os sinais aparecerão na seguinte ordem $\omega(p_i)=[AADV, ARET, BADV, BRET]$.

Tabela 2 - Estado de cada saída para cada lugar da RdPi

$\omega(p_1)=$	[-, -, -, -]
$\omega(p_2)=$	[-, -, -, -]
$\omega(p_3)=$	[1, 0, 1, 0]
$\omega(p_4)=$	[0, 1, -, -]
$\omega(p_5)=$	[-, -, 0, 1]
$\omega(p_6)=$	[1, 0, -, -]
$\omega(p_7)=$	[-, -, 1, 0]
$\omega(p_8)=$	[0, 1, 0, 1]
$\omega(p_9)=$	[-, -, -, -]

No modelo apresentado, a árvore de alcançabilidade da rede não apresenta nenhuma marcação em que a função Ω seja contraditória. Dessa forma, a função ω é suficiente para definir os valores das saídas.

3.2. Construção do programa em ladder

A construção do programa ladder a partir da RdPi passa pela escrita de três tipos de linhas: as de transição, as de lugar e a de inicialização da memória (para determinar a marcação inicial). A ordem com que essas linhas aparecem não é importante, visto que ladder é uma linguagem não sequencial. Entretanto, por motivos de organização e didática, elas serão escritas nesses blocos e ordenadas nas possíveis sequências da RdPi. Isso, inclusive, facilita a identificação de erros e também a conferência da lógica de programação. Para adotar a mesma nomenclatura já utilizada anteriormente, as entradas, saídas e memórias do CLP serão endereçadas de acordo com a seguinte tabela de endereços (Tabela 3).

Tabela 3 - Endereçamento das entradas, saídas e memórias do CLP

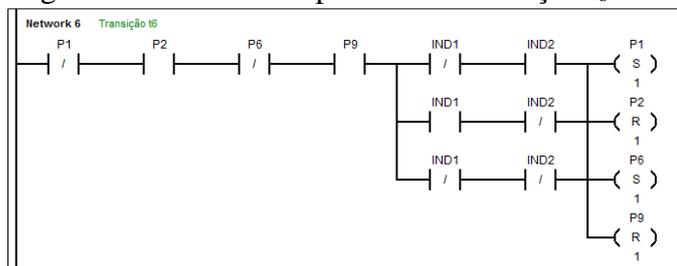
Entradas	Endereço	Saídas	Endereço	Memórias	Endereço
A0	I0.0	AADV	Q0.0	P1	M0.1
A1	I0.1	ARET	Q0.1	P2	M0.2
B0	I0.2	BADV	Q0.2	P3	M0.3
B1	I0.3	BRET	Q0.3	P4	M0.4
ST	I0.4			P5	M0.5
IND1	I0.5			P6	M0.6
IND2	I0.6			P7	M0.7
				P8	M1.0
				P9	M1.1

O primeiro bloco a ser comentado será o bloco das transições. Cada linha ladder representa o disparo de uma transição. A linha verifica se os pré-lugares da transição estão marcados e os pós-lugares estão desmarcados e se a condição de disparos da transição, função $\varphi(t_i)$ é satisfeita. Caso a transição seja disparada, as fichas são redistribuídas na rede pela



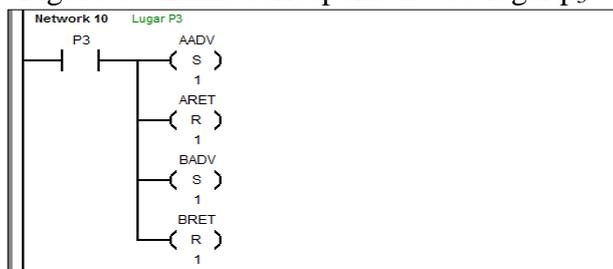
utilização das funções set e reset. A linha mostrada na Figura 3 representa a lógica OU da transição t_6 , ou seja, qualquer uma das três ramificações desta linha dispara a transição.

Figura 3 – Linha correspondente à transição t_6



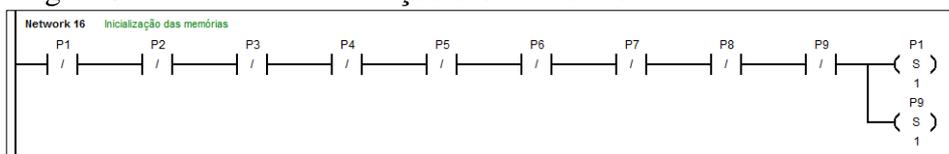
O segundo bloco a ser comentado será o bloco dos lugares. A linha correspondente a cada lugar indica quais saídas serão acionadas se aquele respectivo lugar estiver marcado. A linha mostrada na Figura 4 representa que, no lugar p_3 , o avanço dos cilindros A e B são comandados simultaneamente.

Figura 4 – Linha correspondente ao lugar p_3



Por último, será apresentada a linha de inicialização das memórias (Figura 5). Basicamente, no primeiro ciclo de varredura, todas as memórias estarão desligadas, devendo ser ligadas as memórias correspondentes aos lugares marcados na marcação inicial M_0 .

Figura 5 – Linha de inicialização das memórias



4. CONCLUSÃO

O presente artigo apresentou a aplicação da metodologia de conversão de uma rede de Petri interpretada para ladder para sua implementação em CLP (FREY, 2000) com um exemplo didático para sedimentação do conhecimento. Com este conteúdo, é possível que os alunos possam propor soluções para outros problemas industriais diferentes do apresentado a partir da formulação lógica e da construção da RdPi, bastando aplicar a metodologia descrita neste artigo ao novo sistema proposto.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COLENCI, Ana; BELHOT, Renato; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola de Engenharia de São Carlos. O ensino de engenharia como uma atividade de serviços: a exigência de atuação em novos patamares de qualidade acadêmica, 2000. 131p, il. Dissertação (Mestrado).

FREY, G. Automatic Implementation of Petri Net Based Control Algorithms on PLC. Proceedings of the American Control Conference, Chicago, p.2819-2823, 2000.

LIMA II, Eduardo; DÓREA, Carlos; UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, Escola Politécnica. Uma Metodologia para a Implementação através de CLPS de Controle Supervisório de Células de Manufatura Utilizando Redes de Petri, 2002. 195p, il. Dissertação (Mestrado).

MURATA, T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. Proceedings of the IEEE, v. 77, n. 4, p. 541-580, 1989.

ZHOU, M.; TWISS, E. Design of Industrial Automated Systems Via Relay Ladder Logic Programming and Petri Nets. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics – part C applications and reviews, v. 28, n. 1, p. 137-150, 1998.

ZINATO, G. A. G.; LIMA II, E. J. Proposição de uma metodologia de ensino do método cascata para implementação de circuitos pneumáticos. Anais: XLIII – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. São Bernardo do Campo: UFABC, 2015.

CONVERTION OF A SIGNAL INTERPRETED PETRI NET TO LADDER LANGUAGE: METHODOLOGY AND EXAMPLE

Abstract: *Discrete event systems (SED) it is a research area that, in mechanical engineering, can be used to solve a sort of automation problems in industrial plants. An organized way of representing these events is using a tool called Signal Interpreted Petri Net (SIPN). The existing bibliography on this subject defines Petri Nets and a methodology for its implementation. The objective of this paper is explaining these definitions and illustrating in a didactic way with an example of an industrial application to separate blocks on an assembly line.*

Key-words: *PLC, Ladder, Signal interpreted petri net*