

4: SBRC

RECIFE - 24 A 26 DE MARÇO 86

VALIDAÇÃO DE PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO ATRAVÉS DE REDE DE PETRI : APLICAÇÃO EM SINALIZAÇÃO TELEFÔNICA

Shusaburo Motoyama

Walter da Cunha Borelli

Magda Patrícia Caldéira Arantes

Roberto T. Tamura

DEE/FEC - UNICAMP

Caixa Postal 6122

13.100 - Campinas - S.P.

SUMÁRIO

O objetivo deste trabalho é apresentar um método de validação de protocolos utilizando um analisador automático de rede de Petri denominado SIPRO.

O método consiste em transformar um protocolo escrito em uma linguagem de projeto conhecida (diagrama de estado, SDL, etc.) para rede de Petri. A rede de Petri equivalente é analisada no SIPRO para investigar as suas propriedades que indicam o bom funcionamento do protocolo.

Este método é exemplificado em um protocolo para sinalização telefônica e tem-se mostrado de grande eficiência e de fácil utilização.

1 - INTRODUÇÃO

As redes de comunicação são compostas de um grande número de unidades geograficamente separadas. A interação e cooperação destas unidades são conseguidas através de trocas de sinais que devem obedecer um conjunto de regras e procedimentos. Este conjunto constitui o que é chamado protocolo de comunicação.

Os protocolos de comunicação, geralmente complexos e extensos, são normalmente divididos em protocolos dedicados e mais simples de acordo com o

estágio alcançado na comunicação. Assim podemos utilizar um protocolo para estabelecimento e preparação de uma comunicação, outro para transferência de informações (após efetuada a conexão) e um terceiro para finalizar a comunicação.

A ISO (International Standards Organization) [1] possui uma recomendação, baseada no Modelo de Referência de Interconexão de Sistemas Abertos, no sentido de padronizar esta divisão de protocolos em várias camadas onde cada uma desempenha um conjunto de funções específicas que é adicionado às aquelas desempenhadas pelas camadas inferiores.

Baseado neste modelo ou em outros modelos padronizados pelo CCITT muitos protocolos estão sendo implementados. Mas, na maioria das vezes, os protocolos são implementados de uma maneira informal levando a falhas inesperadas, não previstas nas circunstâncias da rede. É então necessário se ter às mãos um método eficiente para análise formal de protocolos visando a sua validação.

Um método que tem se apresentado muito eficiente para o estudo do comportamento dinâmico dos protocolos e portanto eficiente na validação dos mesmos é baseado na rede de Petri.

O objetivo deste trabalho é apresentar um método de validação de protocolos utilizando um analisador automático de Rede de Petri denominado SIPRO e exemplificar num protocolo de sinalização telefônica.

Os fundamentos básicos da teoria da Rede de Petri são apresentados na seção 2. Na seção 3 é apresentado o analisador automático de Rede de Petri implementado (SIPRO). A seguir, na seção 4 o método de validação de protocolos utilizando-se o SIPRO é exemplificado no protocolo para Sinalização Telefônica.

Finalmente a seção 5 é dedicada a apresentação de conclusões e considerações futuras.

2 - REDE DE PETRI : CONCEITOS

2.1 - Noções Básicas sobre Rede de Petri

Uma Rede de Petri (RP) pode ser representada por quatro entidades, a saber: (L, T, α, β) , onde:

L : é o conjunto dos NL lugares (na representação gráfica um círculo corresponde a um lugar)

T : é o conjunto das NT transições (na representação gráfica uma barra corresponde a uma transição).

α : $L \times T \rightarrow N$: é uma função de transferência direta

β : $L \times T \rightarrow N$: é uma função de transferência reversa.

N : conjunto dos números inteiros positivos.

A representação gráfica comumente usada na literatura específica de uma rede de Petri e que será adotada neste trabalho consiste de lugares e barras de transições, que são interligadas por arcos dirigidos. Os lugares dos quais saem arcos incidentes a uma transição (doravante a barra de transição será chamada simplesmente transição) são chamadas lugares de entrada daquela transição e os lugares que são acessados por arcos que saem de uma transição são os lugares de saída daquela transição. Um lugar é chamado de entrada ou saída sempre em função a uma transição.

Na figura 1 os lugares l_1, l_2, l_3 são lugares de entrada da transição t , e os lugares l_4 e l_5 são lugares de saída da transição t .

Um lugar pode estar vazio ou ocupado com uma ou mais senhas (tokens). Na figura 1 o lugar l_1 está ocupado por duas senhas, os lugares l_2, l_3 e l_4 por apenas uma senha enquanto que o lugar l_5 está vazio.

As transições podem disparar alterando o estado (ou Marcação) da rede. Isto significa que a cada disparo de uma transição o número de senhas nos seus lugares de saída e de entrada alteram-se modificando a marcação da Rede de Petri.

O número inteiro positivo associado ao arco que une um lugar a uma transição ou vice-versa é chamado de peso do arco. Se o arco une um lugar de entrada a uma transição, associado a ele tem-se o peso de entrada (pe) e este peso representa o número de senhas que este lugar irá perder após o disparo da transição. Da mesma forma, se o arco une uma transição a um lugar de saída, associado a ele está o peso de saída (ps) que representa o número de senhas que o lugar ganha após o disparo da transição. Quando em uma representação gráfica de uma rede de Petri o peso não é especificado no arco, subentende-se que ele é igual a um.

A seguir são apresentadas as mais importantes definições e conceitos sobre a RP da forma que foram implementados no pacote de software SIPRO [2, 3] aqui a ser referenciado simplesmente por programa SIPRO.

- Marcação

Uma marcação da RP corresponderá a um vetor de dimensão NL, onde cada componente $M(\ell)$ é igual ao número de senhas do lugar ℓ , para todo $\ell \in L$. Uma marcação da RP representa um estado do sistema correspondente.

- Marcação inicial (M_0)

É a marcação a partir da qual a rede será analisada, ou seja, corresponde ao estado inicial do sistema.

- Marcação decorrente (M)

É uma marcação qualquer, acessível após um ou mais disparos, partindo da marcação inicial M_0 .

- Conjunto $\{M_0\}$ de marcações

É o conjunto de todas as marcações decorrentes M.

- Sequência de disparos (σ)

É uma a sequência de transições disparáveis que leva a rede de uma marcação M_i a outra M_j , para quaisquer i e j tais que $M_i \in \{M_0\}$ e $M_j \in \{M_0\}$. A sequência será representada por:

$$M_i \xrightarrow{t_a} M_{i+1} \xrightarrow{t_b} \dots \xrightarrow{t_k} M_j$$

ou resumidamente:

$$M_i \xrightarrow{\sigma} M_j, \text{ onde } \sigma = [t_a, t_b, \dots, t_k] \text{ representa uma sequência de transições}$$

- Lista de marcações

Corresponderá a uma tabela com todas as marcações decorrentes M, $M \in \{M_0\}$.

- Máquina de senhas

É uma tabela que apresenta para cada marcação $M_i \in \{M_0\}$, o conjunto das transições que podem disparar e respectivas marcações atingidas.

2.2 - Propriedades da Rede de Petri

Aqui serão apresentadas as formas como as propriedades da RP clássica (limitabilidade, reiniciabilidade e vivacidade) estão definidas e implementadas no programa SIPRO.

2.2.1 - Limitabilidade

Para uma dada marcação inicial M_0 uma rede de Petri será considerada limitada por um valor inteiro e positivo n , se para qualquer marcação decorrente da marcação inicial M_0 , o número de senhas em todo lugar l_j for sempre menor ou igual a n . Isto é: $\forall M \in \{M_0\}$ e $\forall l_j \in L$, $M(l_j) \leq n$, para $j=1,2,\dots,NL$

Deve-se observar que se $n = 1$ a rede é conhecida como rede segura e que enquanto em uma rede limitada o número de marcações é finito, em uma rede não limitada este número é infinito (que significa o sistema correspondente não pode ser implementado).

2.2.2 - Vivacidade

Para uma dada marcação inicial M_0 uma RP será considerada viva se para toda marcação $M_i \in \{M_0\}$ e para toda transição $t_i \in T$ existir uma sequência de disparos (σ), que contenha t_i e uma marcação $M_j \in \{M_0\}$ tal que:

$$M_i \xrightarrow{\sigma} M_j .$$

Deve-se observar que um sistema representado por uma RP viva é dito ser livre de impasses (deadlock), ou seja, o sistema não possui situações conflitantes. Além disso pode-se dizer que qualquer estado do sistema é acessível.

2.2.3 - Reiniciabilidade

Para uma dada marcação inicial M_0 , uma RP será considerada reiniciável se para qualquer marcação decorrente $M \in \{M_0\}$ existir uma sequência de disparos tal que faça a rede voltar a marcação inicial M_0 . Isto é:

$$M \in \{M_0\} , \exists \sigma/M \xrightarrow{\sigma} M_0.$$

Deve-se observar que um sistema representado por uma RP reiniciável pode retornar ao seu estado inicial após a execução de uma ou mais tarefas. Esta condição, geralmente constitui-se em uma condição necessária ao bom funcionamento do sistema.

3 - PACOTE DE SOFTWARE PARA ANÁLISE DE REDES DE PETRI : PROGRAMA SIPRO

Para analisar automaticamente as propriedades de Rede de Petri foi desenvolvido um programa denominado SIPRO [2, 3].

O SIPRO foi implementado de modo conversacional interagindo com o usuário através de cardápios de opções que podem ser solicitados pelo mesmo. O programa é também auto-explicativo, no sentido de fornecer, na tela, mensagens relativas ao nível de análise em que ele se encontra e mensagens sobre o próximo procedimento a ser executado pelo usuário.

3.1 - Estrutura Básica

O programa SIPRO é constituído de quatro módulos, a saber: PET 0, PET 1, PET 2 e PET 5.

O módulo PET 0 faz a descrição e alteração da rede, cria o arquivo DADO.DAT contendo a descrição da mesma.

O módulo PET 2 documenta a rede que está descrita no arquivo DADO.DAT.

O módulo PET 1 testa todas as propriedades (limitada, viva e reiniciável) da RP clássica. Ele cria o arquivo RESULT.DAT o qual é utilizado no módulo PET 5 para a documentação do resultado da análise.

A execução do programa deve sempre ser iniciada pelo PET 0. Os programas interagem com o usuário através de cardápios.

Será apresentado agora como os módulos interagem com o usuário e entre si, primeiro de uma forma descritiva e a seguir sob a forma de fluxogramas.

Ao chamar o módulo PET 0, na tela, será apresentado ao usuário o cardápio principal contendo as seguintes opções:

- 1 - Descrição da Rede de Petri
- 2 - Alteração da rede
- 3 - Documentação da rede
- 4 - Análise da rede
- 5 - Fim da execução

1^a opção: Se a primeira opção for escolhida, na tela aparecerá o seguinte sub-cardápio :

- 1.1 - Descrição via Console. (Significa que o usuário deverá entrar com os dados estruturais da rede respondendo a um questionário fornecido pelo programa. Então será criado um arquivo chamado DADO.DAT contendo estes dados).
- 1.2 - Descrição via arquivo. (Significa que o usuário já tem a rede descrita em algum arquivo e deverá fornecer o nome do mesmo ao programa. Este arquivo será copiado em DADO.DAT).
- 1.3 - Fim. (Esta opção chama o cardápio principal).

2^a opção: Aqui é facultado ao usuário a opção de alteração da rede. O cardápio para alteração da rede apresentado na tela é o seguinte:

- 2.1 - Insere lugar.
- 2.2 - Insere transição.
- 2.3 - Retira lugar.
- 2.4 - Retira transição.
- 2.5 - Alteração relativa a uma transição. (O usuário poderá modificar os lugares de entrada, de saída e pesos dos arcos).
- 2.6 - Nome das transições. (Para modificação dos nomes de uma ou mais transições).
- 2.7 - Nome dos lugares. (Para modificação dos nomes de um ou mais

lugares).

2.8 - Marcação inicial. (Para modificação da marcação inicial).

2.9 - Fim. (O cardápio principal é chamado).

Quando o programa chama o cardápio principal o arquivo DADO.DAT conterá a rede com as alterações realizadas.

3^a opção: Na terceira opção é pedida a documentação da rede. O programa chama o módulo PET 2 onde é feita a documentação da rede já descrita e arquivada em DADO.DAT. Ao usuário é apresentado o seguinte cardápio:

3.1 - Dispositivo de saída. (Aqui o usuário poderá optar pela tela, por um outro arquivo ou pela impressora).

3.2 - Saída em nome ou código. (Isto porque na descrição da rede o usuário pode ter dado nome aos lugares e transições e agora ele tem duas alternativas: Nomes ou apenas os números relativos a cada transição e lugar).

3.3 - Rede completa. (Para cada transição é fornecido quais são os lugares de entrada e saída com respectivos pesos dos arcos).

3.4 - Rede por partes. (Será perguntado de qual transição o usuário está pedindo informações).

3.5 - Marcação inicial.

3.6 - Tabela de nomes e códigos. (Para cada transição ou lugar esta tabela fornece o número e o nome associado).

3.7 - Fim. (O cardápio principal é chamado).

4^a opção: Aqui é pedida a análise da rede. O módulo PET 1 é requisitado para fazer a análise da rede descrita no arquivo DADO.DAT. O sub-cardápio apresentado será:

4.1 - Clássica. (É feita a análise clássica, ou seja, as propriedades de limitabilidade, vivacidade e reiniciabilidade serão testadas e será criado o arquivo RESULT.DAT que conterá o resultado desta análise).

4.2 - Documentação do resultado. (Aqui o programa irá chamar o PET 5 que documentará os resultados armazenados no arquivo

RESULT.DAT. É apresentado na tela um cardápio com as seguintes opções:

- 4.2.1 - Dispositivo de saída. (Pode ser a tela, outro arquivo, ou a impressora de saída).
- 4.2.2 - Lista de Marcações. (Será apresentado todas as marcações alcançáveis da rede, elas aparecerão enumeradas).
- 4.2.3 - Máquina de senhas por partes. (É perguntado para qual marcação o usuário deseja informações).
- 4.2.4 - Máquina de senhas completa. (Será apresentado sob a forma de tabela, da seguinte forma:
 Marcação (atual) - Transição que dispara : Próxima marcação).
- 4.2.5 - Resultado da Análise Clássica. (Fornece o resultado, caso a rede seja reiniciável, fornece também os números das marcações que não se reiniciam).
- 4.2.6 - Fim. (Volta ao cardápio de Análise da rede).

4.3 - Fim. (Volta ao cardápio principal)).

5ª opção: Na quinta opção do cardápio principal a execução do programa é finalizada.

O fluxograma relativo ao programa SIPRO é apresentado na Figura 2 (a), (b), (c) e (d).

4 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO: PROTOCOLO DE SINALIZAÇÃO TELEFÔNICA

A metodologia de validação de protocolo utilizando o programa SIPRO consiste das seguintes etapas:

- a) Descreve-se o protocolo em uma linguagem de projeto conhecida (diagrama de estado, SDL, etc.).
- b) Converte-se o protocolo para o modelo de RP equivalente [5] e analisa-se a rede utilizando o SIPRO.

- c) Se for encontrada alguma imperfeição na rede (ou seja, a não verificação de alguma das propriedades de RP clássica) verifica-se qual o problema existente, corrige-se o protocolo e volta-se ao item (a) para reiniciar o processo.

A seguir será proposto um protocolo para sinalização de uma chamada telefônica e o mesmo será validado utilizando-se o SIPRO [3].

O protocolo proposto pode ser dividido em três processos:

- Processo (A) representando os estados de uma chamada telefônica do assinante A denominado chamador.
- Processo (B) representando os estados do assinante B a ser chamado por A.
- Processo (C) representando os estados envolvidos na central telefônica C.

Sejam os seguintes parâmetros envolvidos na sinalização de uma chamada telefônica:

a.1 - Estados do chamador A

ALVR : Assinante A livre
 ESPTO : Esperando tom de discar
 ESPCA : Tocando campainha e esperando B atender
 ACONV : Assinante A conversando.

a.2 - Sinais de saída do chamador A

DC : Sinal dc (corrente contínua) para a central telefônica
 ENVVG : Enviando dígitos para a central telefônica
 AGNCH : Sinal para a central telefônica indicando que o telefone A está no gancho.

a.3 - Sinais de entrada do chamador A

BI : Bloqueio inicial (não há registrador livre)
 SBI : Sem bloqueio inicial (recebendo tom de discar)
 BOCP : Usuário B ocupado ou dígitos inválidos
 ACA : Usuário A recebendo tom de campainha
 BATD : Central informa que o assinante B atendeu
 BNATD : Chamada não atendida pelo assinante A

b.1 - Estados do assinante B (Chamado por A)

BLVR : Assinante B livre
BCONV : Assinante B conversando

b.2 - Sinais de saída do assinante B

BFGCH : Fone B fora do gancho
NB : Chamada não atendida

b.3 - Sinais de entrada do assinante B

AGCHB : A central informa B que o fone A está no gancho
BCA : Tom de campainha para o assinante B

c.1 - Estados da central telefônica

CLVR : Procurando assinante fora do gancho
ESPDG : Esperando dígitos
NREG : Não há registradores livres esperando fone A no gancho
ESPB : Esperando o fone B estar fora do gancho
DGINV : Dígitos inválidos e esperando fone A no gancho
CONEC : Assinante A conectado com B.

c.2 - Sinais de entrada da central telefônica

São os sinais de saída dos assinantes A e B.

c.3 - Sinais de saída da central telefônica

São os sinais de entrada dos assinantes A e B.

A figura 3 mostra a nomenclatura usada nos diagramas de estados correspondentes aos processos A, B e C, os quais estão apresentados na figura 4 (a), (b) e (c).

Para a conversão do protocolo de um processo representado em diagrama de estados (DE) para a representação em Rede de Petri (RP) equivalente foram utilizadas as seguintes regras:

- a) Um estado do DE será representado por um lugar na RP; uma saída do DE será representada por um lugar na RP; uma entrada do DE será representada por um lugar na RP.
- b) Para cada par estado-entrada da representação em DE, é definida uma

transição na rede de Petri. Os lugares de entrada da transição correspondem ao estado e a entrada do DE, e os lugares de saída da transição correspondem ao próximo estado e a saída do DE:

EXEMPLO: A rede de Petri equivalente do DE da figura 4 (b) é mostrada na figura 5.

As regras acima se aplicam a cada processo individualmente. Para se fazer a interconexão dos processos, leva-se em consideração que os lugares de saída de um processo são os lugares de entrada do outro processo e vice-versa (veja mais detalhes na referência [4]).

Assim, a rede de Petri equivalente pode ser construída para os três processos interconectados. Entretanto, pode-se verificar por inspeção que essa rede equivalente teria mais que 20 lugares e 20 transições e portanto não poderia ser analisada com o SIPRO. Isto porque, atualmente, o programa se encontra implementado no CP700 da Prológica e por uma questão de memória disponível possui a limitação de analisar redes contendo, no máximo, o número de lugares citado acima [2, 3]. Optou-se pela divisão do protocolo em partes e aplicação do método de validação a estas partes cujas RP equivalentes possuem menos que 20 lugares e 20 transições. Esta divisão depende de cada protocolo e deve ser cuidadosamente estudada. No exemplo, o protocolo pode ser dividido em duas partes relativamente independentes. A primeira parte representa a interação entre os processos A e C na fase inicial da sinalização. Nessa fase apenas os processos A e C trocam mensagens de sinalização. A segunda parte representa os três processos interagindo correspondendo a fase final de sinalização.

O método de validação consiste então em se verificar, inicialmente, a existência de alguma imperfeição na primeira parte da rede utilizando-se o SIPRO. Assim, as imperfeições encontradas são corrigidas. Quando a primeira parte estiver funcionando perfeitamente, faz-se um modelo simplificado para esta rede, utilizando-se o mínimo possível de lugares e transições (isto dependerá de cada protocolo). As redes de Petri equivalentes da primeira parte (com 16 lugares e 16 transições) e da segunda parte (com 17 lugares e 12 transições) são mostradas respectivamente nas figuras 6 e 7.

Os resultados da análise pelo SIPRO da primeira parte são mostrados no Apêndice 1. Verificou-se que a rede não possui imperfeições (isto é, a rede é limitada, viva e reiniciável). Assim na figura 7 a RP da primeira parte foi substituída por dois lugares e duas transições. O lugar de entrada da

transição t_1 é o lugar ALVR, e a saída é o lugar ESPCA (todos os outros lugares e todas as outras transições do processo A estão representados apenas pela transição t_1). O lugar de entrada da transição t_7 é o lugar CLVR e o lugar de saída é ligado diretamente ao lugar ESPB (todos os outros lugares e todas as outras transições do processo C estão representados apenas pela transição t_7). Desse modo, houve uma redução considerável nos números dos lugares e transições da rede.

Os resultados da análise dessa segunda parte da rede são mostrados no Apêndice 2.

Os resultados mostram que a rede é livre de imperfeições (a rede é limitada, viva e reiniciável) indicando que o funcionamento do protocolo correspondente é perfeito.

5 - CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado uma metodologia para a validação de protocolos utilizando um analisador automático de Rede de Petri denominado SIPRO. Esta metodologia foi aplicada a um exemplo de protocolo para a sinalização de uma chamada telefônica.

O SIPRO opera de modo conversacional, e é auto-explicativo o que facilita a sua utilização.

O método de validação apresentado tem-se mostrado de grande eficácia em muitos exemplos rodados [3] e [5].

O programa SIPRO que está implementado no CP700 da Prológica possui a limitação de análise de RP contendo no máximo 20 lugares e 20 transições. Entretanto introduziu-se uma técnica adicional de divisão dessas RP em sub-redes para fazer suas análises separadamente.

Ainda não se tentou validar protocolos divididos em camadas devido a limitações que ainda existem no SIPRO. Porém técnicas de redução e invariante estão sendo implementadas e o programa está sendo transferido para o PDP10 de forma a possibilitar o estudo de protocolos de grande porte.

6 - BIBLIOGRAFIA

- [1] W.C. Borelli, L. Guimarães, M. Marton, "Arquitetura de Rede de Computa-

- dores e Protocolos de Comunicação". Contrato DILIAS - FEC 1984.
- [2] S. Motoyama, W.C. Borelli, R.T. Tamura, "Rede de Petri - Análise e Simulação". RT-16, Pub. FEC 021/85, 1985.
- [3] S. Motoyama, M.P.C. Arantes, W.C. Borelli, R.T. Tamura, "SIPRO 3: Estudos de Casos". RT-19, Pub. FEC 084/85, 1985.
- [4] J.L. Peterson, "Petri Net Theory and Modelling of Systems". Prentice-Hall, Inc., 1981.
- [5] W.C. Borelli, M. Marton, S. Motoyama, "Conversão de SDL para a Rede de Petri", RT-20, Pub. FEC 100/85, 1985.

7 - APÊNDICE 1

Dados da rede da Figura 4.4

CÓDIGO E NOME DOS LUGARES

l_1	=	ALVR
l_2	=	ESPTO
l_3	=	ESPCA
l_4	=	AGNCH
l_5	=	DC
l_6	=	BI
l_7	=	SBI
l_8	=	ENVVG
l_9	=	BOCP
l_{10}	=	ACA
l_{11}	=	CLVR
l_{12}	=	ESPDG
l_{13}	=	NREG
l_{14}	=	ESPB
l_{15}	=	DGINV
l_{16}	=	BCA

MARCAÇÃO INICIAL

l_1	=	1
l_{11}	=	1

Análise da rede da figura 4.4

LISTA DE MARCAÇÕES

Marcação -	ℓ_1	ℓ_2	ℓ_3	ℓ_4	ℓ_5	ℓ_6	ℓ_7	ℓ_8	ℓ_9	ℓ_{10}	ℓ_{11}	ℓ_{12}	ℓ_{13}	ℓ_{14}	ℓ_{15}	ℓ_{16}
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
7	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
10	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
11	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
12	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
14	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
15	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

MÁQUINA DE SENHAS COMPLETA

Marcação - Barra que pode ser Disparada : Próxima Marcação

1 -	1	:	2													
2 -	2	:	1					9	:	3			11	:	4	
3 -	3	:	5					8	:	6						
4 -	4	:	7													
5 -	1	:	8					11	:	1						
6 -	7	:	5					14	:	9			15	:	10	
7 -	1	:	11					12	:	1						
8 -	2	:	5					10	:	2						
9 -	5	:	12													
10 -	6	:	13													
11 -	2	:	7					12	:	2						
12 -	1	:	14					16	:	1						
13 -	1	:	15					13	:	1						
14 -	2	:	12					16	:	2						
15 -	2	:	13					13	:	2						

Resultado da Análise da Rede da Figura 4.4

**** Rede viva e Reiniciável ****

8 - APÊNDICE 2Dados da Figura 4.5

CÓDIGO E NOME DOS LUGARES

ℓ1	=	ALVR
ℓ2	=	ESPCA
ℓ3	=	ACONV
ℓ4	=	AGNCH
ℓ5	=	ENVDG
ℓ6	=	ACA
ℓ7	=	BOCP
ℓ8	=	BATD
ℓ9	=	CLVR
ℓ10	=	ESPB
ℓ11	=	CONEC
ℓ12	=	AGCHB
ℓ13	=	BCA
ℓ14	=	NB
ℓ15	=	BFGCH
ℓ16	=	BLVR
ℓ17	=	BCONV

MARCAÇÃO INICIAL

ℓ1	=	1
ℓ9	=	1
ℓ16	=	1

Análise da rede da figura 4.5

LISTA DE MARCAÇÕES

Mar.	ℓ1	ℓ2	ℓ3	ℓ4	ℓ5	ℓ6	ℓ7	ℓ8	ℓ9	ℓ10	ℓ11	ℓ12	ℓ13	ℓ14	ℓ15	ℓ16	ℓ17
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
2	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
6	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
8	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
10	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
11	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
12	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
13	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1

MÁQUINA DE SENHAS COMPLETA

Marcação - Barra que pode ser Disparada : Próxima Marcação

1 -	1 :	2		
2 -	7 :	3		
3 -	10 :	4	11 :	5
4 -	6 :	6		
5 -	9 :	7		
6 -	3 :	1		
7 -	2 :	8	5 :	9
8 -	1 :	10	8 :	11
9 -	4 :	8		
10 -	8 :	12		
11 -	1 :	12	12 :	1
12 -	7 :	13	12 :	2
13 -	12 :	3		

Resultado da Análise

**** Rede viva e Reiniciável ****

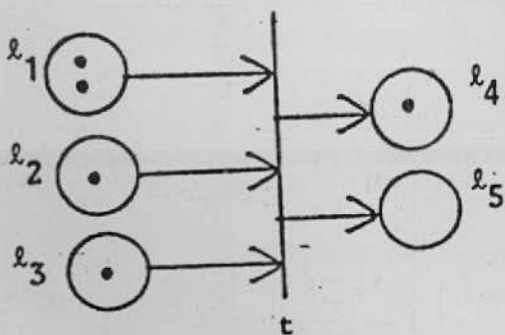


FIG. 1 - Exemplo de lugares de entrada e saída em uma R.P.

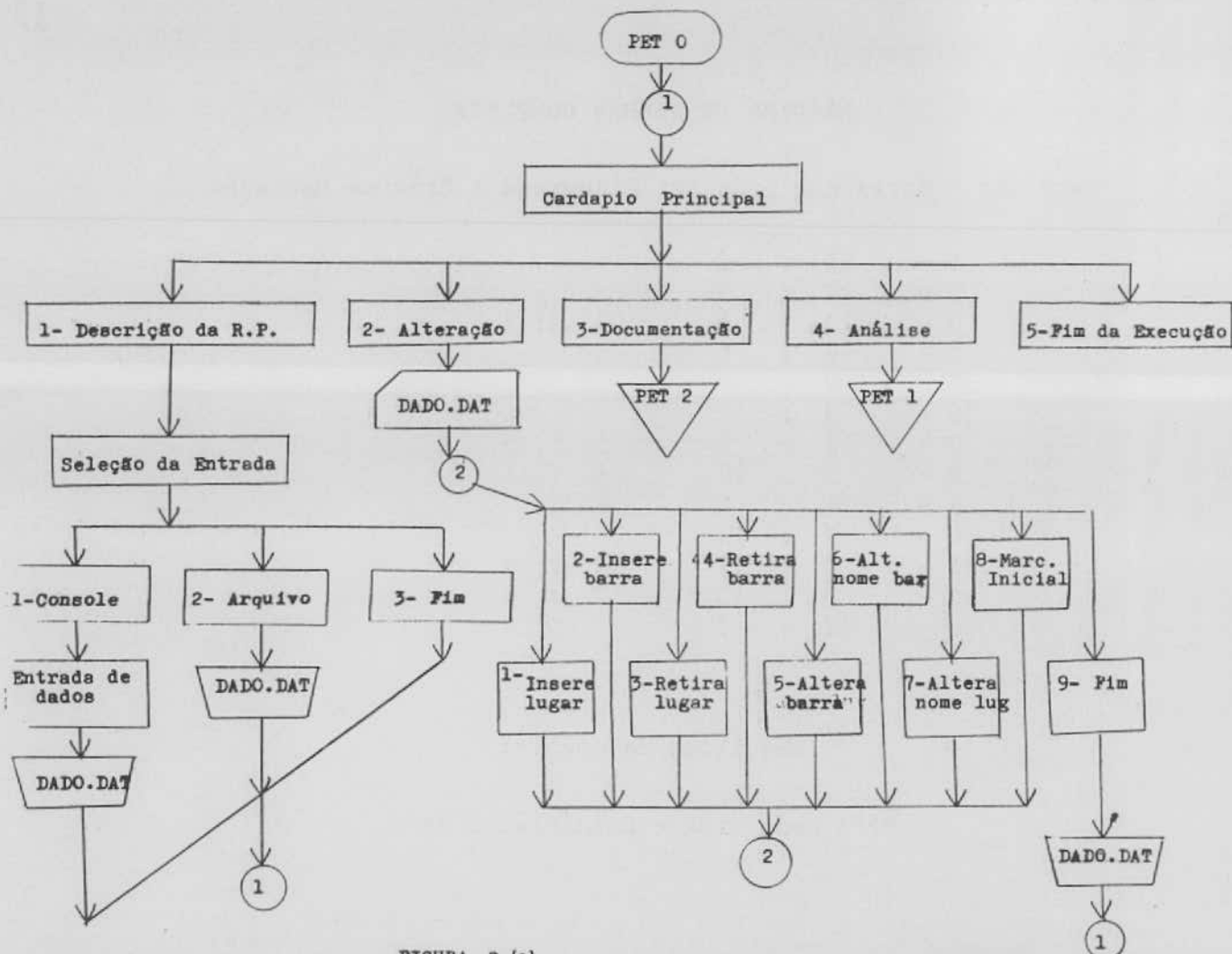


FIGURA 2 (a)

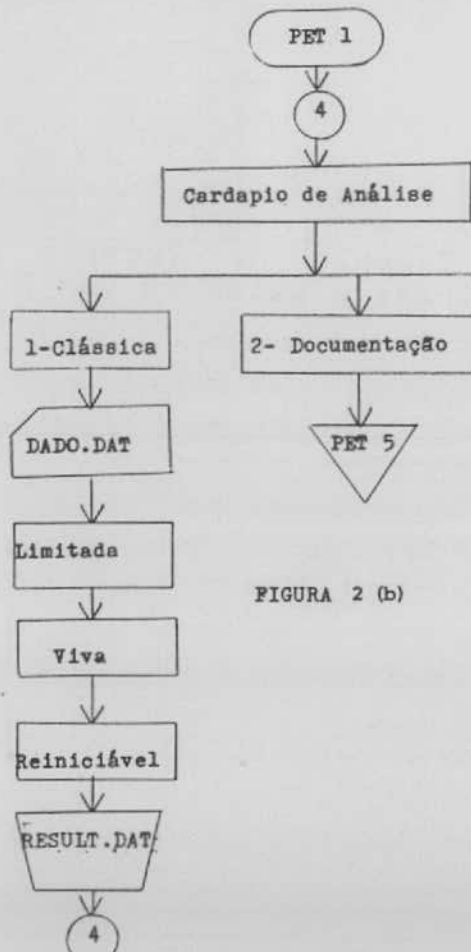


FIGURA 2 (b)

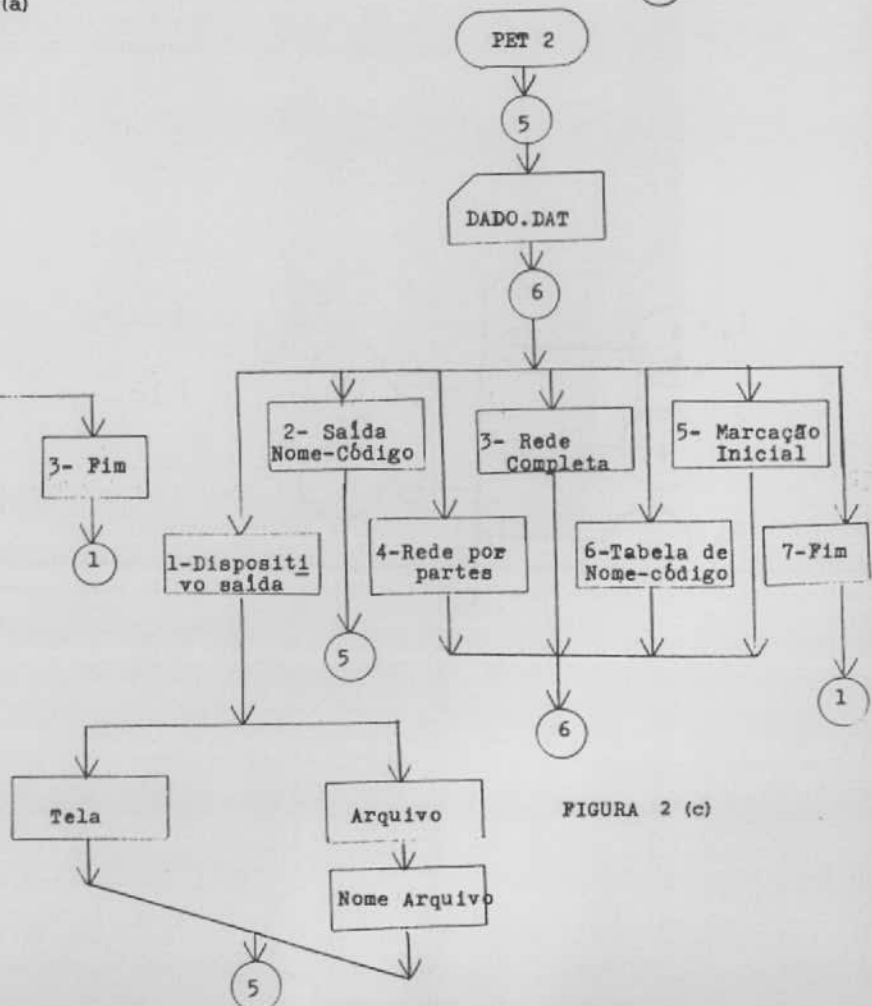


FIGURA 2 (c)

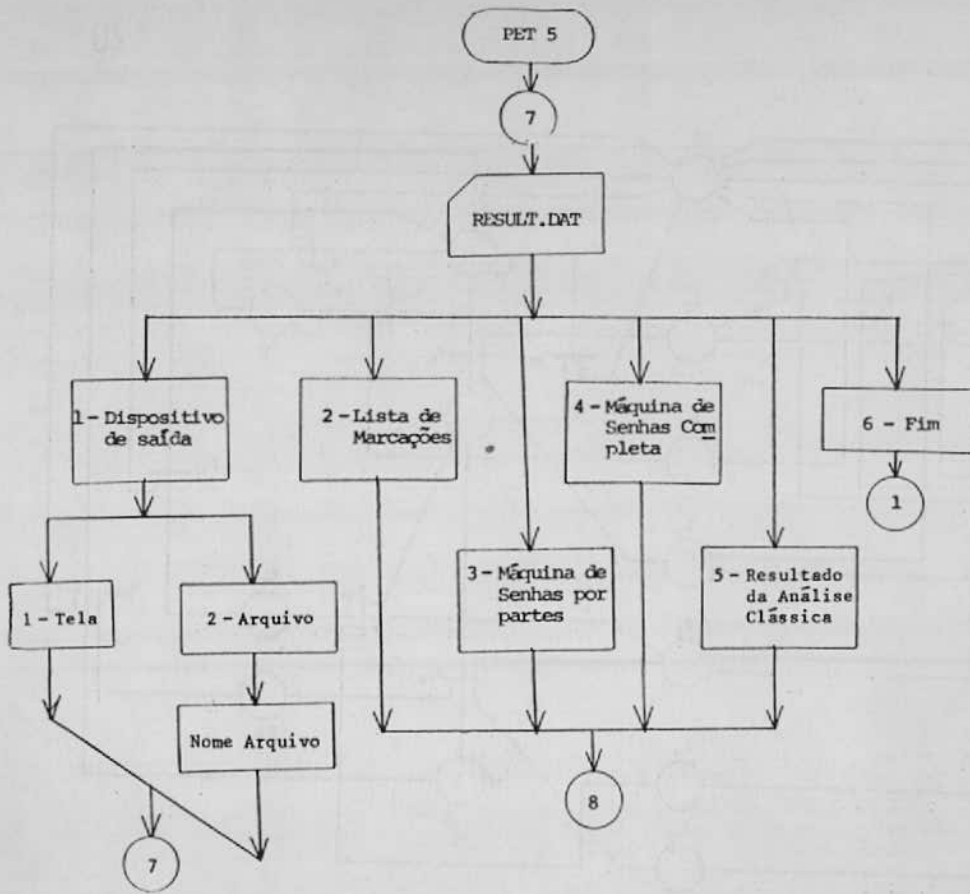


FIGURA 2 (d)

FIGURA 2 - Fluxograma do Programa SIPRO

- (a) Módulo PET 0
- (b) Módulo PET 1
- (c) Módulo PET 2
- (d) Módulo PET 5

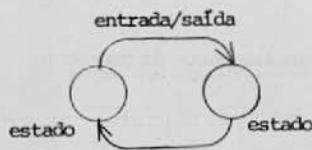
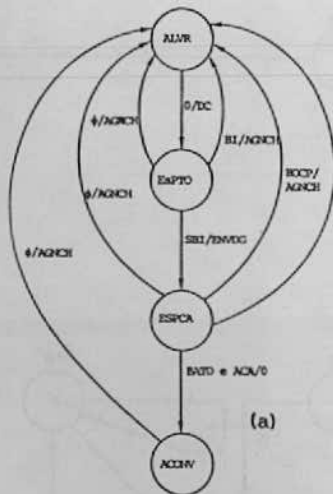


FIG. 3 - Nomenclatura usada nos diagramas de estados da Fig. 4

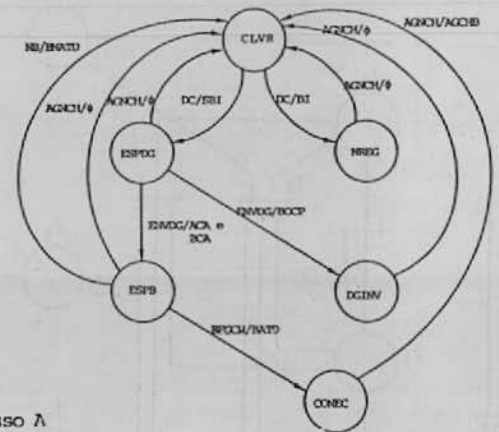
OBS: Se não houver entrada ou saída isto é representado por zero (0).



(a)



(b)



(c)

FIG. 4 - Protocolo de Sinalização de uma chamada Telefônica

- (a) Diagrama de estados do Processo A
- (b) Diagrama de estados do Processo B
- (c) Diagrama de estados do Processo C

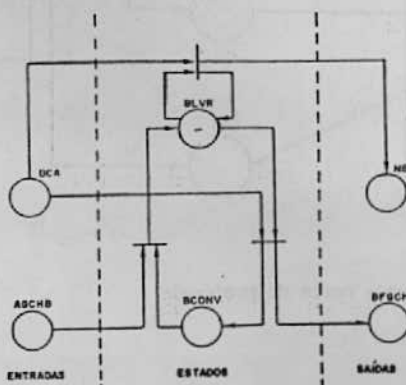


FIG. 5 - Rede de Petri equivalente do diagrama de estados da Fig. 4 (b)

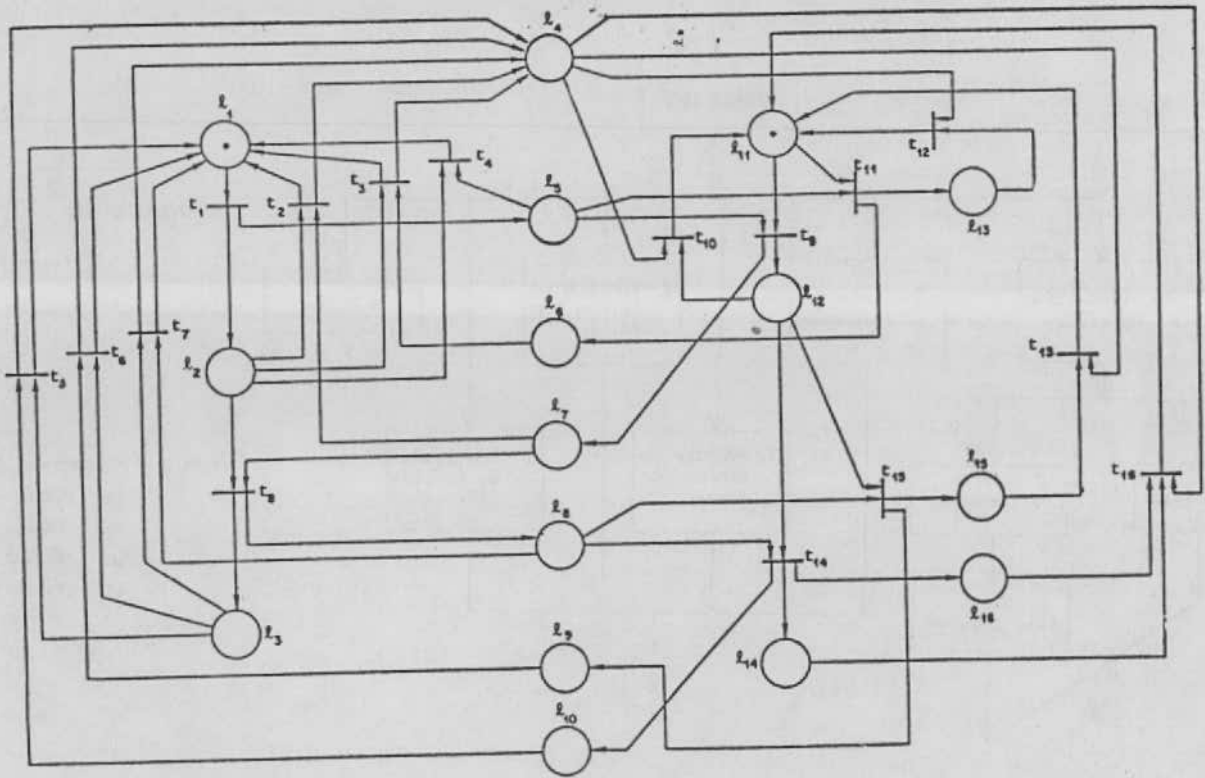


FIGURA 6 - Rede de Petri equivalente da primeira parte do protocolo

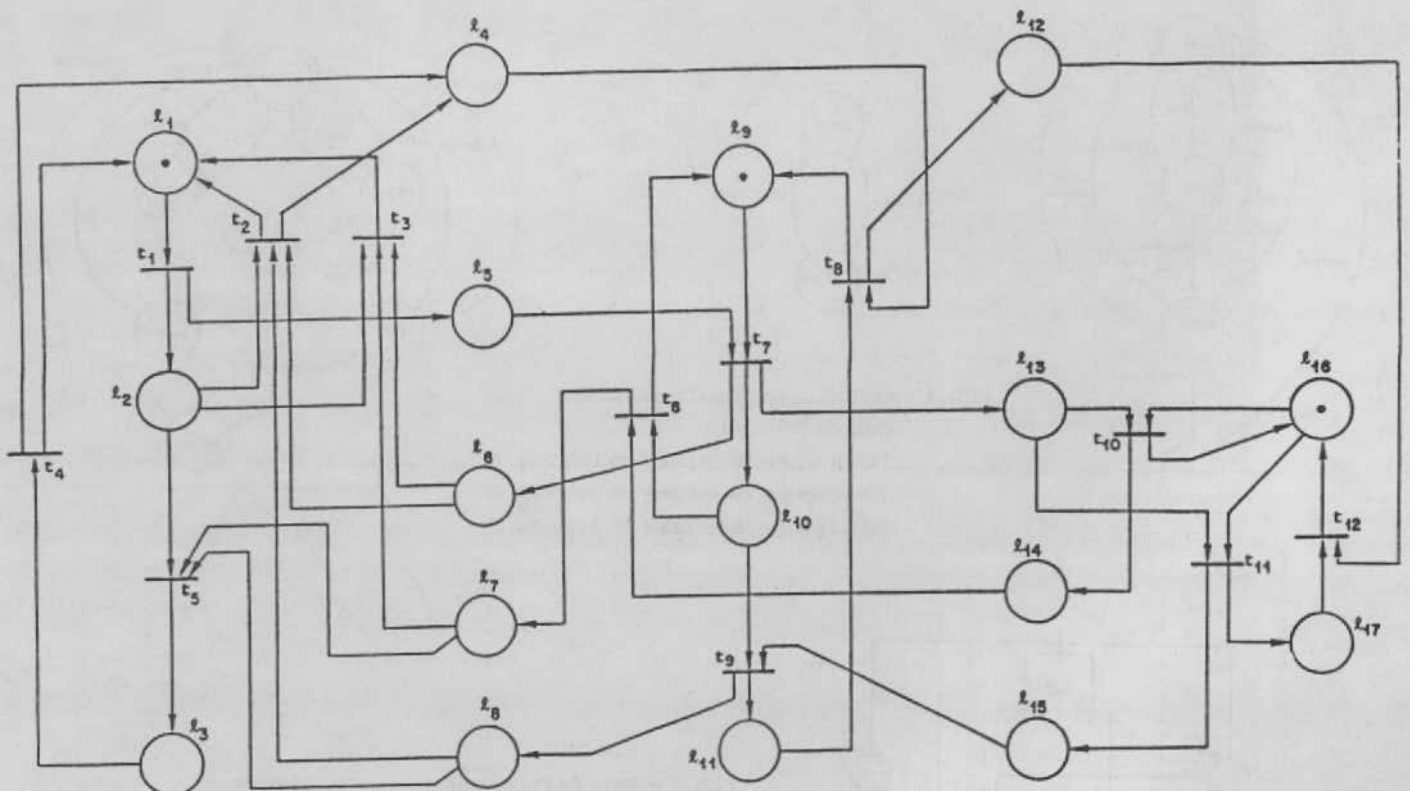


FIGURA 7 - Rede de Petri equivalente da segunda parte do protocolo