



# **GRAFCET**

## **Gráfico Funcional de Comando Etapa-Transição**

Pedro Urbano B. de Albuquerque

**GRAFCET** (acrónimo do francês *Graphe Fonctionnel de Commande, Etapes Transitions*)

- 1977 quando a AFCET (*Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique*) juntamente com a ADEPA (*Agence nationale pour le DEveloppement de la Production Automatisée*) definiram o GRAFCET como uma representação gráfica que traduz, sem ambiguidade, a evolução do ciclo de um sistema de automação sequencial.
- 1988 o GRAFCET foi adaptado como um padrão internacional, pela norma IEC 848 e é atualmente denominado por :

**SFC** (*Sequential Function Chart*)

# Introdução

Técnicas utilizadas para descrever comportamentos sequenciais:

- Fluxogramas
- Diagrama de estado (autômatos)
- Redes de Petri
- Diagramas de Trajeto e Passo (acionamentos pneumáticos)
- GRAFCET
- Outros formalismos

**GRAFCET**  $\Rightarrow$  método gráfico de apoio à concepção de sistemas industriais automatizados, que permite representar, através de modelos do tipo dos gráficos de estados, o comportamento de sistemas sequenciais.

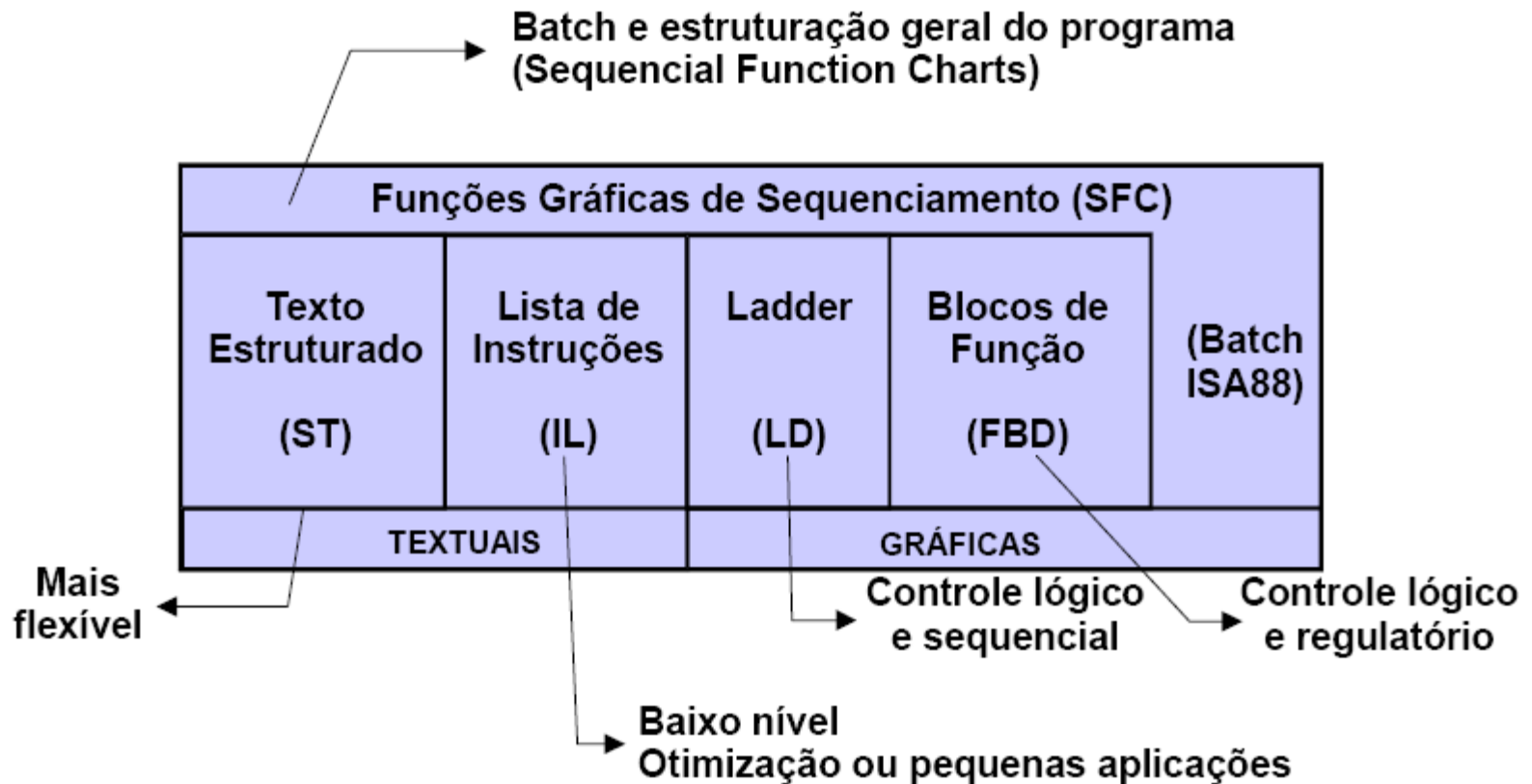
## Características do GRAFCET:

- Facilidade de interpretação
- Modelagem do seqüenciamento
- Modelagem de funções lógicas
- Modelagem da concorrência
- Fabricantes de CLP adotam o GRAFCET como linguagem de programação
- Rastreabilidade de eventos

### Adequada para:

- **Estruturação de Programas e Blocos de Função**
- **Controle seqüencial  $\Rightarrow$  Receitas e Seqüenciamento Discreto**
- **Controle de estados  $\Rightarrow$  Máquina de Estados Finitos e Algoritmos**
- **Tomadas de decisão  $\Rightarrow$  Árvore de decisões**

# GRAF CET ⇒ SFC



# SFC - Funções Gráficas de Seqüenciamento

## Elementos de programação:

**Passo ou Etapa:** estado do programa onde as ações são executadas; representa um dos estados do sistema, ou de uma parte do sistema.

**Transição:** condição pela qual o programa muda de estado, passando de um ou mais passos antecessores para um ou mais passos sucessores; representa uma evolução possível entre dois dos estados do sistema.

**Ação:** atividade de controle executada num determinado passo. Pode ser configurada em qualquer uma das 5 linguagens; representa uma ordem enviada ao processo físico quando estiver ativa a etapa a que a ação está associada.

# SFC - Funções Gráficas de Seqüenciamento

## Elementos de programação:

**Ramificação:** permite gerar divergência e convergência de seqüências do programa;

**Receptividade:** Representa uma condição associada a uma transição, cujo valor depende do estado do processo físico que autoriza o disparo dessa transição;

**Ligações orientadas ou arcos (LINK):**

# SFC - Funções Gráficas de Seqüenciamento

## DECLARAÇÃO

## SÍMBOLO

## CONTEÚDO DA FUNÇÃO

PASSO



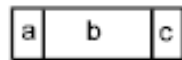
NOME  
CONDIÇÃO (ATIVA OU INATIVA)  
TEMPO DECORRIDO

TRANSIÇÃO



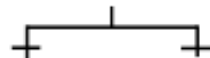
NOME, ENTRADA LÓGICA NO DIAGRAMA LADDER  
OU NOS BLOCOS-DE-FUNÇÕES

AÇÃO

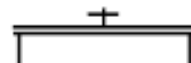


a: QUALIFICADOR (OPCIONAL)  
b: AÇÃO\*  
c: RETORNO (RESULTADO  
LÓGICO OPCIONAL)

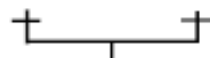
RAMIFICAÇÕES



DIVERGENTE E  
SEPARADO (OR)



DIVERGENTE E  
SIMULTÂNEO (AND)



CONVERGENTE E  
SEPARADO (OR)



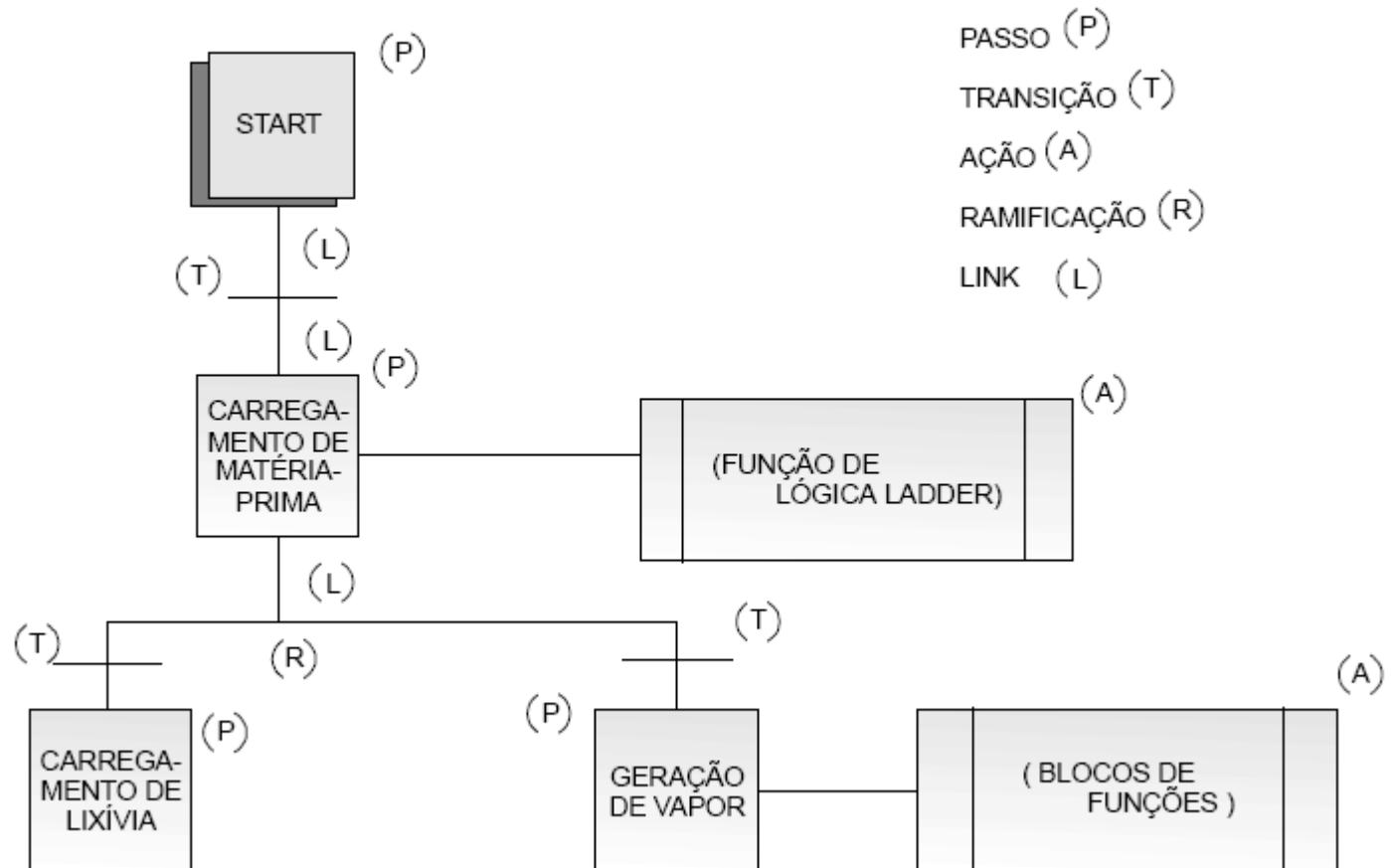
CONVERGENTE E  
SIMULTÂNEO (AND)

	NENHUM
N	NÃO ARMAZENADO
R	RESET
S	SET (ARMAZENADO)
L	LIMITADO PELO TEMPO
D	COM ATRASO DE TEMPO
P	PULSO
SD	ARMAZENADO E ATRASADO
DS	ATRASADO E ARMAZENADO
SL	ARMAZENADO E LIMITADO



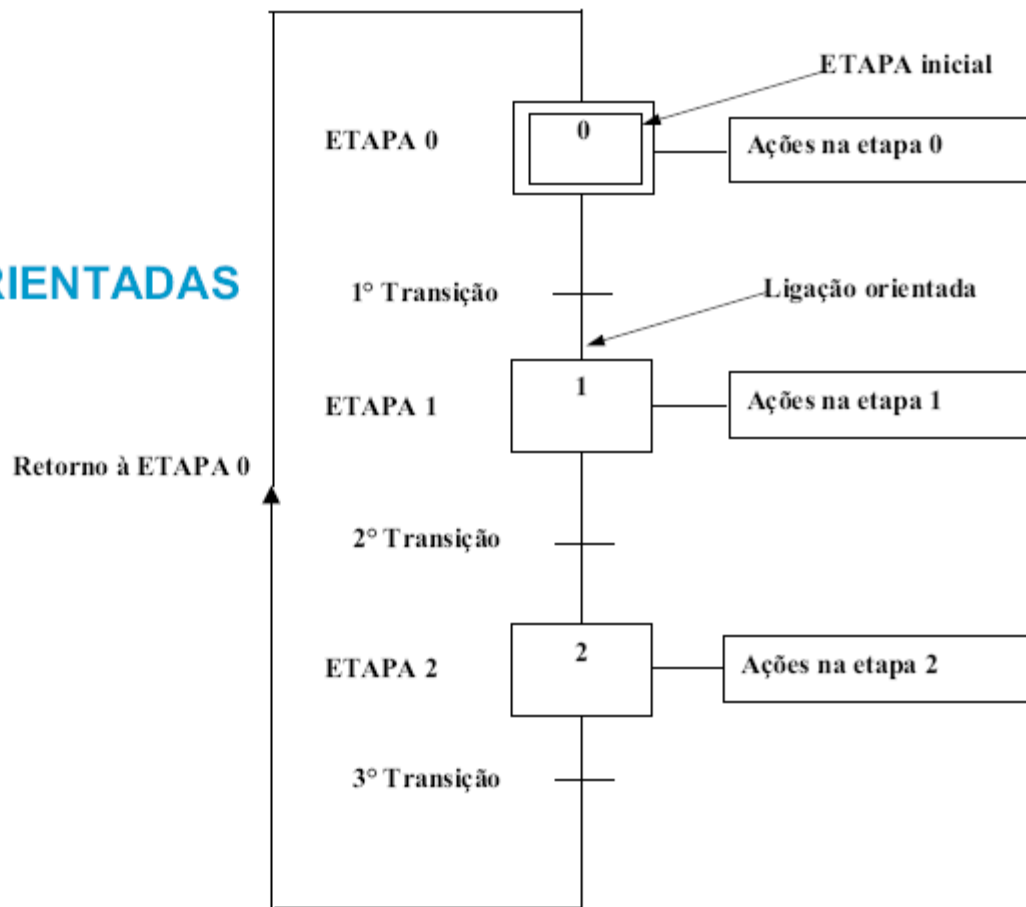
# SFC - Funções Gráficas de Seqüenciamento

## SFC - *Sequential Function Chart*

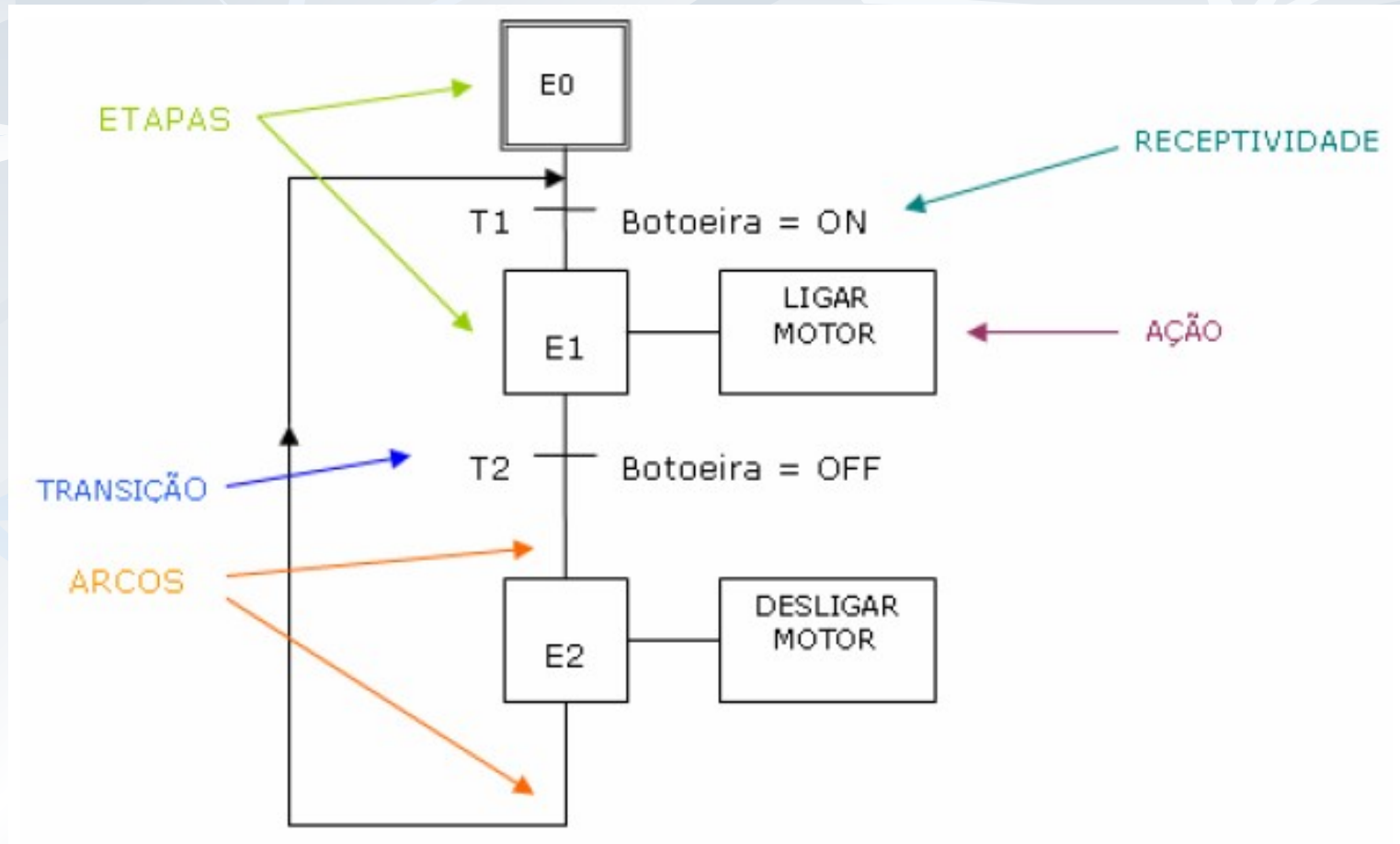


# SFC - Funções Gráficas de Seqüenciamento

- ETAPAS
- TRANSIÇÕES
- LIGAÇÕES ORIENTADAS
- AÇÕES

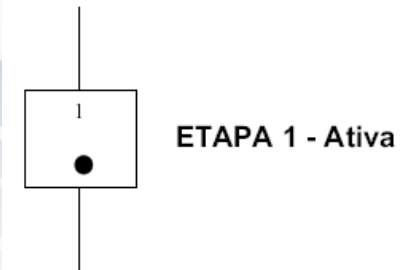


# SFC - Funções Gráficas de Seqüenciamento



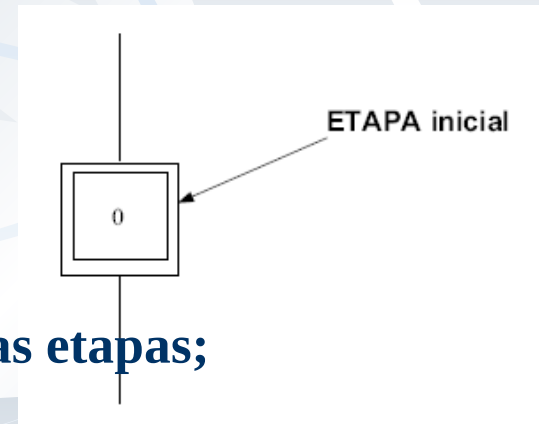
## **Etapas:**

- **Correspondem aos estados do sistema. Podem estar ativas ou inativas. A elas estão associadas as ações a serem realizadas naquele estado;**
- **As etapas são representadas por um quadrado numerado no seu interior, indicando o numero da etapa. As etapas ativas são representadas com um ponto em baixo no número no interior do quadrado;**
- **Uma etapa é um estado no qual o comportamento do circuito de comando não se altera frente a entradas e saídas;**
- **O conjunto de etapas ativas num determinado instante; determina a situação em que se encontra O GRAFCET;**
- **Etapa inicial é a etapa que se torna ativa logo após início do funcionamento do GRAFCET.**



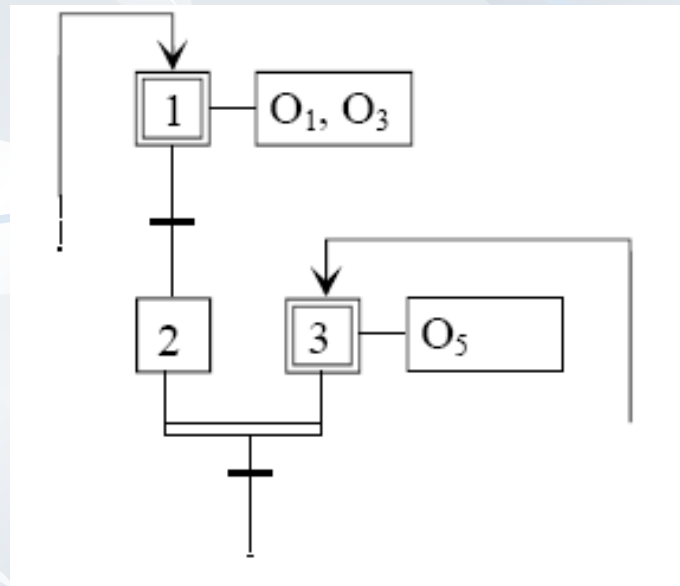
**Etapa inicial:** Situação inicial composta de pelo menos uma etapa.

- **Conjunto de etapas que devem estar ativas quando do início do funcionamento do sistema de comando;**
- **A etapa inicial é sempre representada por um quadrado duplo;**
- **São ativadas incondicionalmente sempre que o programa é colocado para funcionar;**
- **Geralmente não possuem ações associadas;**
- **Podem situar-se em qualquer ponto do GRAFCET;**
- **Uma vez iniciadas têm o mesmo tratamento que as outras etapas;**
- **Pode incluir etapas que se tornem ativas ciclicamente;**
- **Pode conter ações de inicialização do sistema.**



## Exemplo

Quando o sistema de controle representado pelo GRAFCET ao lado entra em funcionamento. As etapas 1 e 3 são imediatamente ativadas, tal como as saídas O1, O3 e O5.



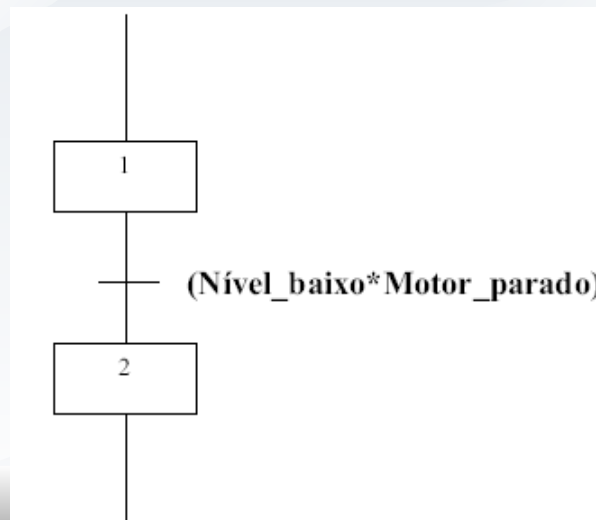
## Transições:

- As transições são as condicionantes para as passagens entre uma etapa ativa anterior para um etapa inativa na seqüência. A condição de uma transição é chamada de *receptividade*;
- Representa-se a transição com um pequeno traço horizontal sobre a linha que liga as etapas;
- As receptividades correspondem à condições que têm que ser satisfeitas para a transição se torne verdadeira ou válida;
- Em geral são associadas à condições lógicas booleanas, temporizadores, etc.



# Transições

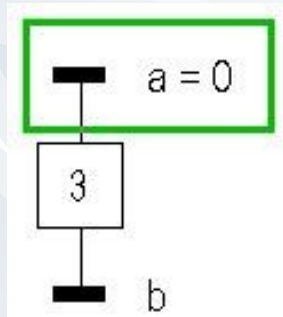
- Representada graficamente por traços nos arcos orientados que ligam etapas, a significar a evolução do Grafcet de uma situação para outra;
- Em um dado instante, uma transição pode está válida ou não;
- Uma transição está válida quando todas as etapas imediatamente precedentes estiverem ativas;
- A passagem de uma situação para outra só é possível com a validade de uma transição, e se dá com a ocorrência da Transição.





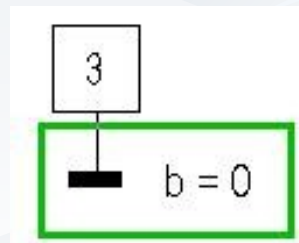
## Transição fonte (SOURCE)

Transição que não tem associada etapa de entrada, apenas tem etapas de saída.



## Transição poço (DRENO)

Transição que não possui etapa de saída. Utiliza-se tipicamente para terminar com uma evolução.



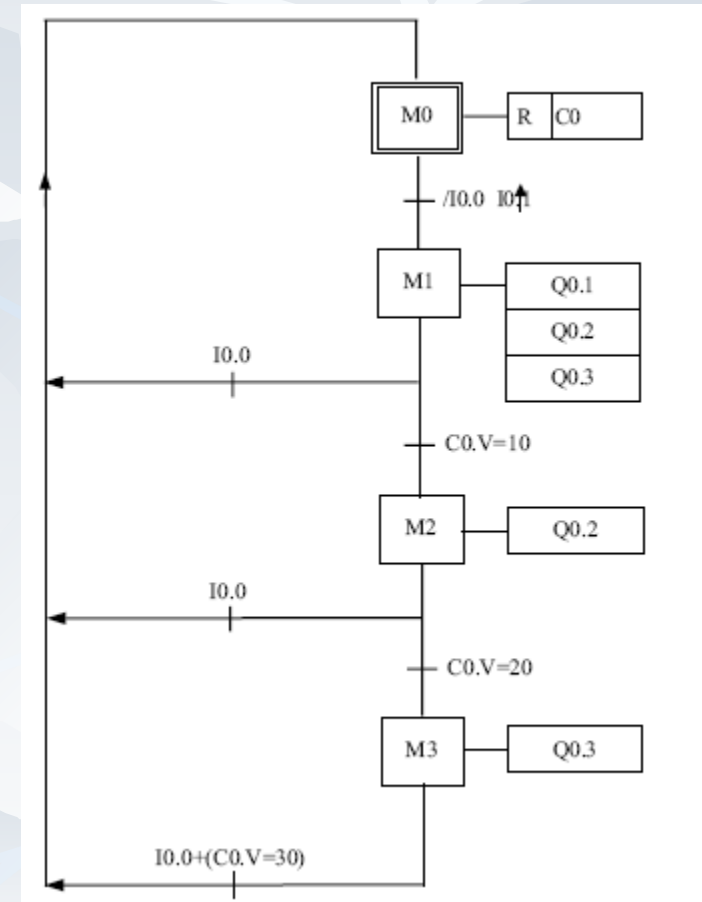
## Ligações (ARCOS) Orientadas

As ligações orientadas representam os caminhos de evolução entre as etapas. São desenhadas na vertical e na horizontal. A evolução natural é de cima pra baixo sendo obrigatório representar com uma seta quando o sentido for diferente.

Deve-se evitar o cruzamento de ligações para que o diagrama final seja o mais compreensível possível.

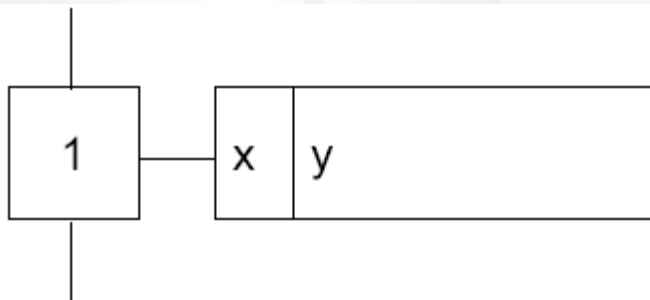
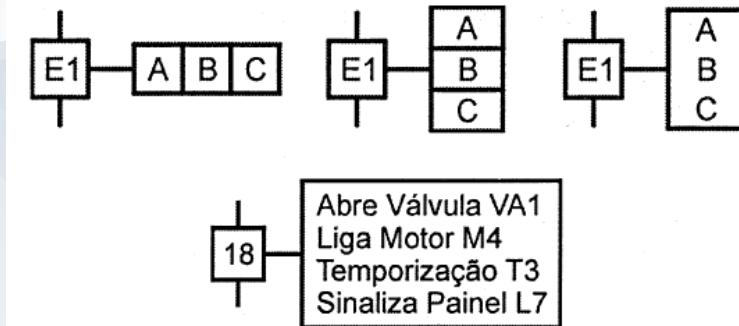
Indicam a seqüencialização do GRAFCET pela interligação de uma etapa a uma transição e desta a outra etapa.

O sentido convencional é de cima para baixo, quando não for o caso, deve-se indicá-lo.



# Ações:

- As ações estão ligadas às etapas;
- São representadas por um retângulo com duas ou mais divisões internas ligado à Etapa. A primeira divisão contém o qualificador da ação e a segunda divisão contém a descrição textual da ação;
- As ações representam os efeitos que devem ser obtidos sobre os mecanismos controlados em uma determinada situação (“o que deve ser feito”).
- Representam também ordens de comando (“como deve ser feito”).



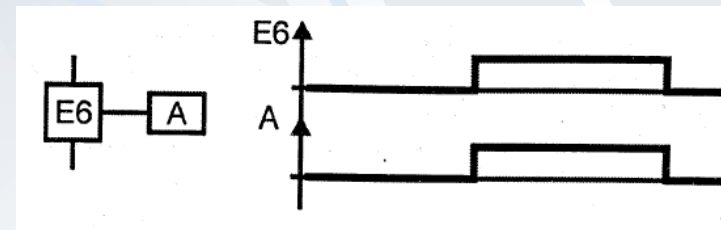
*x: é o qualificador da ação – define como a ação será Executada*  
*y: é a descrição textual da ação a ser executada*

## As ordens de comando contidas em ações atuam sobre:

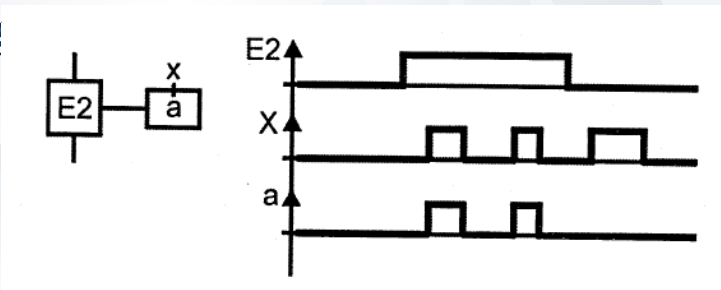
- Elementos físicos do mecanismo controlado;
- Elementos auxiliares do comando;
- Interfaces homem-máquina;

Uma ação pode conter ordens de comando do tipo: contínua, condicional, memorizada, com retardo, limitada no tempo e impulsional.

a) Ordem contínua: Tipo de ordem de comando cuja emissão depende da ativação da etapa a qual estiver associada.



b) Ordem condicional: Tipo de ordem de comando cuja emissão além da ativação da etapa associada, depende de uma outra condição lógica ser satisfeita.



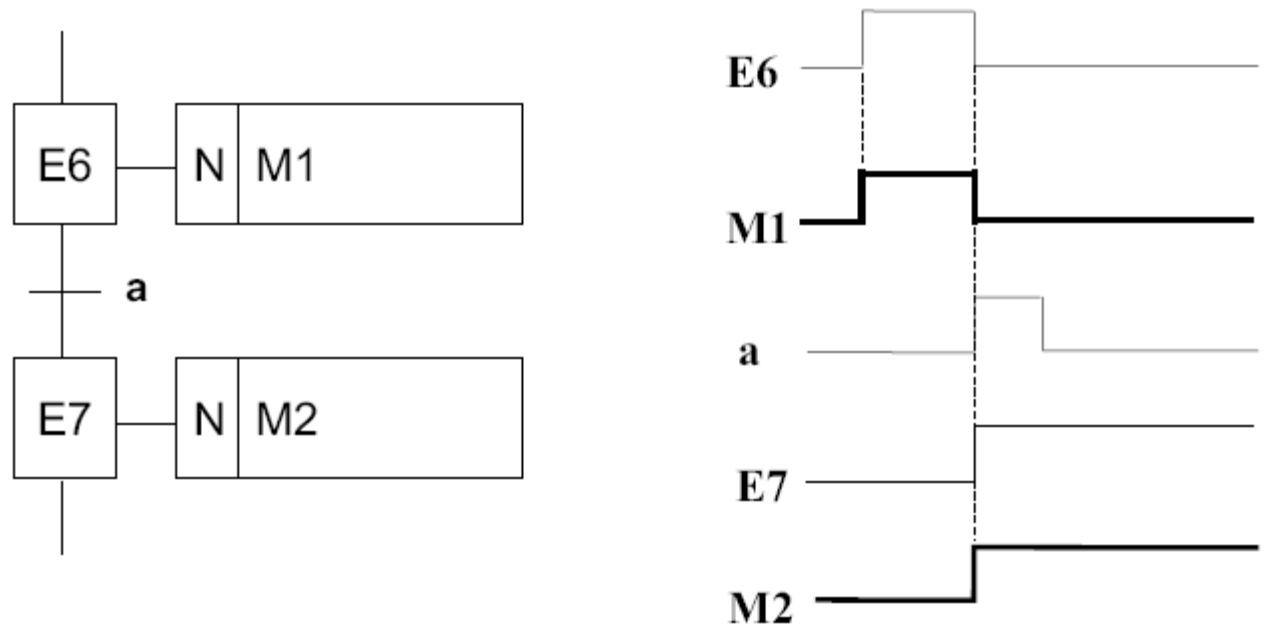
## Qualificadores

Letra	Ação
N	Não Memorizada
S	Memorizada
R	<u>Resetar</u>
L	Limitada no Tempo
D	Temporizada
C	Condicionada
P	Impulso
SD	Memorizada com Atraso no Tempo
DS	<u>Atrasada no Tempo</u> e Memorizada
SL	Memorizada e Limitada no Tempo

# Qualificadores

## N - Ação Não Memorizada

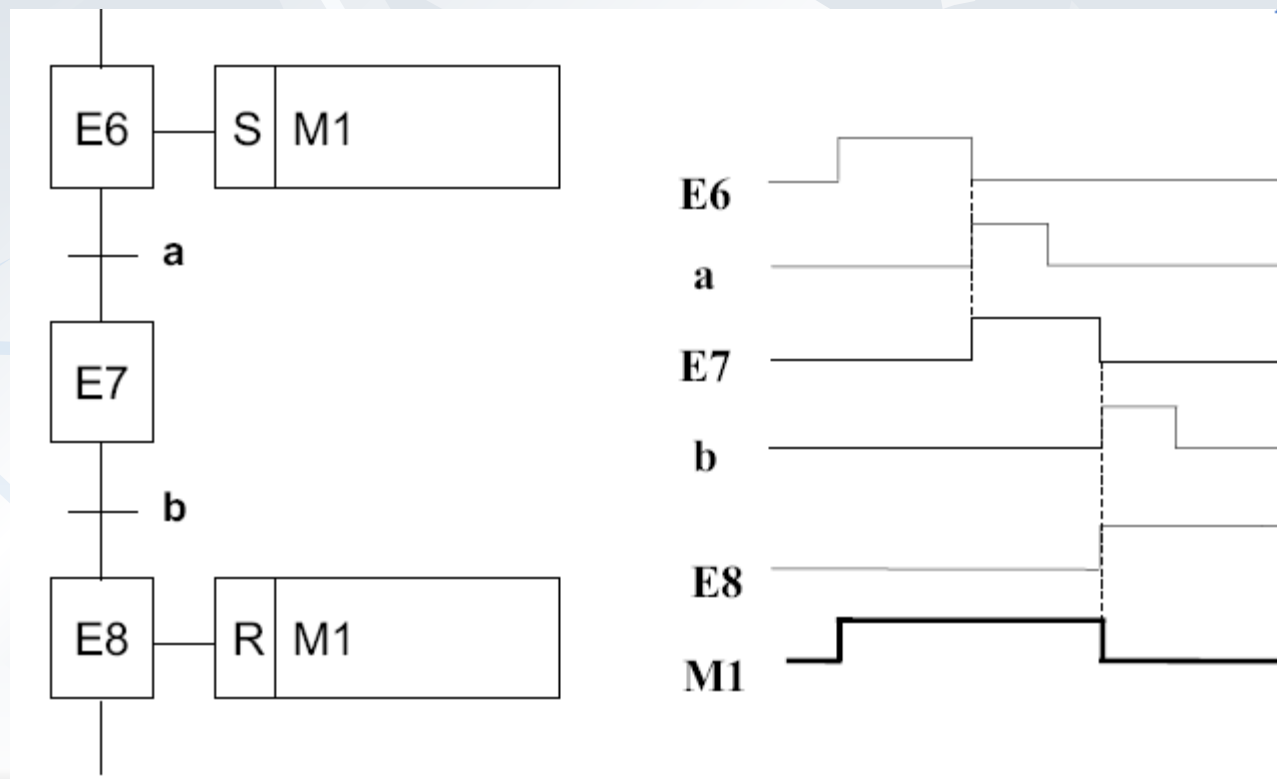
Ações que são executadas somente enquanto a Etapa estiver ativa.



# Qualificadores

## S - Ação Memorizadas

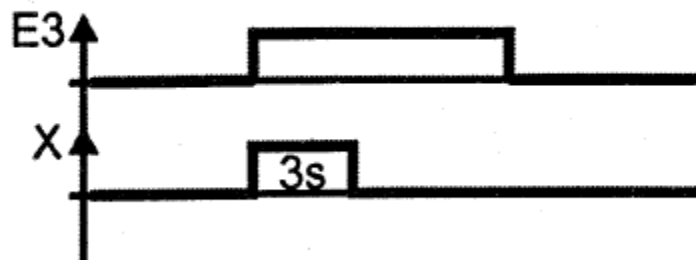
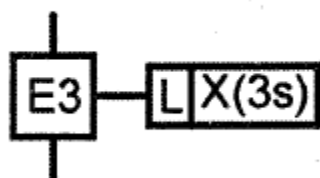
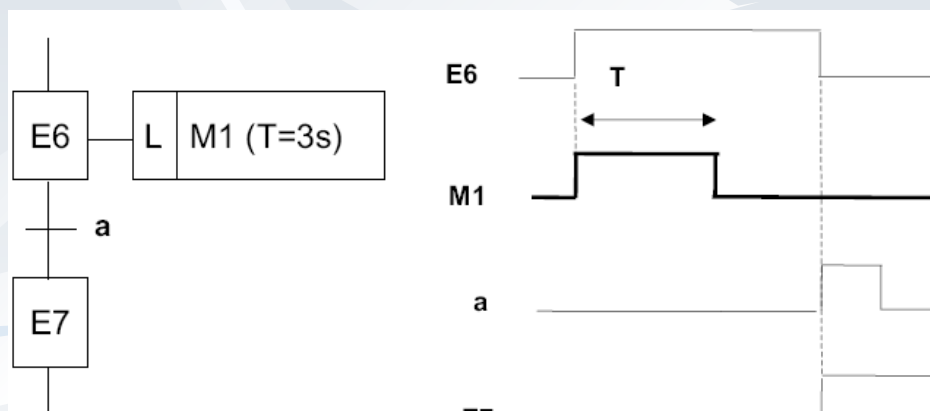
Tipo de ação que se mantém ativa mesmo depois da duração em que a Etapa permanece ativa. Para desativar uma ação memorizada deve-se usa o qualificador “R” (reset).



# Qualificadores

## L - Ação Limitada no Tempo

A ação é executada durante um tempo preestabelecido pelo programa a partir da ativação da Etapa. Se a Etapa for desativada antes da finalização do tempo programado a ação interrompe sua execução.



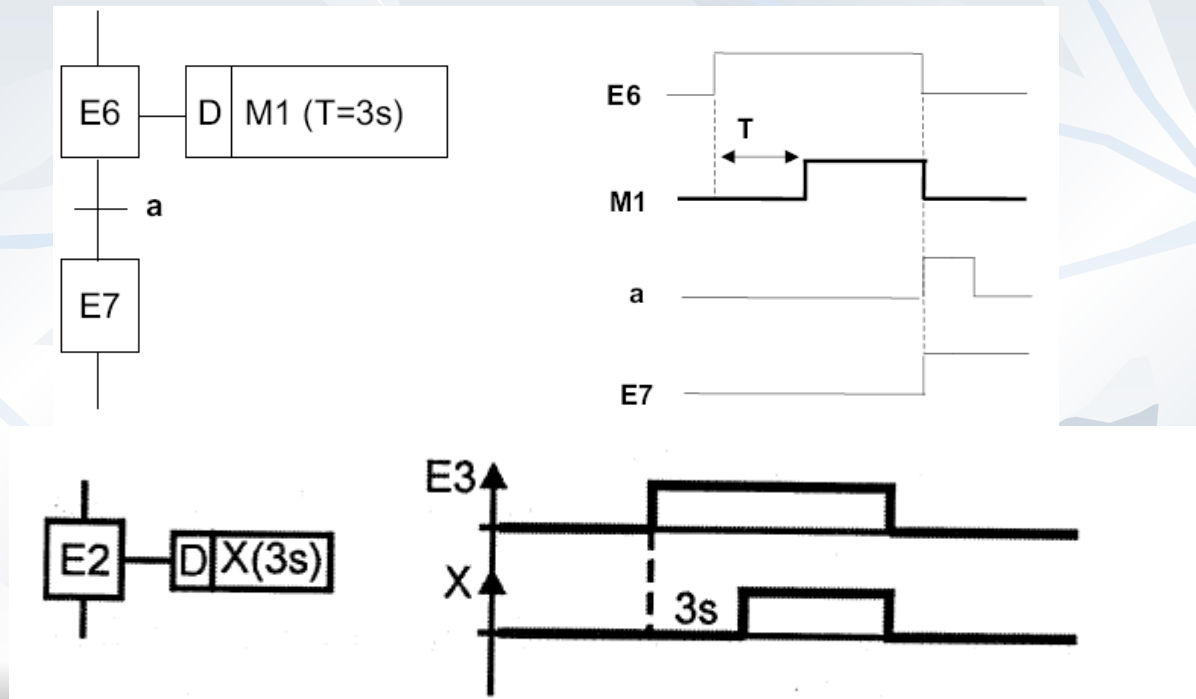


# Qualificadores

## D - Ação com Atraso no Tempo

A ação é executada aos um atraso de tempo preestabelecido pelo programa, a partir do instante da ativação da Etapa. Se a Etapa for desativada antes da finalização do tempo programado a ação interrompe sua execução.

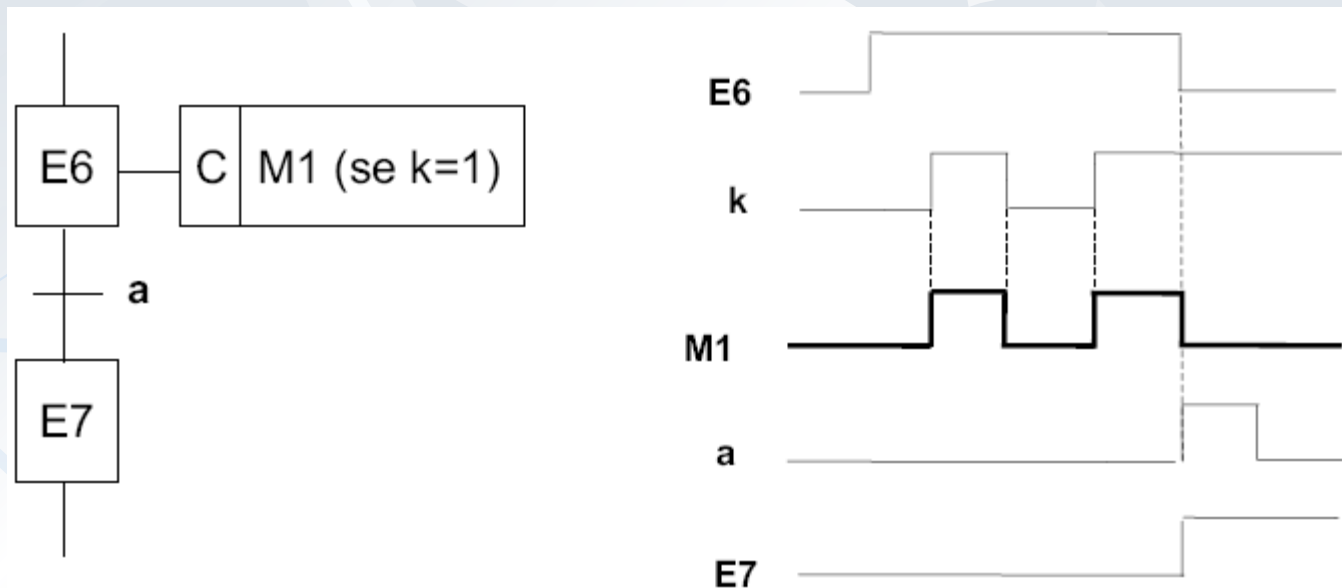
Trata-se do caso particular de ordem condicional em que a dependência é associada a um retardo de tempo.



# Qualificadores

## C - Ação Condicionada

Este tipo de ação é associado a uma condição lógica. A ação só será executada enquanto a Etapa estiver ativa e a condição lógica verdadeira.

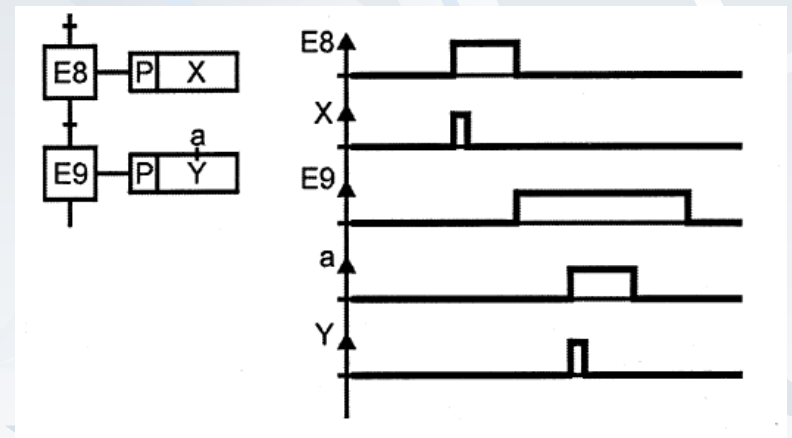
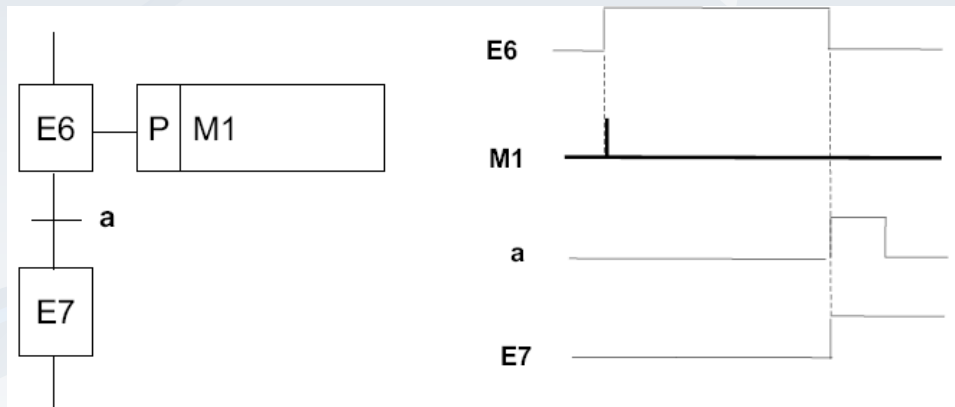


# Qualificadores

## P - Ação Impulso

A ação é executada após a Etapa ser ativada com uma duração muito pequena mas com tempo suficiente para ser reconhecida pelo programa.

Semelhante à limitada, mas com tempo de duração “infinitesimamente” pequeno (corresponde ao ciclo de varredura do CLP comum).

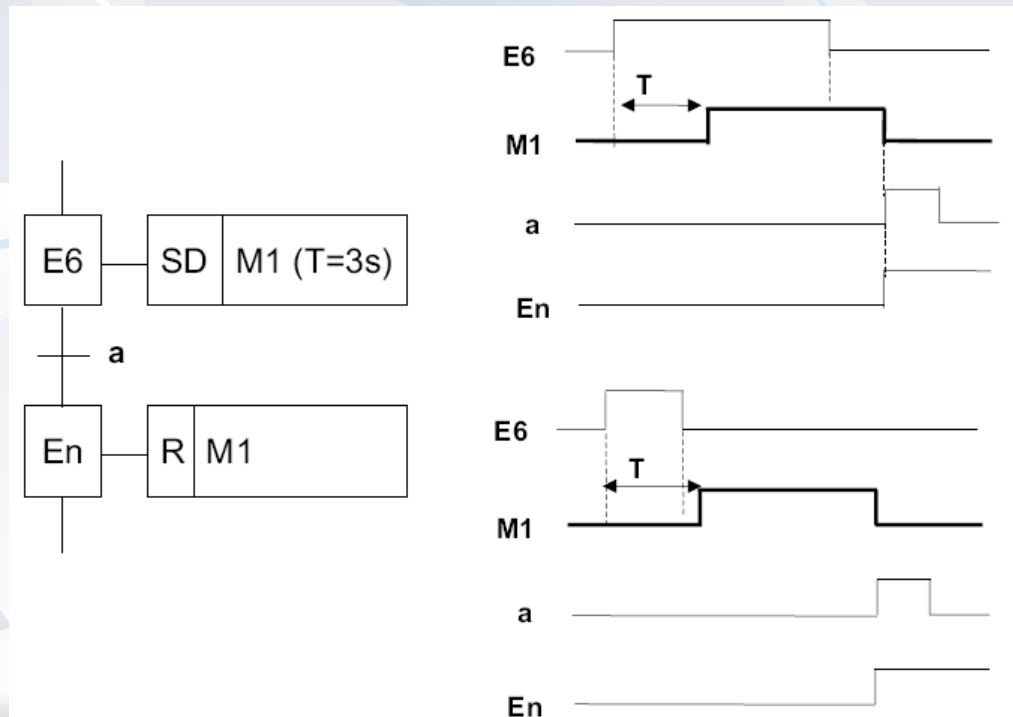


# Qualificadores

## SD – Ação Memorizada e Atrasada no Tempo

Quando a Etapa se torna ativa a ação é memorizada mas só começa a ser executada após o tempo preestabelecido pelo programa. Indépende da duração da atividade da Etapa.

Para desativar a ação deve-se usar o qualificador R (reset) para esta ação.

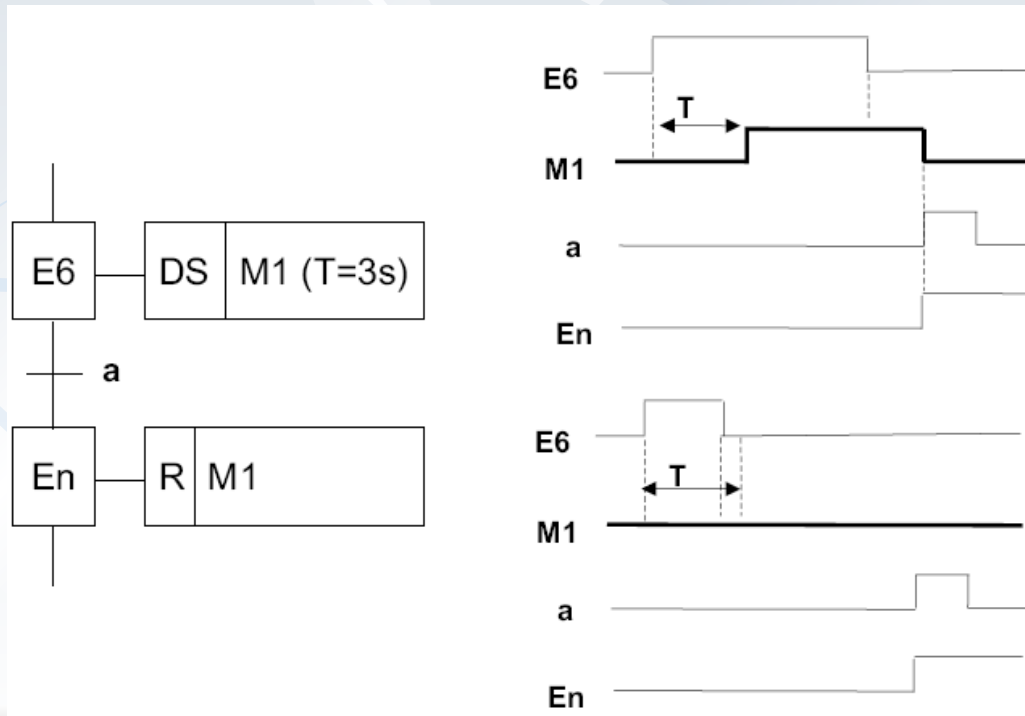


# Qualificadores

## DS – Ação Atrasada no Tempo e Memorizada

Quando a Etapa se torna ativa a ação é memorizada mas só começa a ser executada após o tempo preestabelecido pelo programa. Depende da duração da atividade da Etapa.

Para desativar a ação deve-se usar o qualificador R (reset) para esta ação.

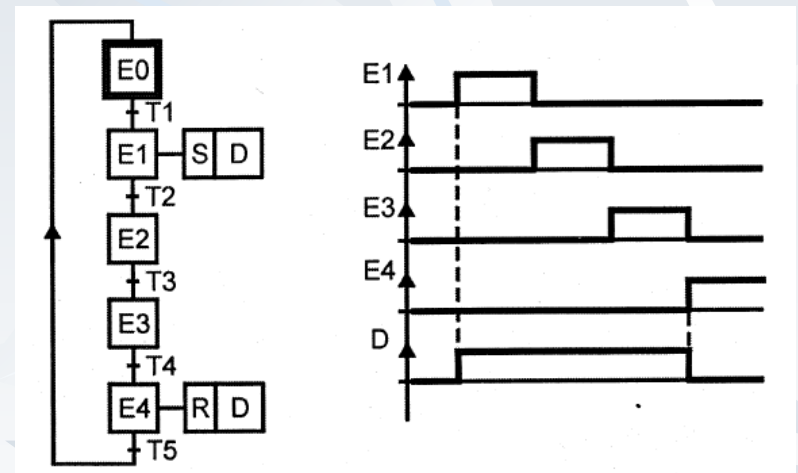
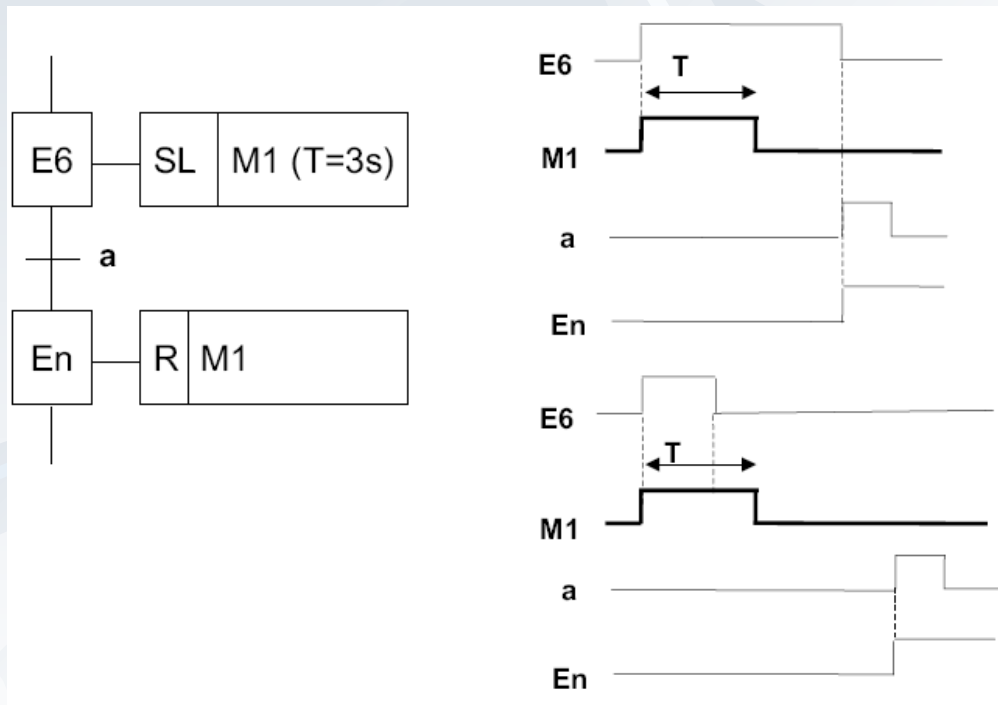


# Qualificadores

## SL – Ação Memorizada e Limitada no Tempo

Quando a Etapa se torna ativa a ação é memorizada e começa a ser executada durante o tempo preestabelecido pelo programa, Independente da duração da atividade da Etapa.

Ação específica para ligar (SET) e outra para desligar (RESET).



# Receptividade:

**É a função lógica combinacional associada a cada transição;**

**Quando em estado lógico verdadeiro, irá habilitar a ocorrência de uma transição válida;**

**Uma receptividade é associada a:**

- **Variáveis lógicas oriundas de sinais de entrada do sistema**
- **Variáveis internas de controle**
- **Resultado da comparação de contadores e temporizadores**
- **Informação do estado de uma outra etapa**
- **Condicionada a uma determinada situação do GRAFCET**

Uma receptividade também pode estar associada ao sentido de comutação de uma variável lógica, seja pela borda de subida, seja pela borda de descida.

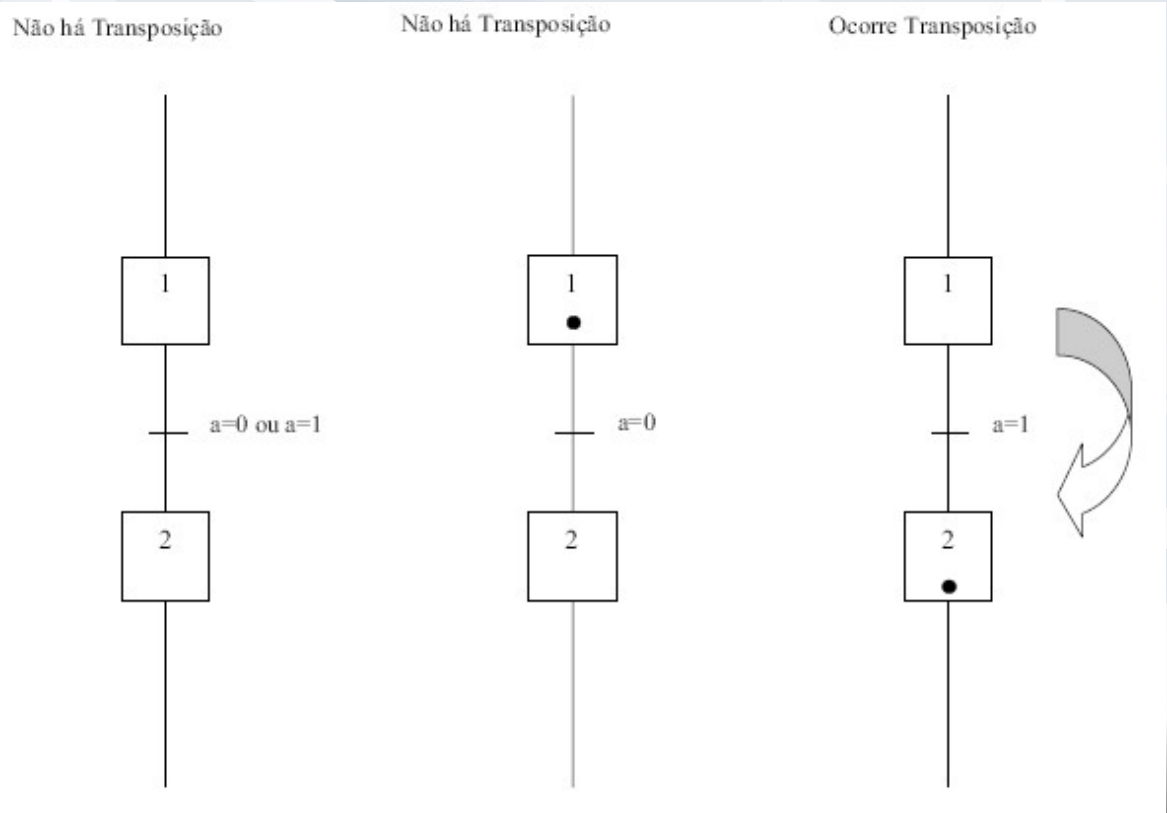
Duas ou mais receptividades podem ocorrer ao mesmo tempo se forem correlatas. Problema da simultaneidade de receptividades correlatas e sistemas com ciclos de varredura grande quando comparado com os tempos de transição do sistema.

# Regras de Evolução do GRAFCET

**Regra 1: inicialização**  $\Rightarrow$  Na inicialização do sistema ativa-se a etapa inicial;

**Regra 2: transposição de uma etapa**  $\Rightarrow$  Uma etapa só é transposta quando a mesma está ativa e a transição imediatamente seguinte tem sua receptividade verdadeira;

**Regra 3: transposição de uma transição**  $\Rightarrow$  transposição de uma transição provoca a ativação da(s) etapa(s) imediatamente seguintes e a desativação da(s) etapa(s) imediatamente precedentes.





## **Evolução entre situações:**

**A evolução de um GRAFCET de uma situação a outra corresponde à ocorrência de uma transição.**

**Uma transição ocorre quando:**

- Estiver válida e**
- A receptividade associada estiver verdadeira.**

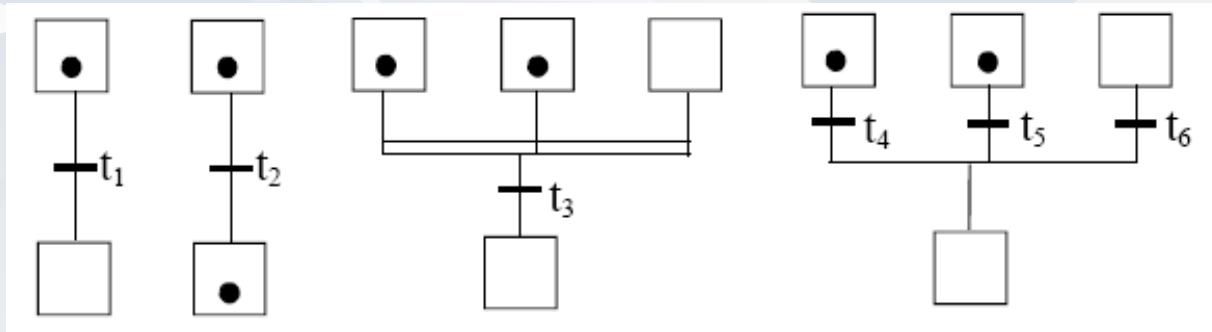
**A ocorrência de uma transição possui tempo de duração impulsional (ciclo de varredura no CLP comum).**

**Na ocorrência de uma transição, ocorre a desativação de todas as etapas imediatamente precedentes, e a ativação de todas as etapas imediatamente seguintes.**

**Particularidade: se uma mesma etapa estiver em condições de ser simultaneamente ativada e desativada, ela permanece ativada.**

# Validação

- Uma transição está validada ou não validada.
- Está validada se todas as suas etapas de entrada estiverem ativas.



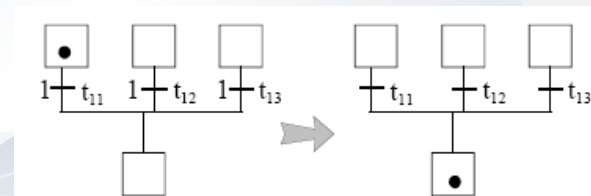
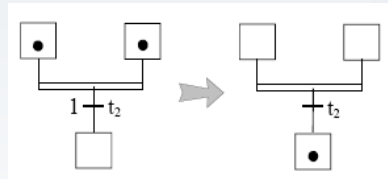
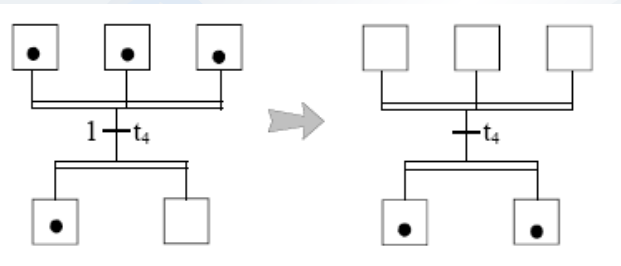
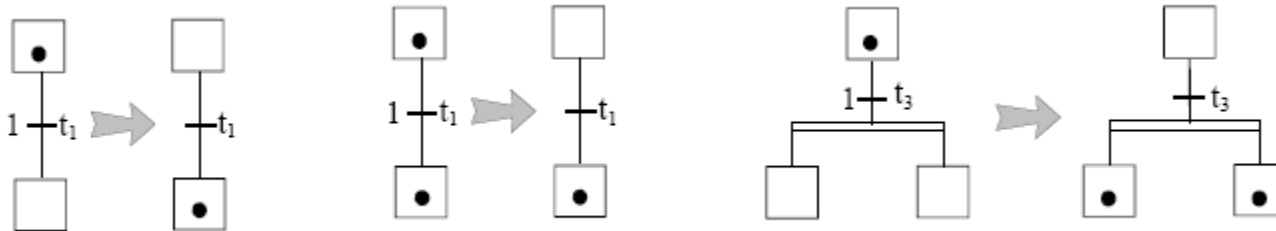
## Exemplos:

Nestas figuras:

- as transições  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_4$  e  $t_5$  estão validadas
- as transições  $t_3$  e  $t_6$  não estão validadas

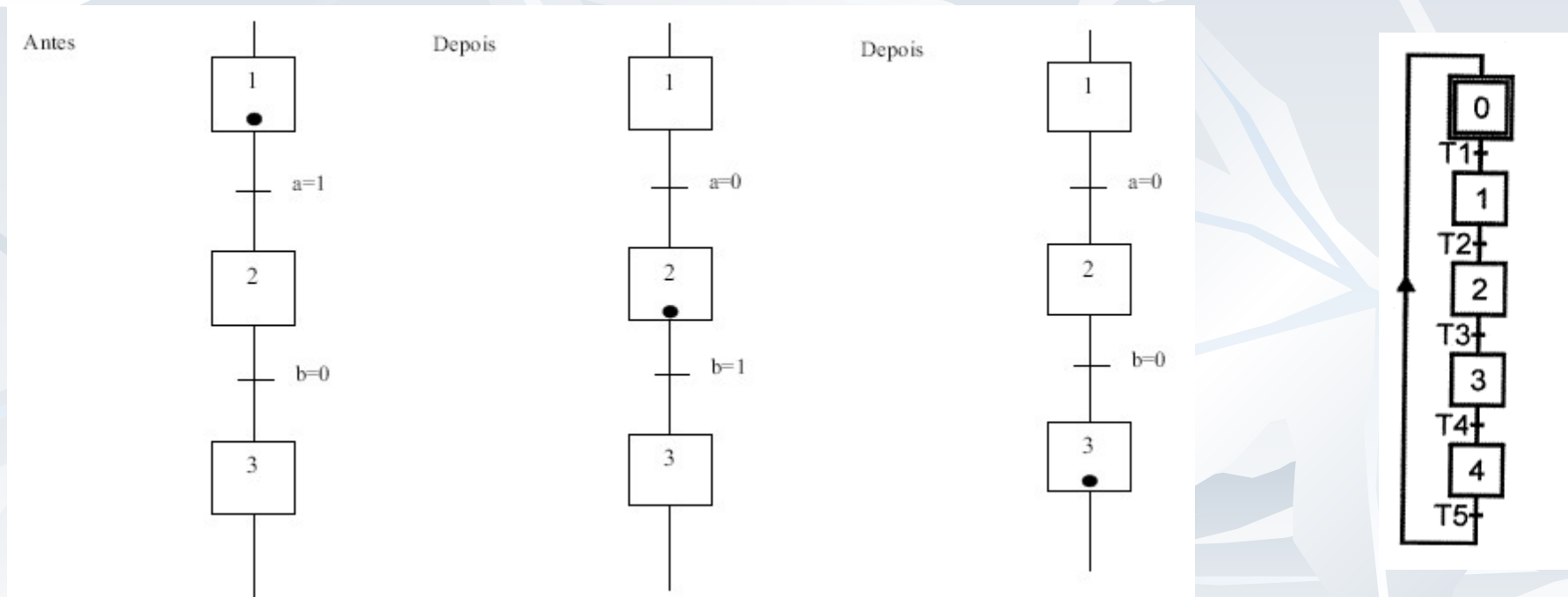
# Disparo

- Uma transição é disparada se estiver validada e a receptividade que lhe está associada tomar o valor lógico “1”;
- O disparo de uma transição provoca a desativação das etapas de entrada e a ativação das etapas de saída dessa transição.



## Tipos de Ligações entre Etapas

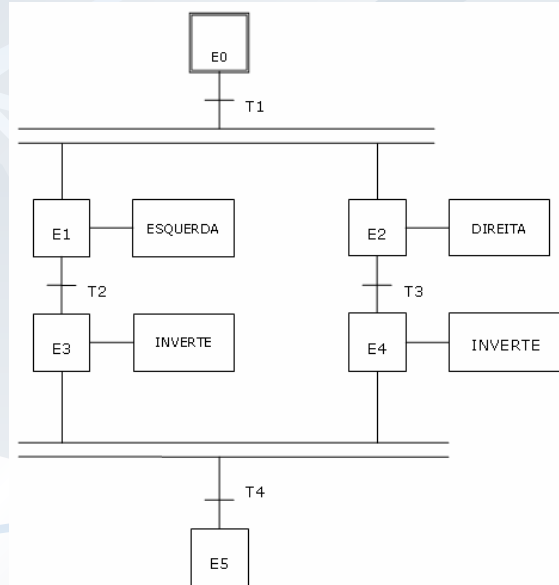
**Seqüência Única:** Uma cadeia de etapas e transições dispostas de forma Linear. Uma etapa é seguida de apenas uma transição, e uma transição é seguida de apenas uma etapa.



# Seqüências Paralelas:

Quando duas ou mais seqüências devem ser executadas ao mesmo tempo.

O paralelismo só é encerrado quando todas as suas seqüências estiverem concluídas.



Uma divergência simultânea é precedida por uma transição e sucedida por seqüências iniciadas por etapas;

Convergência simultânea ou convergência em E: retorno do GRAFCET a uma estrutura linear;

Uma convergência simultânea é sucedida por uma transição e precedida por seqüências terminadas por etapas.

## Seleção entre seqüências:

Ocorrência de situações em que uma determinada seqüência deve ser executada no lugar de outras.

**Divergência seletiva ou divergência em OU.**

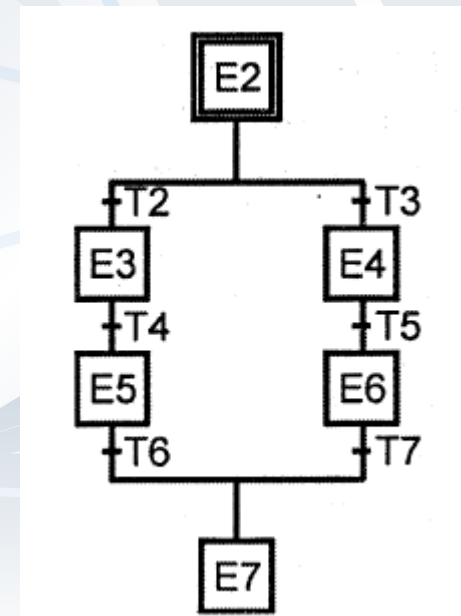
Uma divergência seletiva é precedida por uma etapa e sucedida por seqüências iniciadas por transições.

É recomendável que as transições numa divergência seletiva sejam receptivas e possuam condições lógicas mutuamente exclusivas entre si.

Regra de interpretação do GRAFCET: a seqüência situada mais à esquerda terá prioridade de execução.

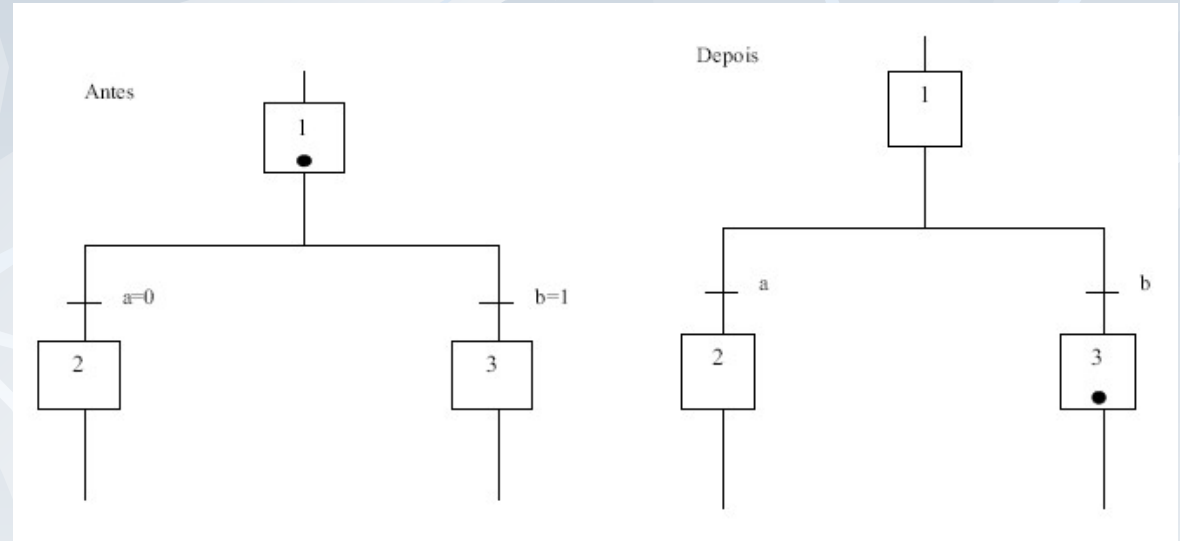
Convergência seletiva ou convergência em OU: retorno do GRAFCET a uma estrutura linear.

Uma convergência seletiva é sucedida por uma etapa e precedida por seqüências finalizadas por transições.

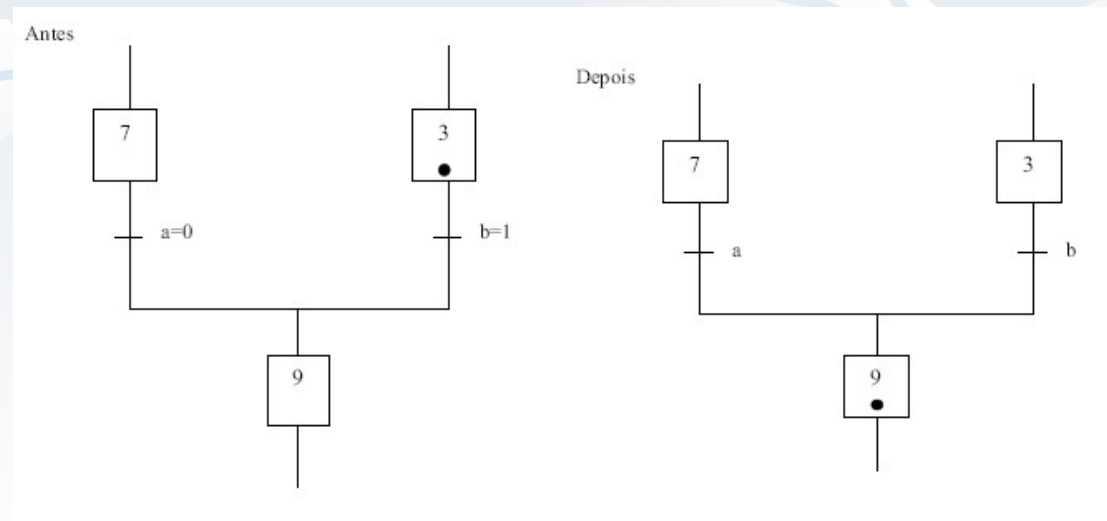


# Seqüências Alternativas:

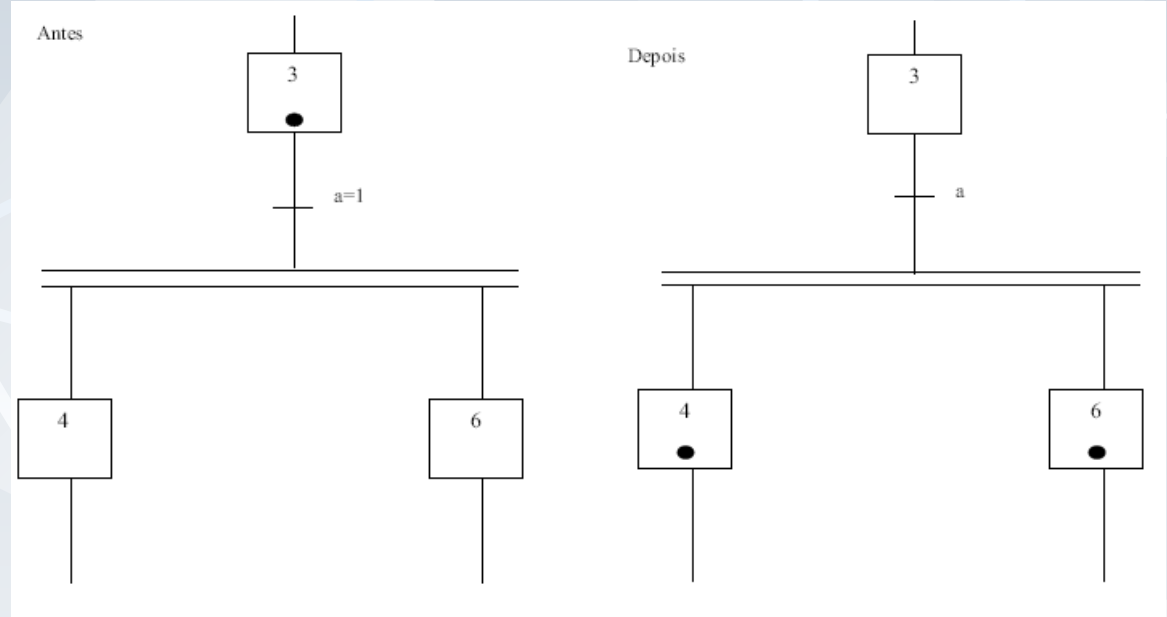
## Divergência OU:



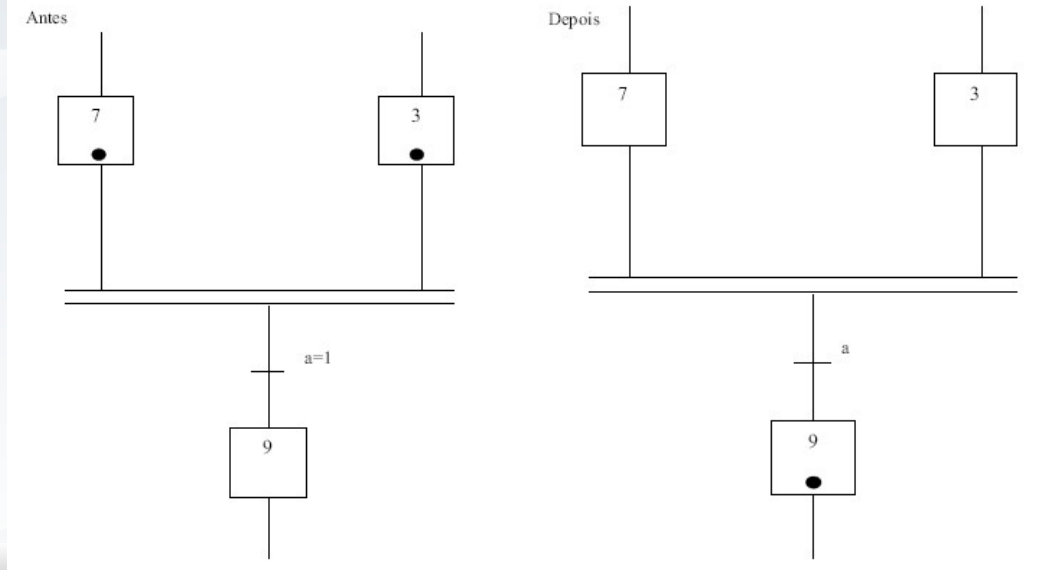
## Convergência OU



## Seqüência Simultâneas: Divergência E

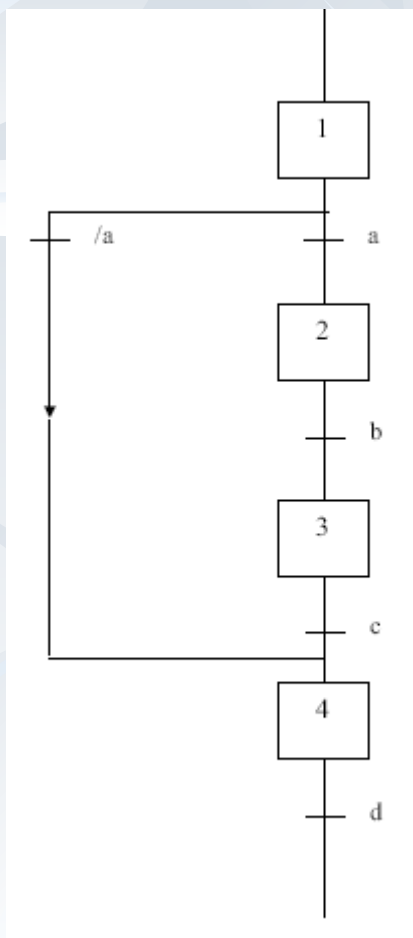


## Convergência E

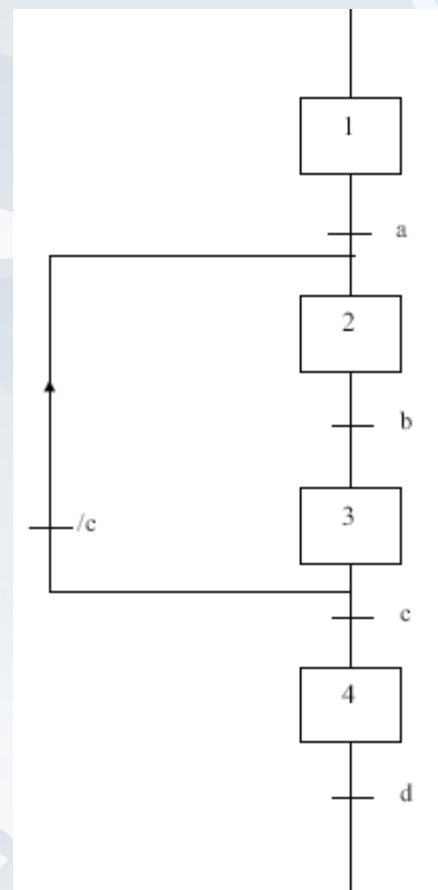




## Salto de Etapas:



## Repetição de Etapas:



# Exercícios - GRAFCET

**1. Máquina de estampar peças** plásticas é formado por um dispositivo de carregamento de peças (por gravidade), um cilindro alimentador (cilindro 1), um cilindro estampador (cilindro 2) e um cilindro extrator (cilindro 3).

Todos os três cilindros são de ação simples com retorno por mola, e têm seu avanço comandado pelas eletroválvulas EV1, EV2 e EV3, respectivamente. A máxima excursão de cada cilindro é monitorada pela atuação dos sensores S1, S2 e S3, do tipo *reed-switch*.

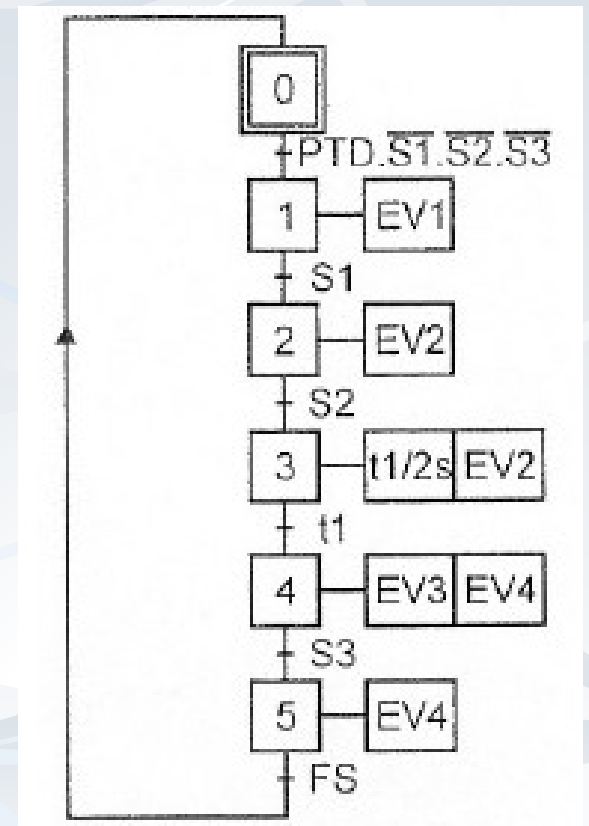
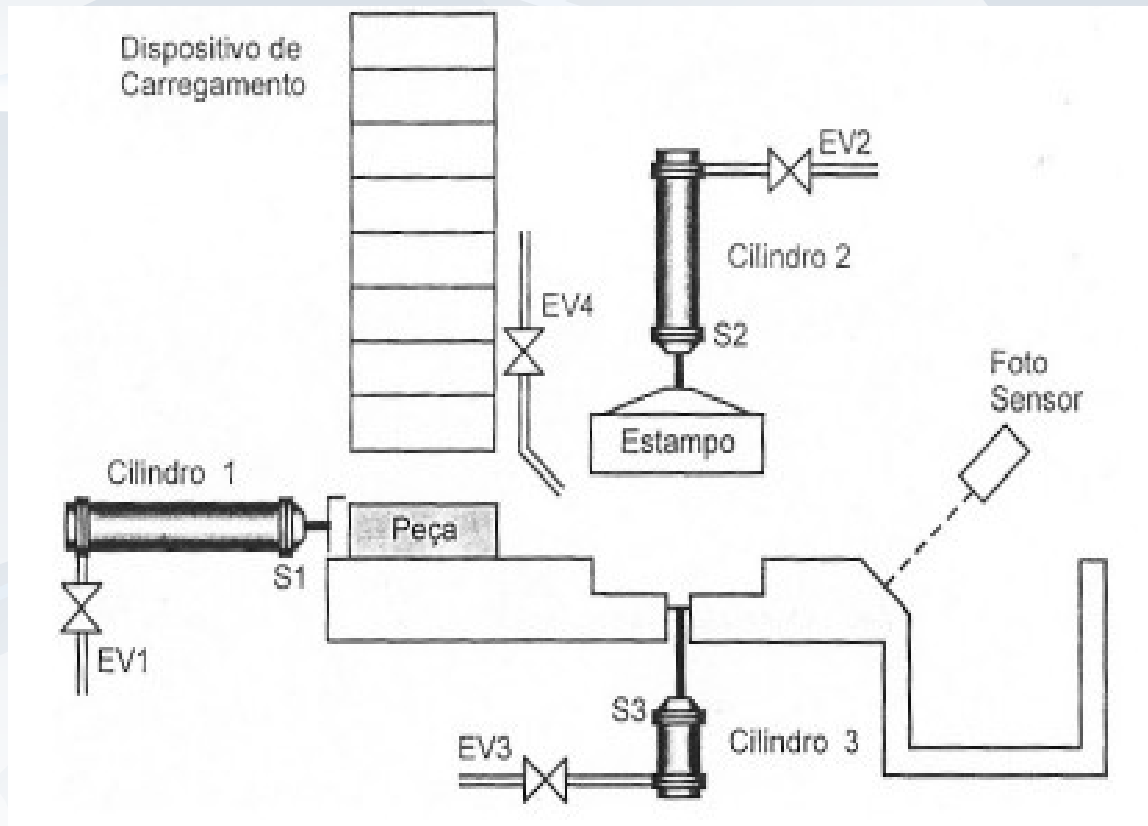
A expulsão da peça é realizada por um sopro de ar comprimido, obtido a partir do acionamento da eletroválvula EV4, e efetivamente monitorada pela atuação do fotossensor (FS).

Assim, com a chave de partida (PTD) acionada e estando a máquina na condição inicial, deve-se iniciar a operação. A seqüência consiste em, primeiramente, colocar uma peça no molde, recuar o êmbolo do cilindro alimentador, prensar o estampo sobre a peça (deve-se aguardar um tempo de dois segundos com a peça sendo prensada), atuar o extrator e o bico de ar para retirada da peça pronta.

Elaborar um programa deste sistema, utilizando GRAFCET.

# Exercícios - GRAFCET

## Máquina de estampar peças



# Exercícios - GRAFCET

**2. Um sistema para carregamento de vagões** é composto pelos seguintes elementos: uma esteira acionada pelo motor M, uma eletroválvula Y1 para permitir saída de produtos de um silo, um sensor S3 para detectar a presença de um vagão, um sensor balança B! para indicar que o vagão está cheio e uma trava de vagão Y2, cujo destravamento é feito por eletroímã.

A partir de um comando de partida (PTD), o sistema estará pronto para funcionar. Com a chegada do primeiro vagão (indicado por S3), é acionado o motor da esteira, sendo que só será desligado após o último vagão ser carregado.

A identificação do último vagão é feita por uma supervisão de tempo (15s) contado após a saída do vagão previamente carregado. Com o correto posicionamento do vagão e não estando cheio, tem início o seu enchimento dado pela abertura de Y1.

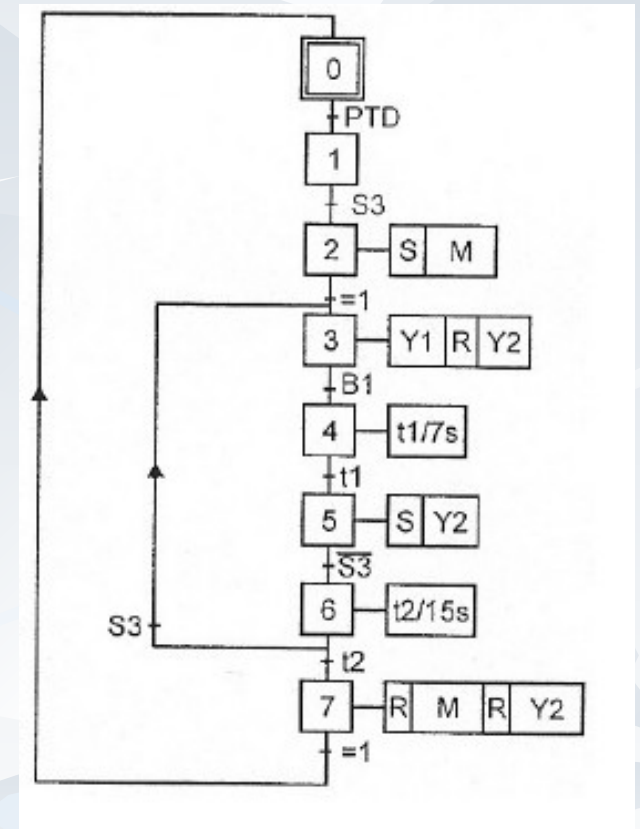
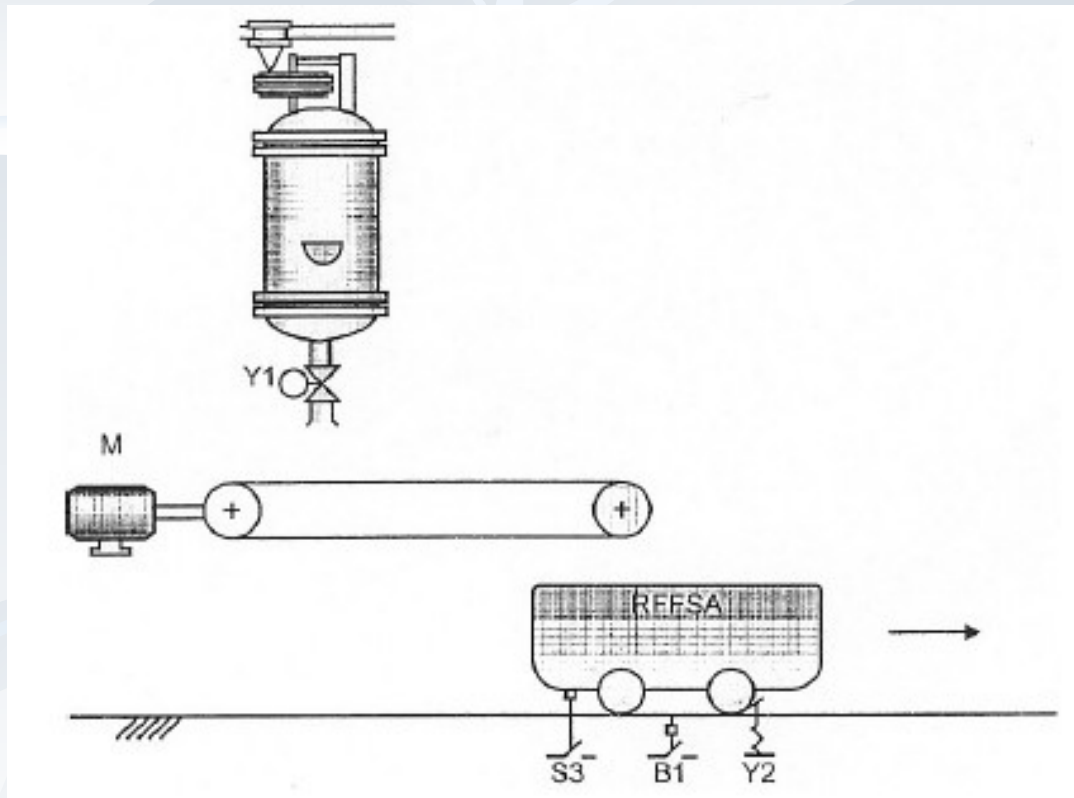
O travamento dos vagões na posição correta é feito por um atuador mecânico pela força de uma mola, e o seu destravamento exige a atuação elétrica do eletroímã Y2.

Após o enchimento do vagão, fecha-se a eletroválvula e aguardam-se 7 segundos para o esvaziamento da esteira. A partir deste instante, o vagão é destravado.

Elaborar um programa deste sistema, utilizando GRAFCET.

# Exercícios - GRAFCET

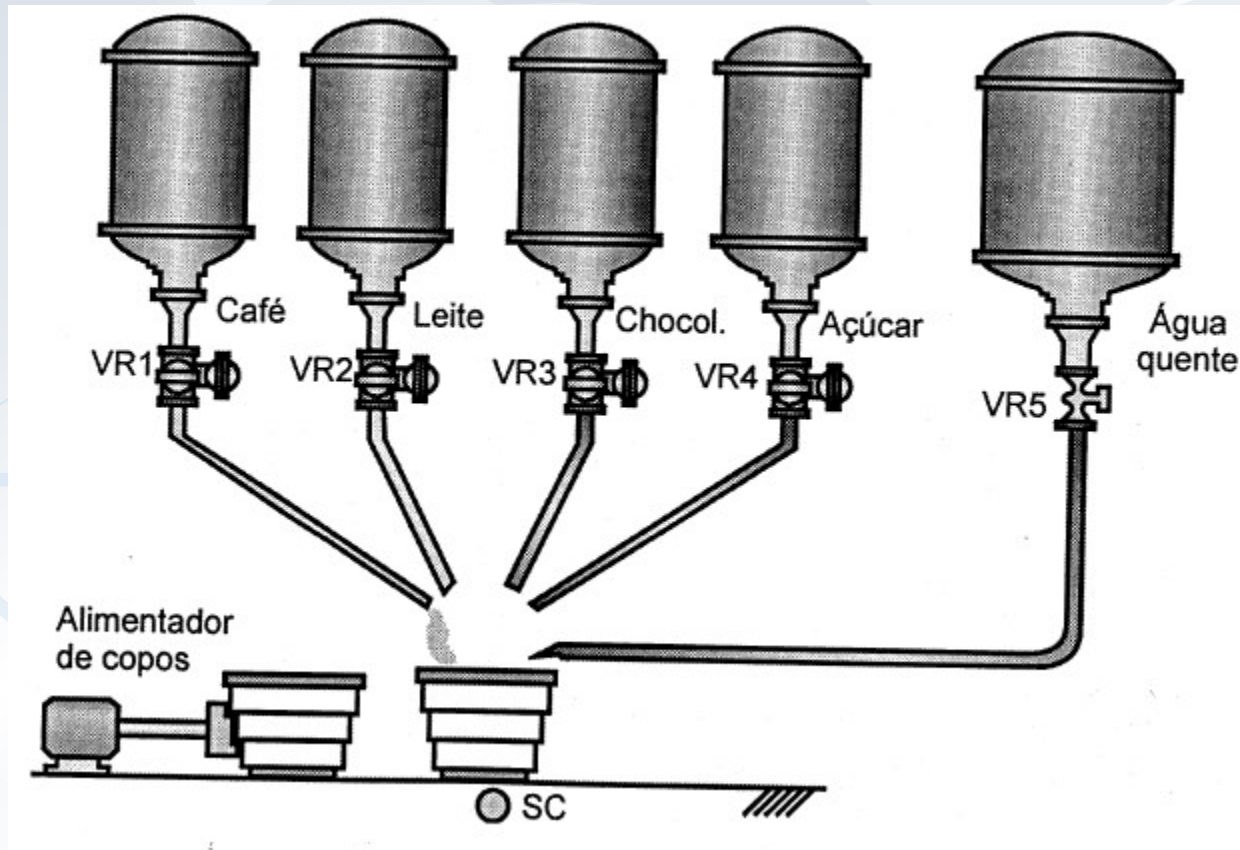
## Um sistema para carregamento de vagões



# Exercícios - GRAFCET

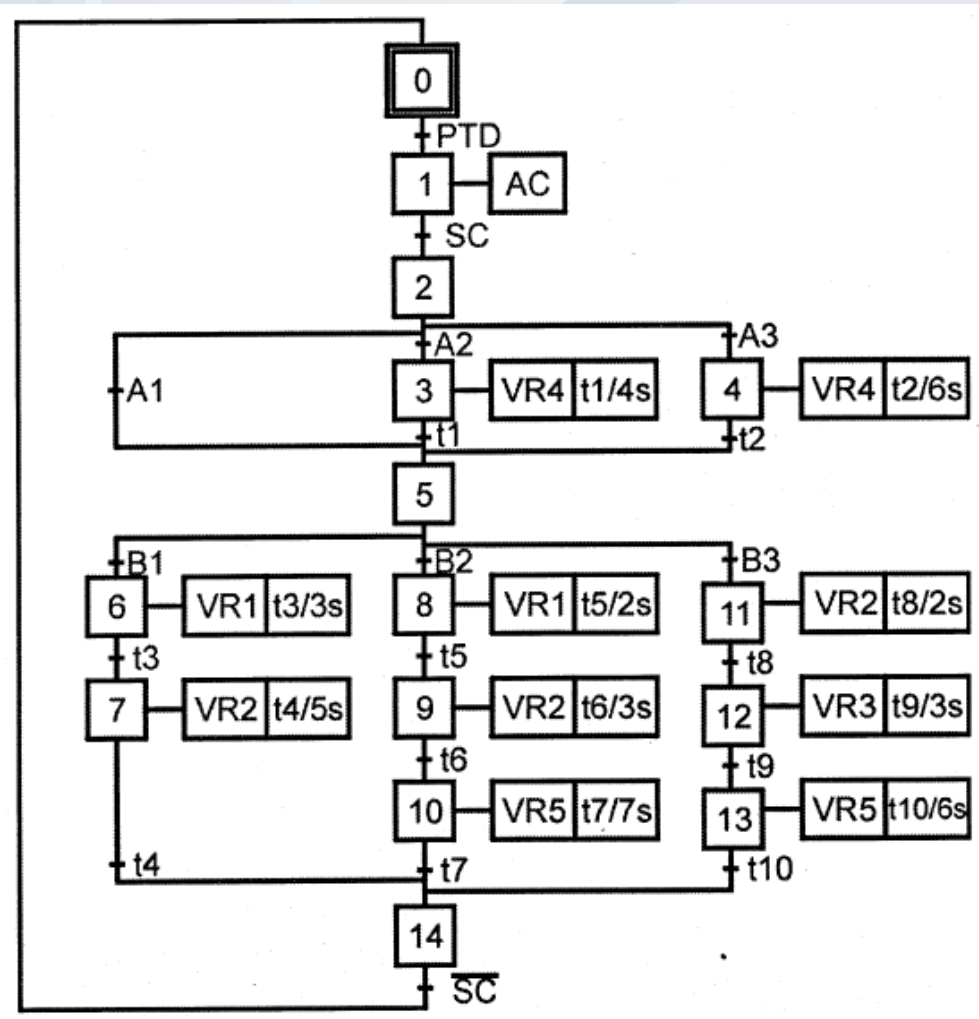
## 3. Máquina dispensadora de bebidas quentes.

Projetar o Grafcet para controle da máquina dispensadora de bebidas quentes mostrada a seguir.



# Exercícios - GRAFCET

## Máquina dispensadora de bebidas quentes.





# Exercícios - GRAFCET

## 4. Sistema de controle de bombas de água

Desenhar o programa de controle de CLP para um sistema de reservatório composto de uma válvula de entrada P, duas bombas (acionadas por M1 e M2), um alarme AL e quatro sensores de nível (a, b, c e d), conforme ilustrado na figura abaixo. As condições de funcionamento são as seguintes:

- Se o nível for superior a a, então fecha-se a válvula P.
- Se o nível for inferior a b, então abre-se a válvula P.
- Acima de b, M1 e M2 bombeiam.
- Abaixo de b, somente M1 bombeia.
- Abaixo de c, soa o alarme AL.
- Abaixo de d, nenhuma das bombas deverá funcionar.

