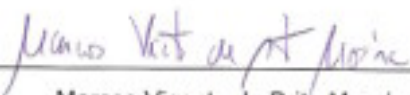


MODELAGEM DE UM SISTEMA DE CARREGAMENTO DE  
COMBUSTÍVEIS UTILIZANDO DIAGRAMA FUNCIONAL  
SEQUENCIAL (SFC)

RENATA RIBEIRO SILVA

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovado por:

  
\_\_\_\_\_  
Marcos Vicente de Brito Moreira, D.Sc.  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Sergio Sami Hazan, Ph.D.

  
\_\_\_\_\_  
Lilian Kawakami Carvalho, M.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil  
Dezembro de 2007

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por tudo que consegui conquistar em minha vida, especialmente por estar concluindo o curso de Engenharia Elétrica.

Agradeço a meus pais e as minhas irmãs, Raquel Ribeiro e Rafaela Ribeiro, pela paciência e compreensão comigo em momentos de preocupações com as provas da faculdade e aproveito para me desculpar pelas vezes que lhes tratei de forma inadequada, descontando neles as minhas aflições.

Agradeço em especial a minha mãe, Maria de Nazaré Ribeiro, que sempre me apoiou nas ocasiões e decisões difíceis; e ao meu pai, Geraldo Vieira, por ser um exemplo de dignidade, respeito, humildade e garra, no qual eu me espelho para ser uma pessoa melhor. Dedico esse trabalho aos dois, em agradecimento aos esforços realizados para garantir a mim e as minhas irmãs a melhor educação e formação.

Agradeço as minhas amigas, Maria Júlia Norton, Priscilla Guarini, Nathália Santana, Aline Ferrão, Jeane Lucena e Livia Fintelman por tornarem minha vida mais feliz e divertida e por me ouvirem e ajudarem nos momentos difíceis.

Agradeço aos meus amigos da faculdade André Almeida, Davi Duque, Aretha Campos, Eduardo Jubini, Carlos Roberto, Pedro Loques, Priscilla Guarini, Paulo Vinícius e Sérgio Gomes pelos momentos de risadas muito freqüentes durante esses cinco anos, tornando a rotina da faculdade muito mais agradável. Essas pessoas certamente deixarão saudades e lembranças de uma das épocas mais felizes da minha vida.

Agradeço ao meu amigo e namorado, Bruno Cassandra pela compreensão e apoio nas ocasiões em que mais precisei; e a sua irmã, Renata Cassandra, pela ajuda e pelas dicas em relação à faculdade.

Agradeço aos professores da UFRJ pelo conhecimento transmitido e pelas experiências compartilhadas, muito úteis a minha formação. Em especial, agradeço ao professor e amigo Sergio Sami, por ser um exemplo de professor e pela dedicação e esforço em ajudar os alunos.

Por fim, agradeço ao professor e orientador Marcos Moreira pelos ensinamentos e pela dedicação na elaboração deste trabalho.

## RESUMO

Renata Ribeiro  
UFRJ – DEE

Projeto de Graduação  
Dezembro 2007

### **Modelagem de um sistema de carregamento de combustíveis utilizando Diagrama Funcional Seqüencial (SFC)**

Nas últimas décadas, o avanço da computação, da comunicação e da tecnologia dos sensores reforçou a importância dos sistemas discretos, como os sistemas de manufatura, sistemas de controle de semáforo, sistemas de transporte inteligente, etc. Nesse sentido, a utilização de computadores industriais torna-se cada vez mais difundida para o controle de equipamento e processos, por atuarem de forma mais precisa e rápida se comparadas à capacidade dos operadores. O aumento na complexidade dos sistemas dificulta sua modelagem, tornando mais atrativo o uso de técnicas mais simples de serem compreendidas e de fácil implementação. A utilização de modelos mais práticos, como o Diagrama Funcional Seqüencial torna-se mais freqüente, face ao uso de modelos como autômatos e redes de Petri. Nesse trabalho, essa técnica é utilizada para a modelagem de um sistema de carregamento de combustíveis em um terminal de distribuição.

# Sumário

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Lista de figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Abreviaturas	x
1 Introdução	1
2 Fundamentos da Teoria de Sistemas	3
2.1 Definições e classificação de sistemas	3
2.1.1 Definição	3
2.1.2 Classificação de sistemas	4
2.1.2.1 Sistemas estáticos e dinâmicos	4
2.1.2.2 Sistemas variantes e invariantes no tempo	4
2.1.2.3 Sistemas lineares e não lineares	5
2.1.2.4 Sistemas determinísticos e estocásticos	5
2.1.2.5 Sistemas com estados contínuos e sistemas com	
estados discretos	5
2.1.2.6 Sistemas contínuos no tempo e sistemas discretos	
no tempo	5
2.1.2.7 Sistemas dirigidos pelo tempo e sistemas dirigidos	
por eventos	5
2.2 Sistemas a eventos discretos	6

2.3 Diagrama Funcional Seqüencial . . . . .	8
2.3.1 Etapa . . . . .	9
2.3.2 Transições . . . . .	17
2.3.3 Ligações orientadas . . . . .	19
2.3.4 Regras de evolução . . . . .	20
2.3.5 Seqüências seletivas ou alternativas . . . . .	21
2.3.6 Seqüências simultâneas ou paralelas . . . . .	22
2.4 Comentários finais . . . . .	23
 3 Sistema de Carregamento de Combustíveis . . . . .	 24
3.1 Terminologia utilizada . . . . .	24
3.2 Descrição dos equipamentos . . . . .	27
3.2.1 Bomba centrífuga . . . . .	27
3.2.2 Medidor de volume . . . . .	27
3.2.3 Válvula de controle de fluxo . . . . .	28
3.2.4 Sensor de temperatura . . . . .	31
3.2.5 Sensor de aterramento . . . . .	31
3.2.6 Redutor de derrame . . . . .	32
3.2.7 Braço de carregamento . . . . .	33
3.2.8 Dead-man . . . . .	33
3.3 Funcionamento do sistema de carregamento de combustíveis . . . . .	34
3.4 Alarmes . . . . .	37
3.5 Circuitos de segurança . . . . .	38
3.6 Comentários finais . . . . .	39
 4 Modelagem do Sistema de Carregamento . . . . .	 40
4.1 Seqüência de carregamento . . . . .	40
4.2 Verificação dos circuitos de segurança . . . . .	46
4.3 Verificação da vazão mínima de gasolina . . . . .	49
4.4 Verificação da vazão mínima do álcool anidro . . . . .	50
4.5 Verificação de vazão máxima de gasolina . . . . .	50
4.6 Medição de temperatura de gasolina . . . . .	51
4.7 Medição de temperatura álcool anidro . . . . .	52
4.8 Verificação de intervalo entre pulsos medidor de gasolina . . . . .	52
4.9 Verificação de intervalo entre pulsos medidor de álcool anidro . . . . .	53

4.10 Modelo do sistema de carregamento utilizando SFC . . . . .	54
4.11 Comentários finais . . . . .	67
5 Conclusão	68
Referências Bibliográficas	69

# Lista de Figuras

2.1 Exemplo de sistema invariante no tempo . . . . .	4
2.2 Classificação dos sistemas . . . . .	7
2.3 Monitoramento e controle de um sistema complexo . . . . .	8
2.4 Etapa . . . . .	9
2.5 Etapa inicial . . . . .	10
2.6 Ação associada à etapa . . . . .	10
2.7 Representação de várias ações associadas à mesma etapa . . . . .	10
2.8 Ação detalhada associada à etapa . . . . .	11
2.9 Qualificador stored . . . . .	12
2.10 Qualificador delayed . . . . .	13
2.11 Qualificador time limited . . . . .	14
2.12 Qualificador pulse shaped . . . . .	14
2.13 Qualificador conditional . . . . .	15
2.14 Qualificador SD . . . . .	16
2.15 Definição de estado associado às etapas . . . . .	16
2.16 Transição . . . . .	17
2.17 Condição relacionada ao tempo . . . . .	17
2.18 Transposição de uma transição . . . . .	18
2.19 Transição incondicional . . . . .	18
2.20 Sentido das ligações orientadas . . . . .	19
2.21 Indicação de continuidade da ligação orientada . . . . .	19
2.22 Transposição simultânea de uma transição . . . . .	20
2.23 Transições simultâneas separadas . . . . .	21
2.24 Seqüência seletiva (alternativa) . . . . .	22
2.25 Seqüência simultânea (paralela) . . . . .	23
3.1 Sistema de carregamento bottom-loading . . . . .	27

3.2 Medidor de fluxo . . . . .	28
3.3 Válvula de controle de fluxo . . . . .	28
3.4 Funcionamento da válvula de controle de fluxo . . . . .	29
3.5 Controle por histerese . . . . .	30
3.6 Diagrama de blocos da válvula de controle de fluxo . . . . .	31
3.7 Sensor de aterramento . . . . .	32
3.8 Redutor de derrame . . . . .	33
3.9 Mistura em linha . . . . .	35

# Lista de Tabelas

4.1 Variáveis utilizadas no SFC . . . . .	54
---	----

# Lista de Abreviaturas

<i>cp<sub>g</sub></i>	– Contador de pulso de gasolina
<i>cp<sub>a</sub></i>	– Contador de pulso de álcool anidro
<i>cp<sub>temp<sub>g</sub></sub></i>	– Contador de pulso de gasolina para medição de temperatura
<i>cp<sub>temp<sub>a</sub></sub></i>	– Contador de pulso de álcool anidro para medição de temperatura
<i>v<sub>i</sub></i>	– Volume ingressado para carregamento
<i>v<sub>f</sub></i>	– Variável de controle para verificação de permissivos
<i>v<sub>c</sub></i>	– Variável de verificação de fim de operação da gasolina
<i>v<sub>z<sub>r<sub>g</sub></sub></sub></i>	– Vazão real de gasolina
<i>v<sub>z<sub>r<sub>a</sub></sub></sub></i>	– Vazão real de álcool anidro
<i>mt<sub>emp<sub>g</sub></sub></i>	– Variável de controle para medição de temperatura de gasolina
<i>mt<sub>emp<sub>a</sub></sub></i>	– Variável de controle para medição de temperatura de anidro
<i>v<sub>pulso<sub>g</sub></sub></i>	– Variável de controle para verificação de pulsos do medidor de gasolina
<i>v<sub>pulso<sub>a</sub></sub></i>	– Variável de controle para verificação de pulsos do medidor de anidro
<i>v<sub>pausa</sub></i>	– Variável de controle que interrompe momentaneamente a operação
<i>v<sub>encerra</sub></i>	– Variável de controle associada ao acionamento de um alarme primário
<i>v<sub>z<sub>min<sub>g</sub></sub></sub></i>	– Variável de controle da vazão mínima de gasolina
<i>v<sub>z<sub>min<sub>a</sub></sub></sub></i>	– Variável de controle da vazão mínima de álcool anidro
<b>B<sub>G</sub></b>	– Bomba de gasolina A
<b>B<sub>A</sub></b>	– Bomba de álcool anidro
<b>V<sub>G</sub></b>	– Válvula de gasolina A
<b>V<sub>A</sub></b>	– Válvula de álcool anidro
<b>s<sub>sd</sub></b>	– Sensor shut down
<b>s<sub>ap</sub></b>	– Sensor de verificação de alimentação dos circuitos permissivos
<b>s<sub>RD</sub></b>	– Sensor redutor de derrame
<b>s<sub>at</sub></b>	– Sensor de aterramento
<b>s<sub>br</sub></b>	– Sensor do braço de carregamento
<b>s<sub>dm</sub></b>	– Sensor de dead-man

# Capítulo 1

## Introdução

A automação industrial representa o uso de sistemas para controlar máquinas e processos industriais, em substituição ao homem, visando principalmente a produtividade, qualidade e segurança em um processo.

Cada vez mais, são desenvolvidas tecnologias que tornam os processos industriais mais complexos [1]. Além disso, as informações quanto ao andamento do processo devem estar sempre disponíveis para serem controladas de forma que o sistema possa trabalhar de acordo com o observado.

Para controlar um sistema industrial é preciso primeiramente modelá-lo, descrevendo seu comportamento adequadamente e fornecendo uma estrutura que satisfaça os objetivos do sistema. Para tanto, é possível utilizar diferentes modelos de sistemas seqüenciais, dentre eles os autômatos, as redes de Petri e o Diagrama Funcional Seqüencial.

Os autômatos e as redes de Petri são modelos mais teóricos, enquanto que o Diagrama Funcional Seqüencial, que é o método considerado neste projeto, é mais prático e de mais simples compreensão, sendo por isso muito utilizado na indústria.

O sistema de carregamento de combustíveis de um terminal de Distribuição é um exemplo de sistema de automação industrial. Como todo sistema de automação, ele possui sensores que fornecem informações sobre o processo, para que os atuadores modifiquem as variáveis controladas.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é modelar o sistema de carregamento de combustíveis da empresa Esso Brasileira de Petróleo Ltda. utilizando, para isso, o Diagrama Funcional Seqüencial.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: no capítulo 2 são apresentados os fundamentos da teoria de sistemas e de Diagrama Funcional Seqüencial. No capítulo 3 é descrito o funcionamento do sistema de carregamento de combustíveis. No capítulo 4 é apresentado o modelo do sistema estudado utilizando Diagrama Funcional Seqüencial. Finalmente, no capítulo 5 é apresentada a conclusão do trabalho.

# Capítulo 2

## Fundamentos da Teoria de Sistemas

Neste capítulo, é feita uma revisão dos principais conceitos da teoria de sistemas, em especial de sistemas a eventos discretos [2]. Na seção 2.1 é apresentada a definição e classificação de sistemas; na seção 2.2 são introduzidos os fundamentos da teoria de sistemas a eventos discretos; na seção 2.3 é apresentada uma forma de descrever um sistema a eventos discretos, que é o Diagrama Funcional Seqüencial, seus elementos e sua estrutura; e finalmente, na seção 2.4, são feitos os comentários finais sobre o capítulo.

### 2.1 Definição e classificação de sistemas

#### 2.1.1 Definição

De acordo com o dicionário padrão de termos elétricos e eletrônicos do IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*), um sistema é uma combinação de componentes que agem em conjunto para desempenhar uma função impossível de ser executada por qualquer uma das partes individualmente.

A partir de sistemas reais é possível construir modelos matemáticos que descrevem, aproximadamente, o comportamento dos sistemas. Isso é feito através da associação entre dados que são medidos em um determinado período de tempo, denominados variáveis de entrada, e as variáveis de saída do sistema, que são medidas diretamente e que descrevem as respostas providas por funções de entrada selecionadas.

## 2.1.2 Classificação de sistemas

Nesta subseção são apresentadas as classificações mais usuais de sistemas com a finalidade de introduzir os sistemas a eventos discretos que é o tipo de sistemas estudado neste trabalho.

### 2.1.2.1 Sistemas estáticos e dinâmicos

Os sistemas podem ser classificados em estáticos ou dinâmicos. Um sistema é dito estático quando a saída  $y(t)$  independe dos valores passados da entrada  $u(\tau)$ , onde  $\tau < t$  para todo  $t$ . Em um sistema dinâmico, a saída depende de valores passados da entrada.

### 2.1.2.2 Sistemas variantes e invariantes no tempo

Os sistemas dinâmicos podem ser divididos em invariantes no tempo ou variantes no tempo. No primeiro caso, a saída é independente do instante de aplicação da entrada, isto é, se  $y(t)$  é a resposta para  $u(t)$ , então a resposta a  $u(t-\tau)$  é  $y(t-\tau)$ , como mostrado na figura 2.1. Caso contrário, o sistema é dito variante no tempo.

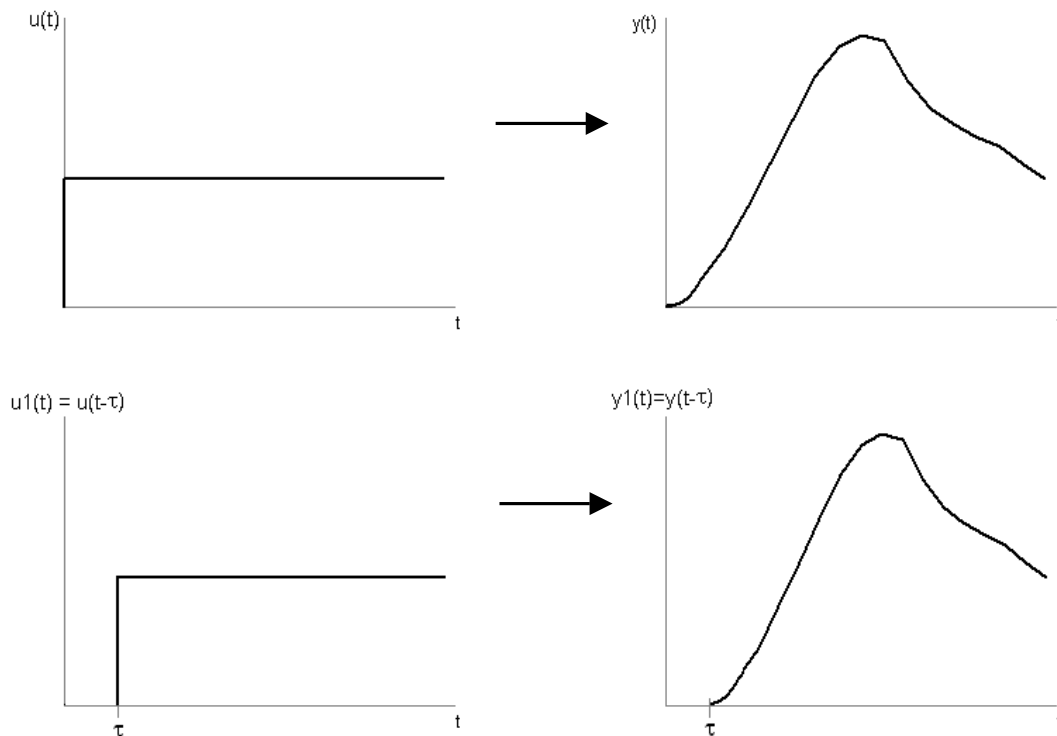


Figura 2.1: Exemplo de sistema invariante no tempo.

### 2.1.2.3 Sistemas lineares e não-lineares

Os sistemas podem ser classificados em lineares ou não-lineares. O sistema é linear quando se pode aplicar o princípio da superposição, ou seja, se  $y_1(t)$  e  $y_2(t)$  são respostas às entradas  $u_1(t)$  e  $u_2(t)$ , então a resposta a  $u(t) = \alpha u_1(t) + \beta u_2(t)$  será  $y(t) = \alpha y_1(t) + \beta y_2(t)$ . Caso não seja possível aplicar o princípio da superposição, o sistema é dito não-linear.

### 2.1.2.4 Sistemas determinísticos e estocásticos

Os sistemas podem ser determinísticos ou estocásticos. No primeiro caso, para uma dada entrada há somente uma única saída (assumindo-se que as condições iniciais são as mesmas). Em um sistema estocástico, para uma dada entrada, a saída é caracterizada em termos probabilísticos.

### 2.1.2.5 Sistemas com estados contínuos e sistemas com estados discretos

O estado de um sistema dinâmico é o menor conjunto de variáveis tal que o conhecimento destas variáveis em  $t = t_0$  juntamente com a entrada para  $t \geq t_0$ , determina completamente o comportamento do sistema para qualquer instante  $t \geq t_0$  [3].

O estado é representado por um vetor da forma  $x(t) = [x_1(t), \dots, x_n(t)]$ , cujos componentes são denominados variáveis de estado. O conjunto formado por todos os valores possíveis das variáveis de estado formam o espaço de estado, denotado por  $X$ .

O espaço de estado de um sistema pode ser contínuo, quando ele é composto por todos os vetores de dimensão  $n$  formados por elementos do conjunto dos números reais (e em alguns casos complexos); ou discreto, quando as variáveis de estado são discretas, ou seja, o espaço de estado é um conjunto discreto.

### 2.1.2.6 Sistemas contínuos no tempo e sistemas discretos no tempo

Se as variáveis de entrada e saída de um sistema são definidas em qualquer instante de tempo, esse sistema é dito contínuo no tempo. No caso de um sistema discreto no tempo, essas variáveis estão definidas somente em instantes de tempo discretos. É importante observar que o fato de a variável de estado ser discreta no tempo não implica em um espaço de estado discreto, e vice-versa.

### 2.1.2.7 Sistemas dirigidos pelo tempo e sistemas dirigidos por eventos

Evento é um acontecimento que pode promover uma mudança de estados, como por exemplo pressionar um botão. Neste trabalho, é usado o símbolo “ $e$ ” para denotar um

evento e o símbolo “ $E$ ” para representar o conjunto discreto formado por todos os eventos possíveis para um determinado sistema.

Nos sistemas contínuos no tempo, normalmente ocorre uma mudança de estado quando há uma mudança no tempo, podendo-se dizer que a evolução das variáveis de estado está relacionada com a evolução do tempo. Isso também ocorre em sistemas discretos no tempo, quando a todo sinal de um relógio, um evento ( $e$ ) do conjunto de eventos ( $E$ ) é selecionado promovendo uma mudança de estado. A não ocorrência de algum evento pode ser interpretada como a ocorrência de um evento nulo, ou seja, um evento de  $E$  cuja propriedade é não causar nenhuma transição de estado.

Nesses casos, as transições de estado são sincronizadas por um relógio e a cada instante um evento (ou nenhum evento) é selecionado. Como o tempo é responsável pelas transições de estado, diz-se que se trata de um sistema dirigido pelo tempo [4].

Em sistemas dirigidos por eventos, os eventos ocorrem de forma assíncrona com o tempo, isto é, a ocorrência do evento é independente do tempo.

## 2.2 Sistemas a eventos discretos

A partir de todos os conceitos definidos na seção 2.1, é possível classificar os sistemas em duas classes distintas: Sistemas Dinâmicos de Variáveis Contínuas (SDVC) ou Sistemas a Eventos Discretos (SED) [2].

Os sistemas do tipo SDVC possuem espaço de estado contínuo e são dirigidos pelo tempo. Os Sistemas a Eventos Discretos (SED) têm espaço de estado discreto e os mecanismos de transição de estados são dirigidos por eventos, ou seja, a evolução dos estados depende somente da ocorrência de eventos discretos e assíncronos no tempo.

A figura 2.2 mostra a classificação dos sistemas e situa o sistema estudado neste trabalho, que é um sistema a eventos discretos determinístico.

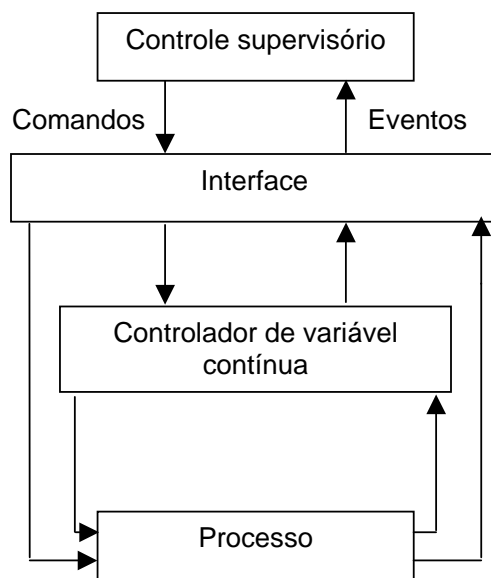
Os sistemas automatizados complexos (como sistemas de manufatura e processos químicos, etc.) normalmente requerem vários níveis hierárquicos de controle, desde servomecanismos até softwares que implementam a lógica de controle. Nesses sistemas é comum descrever um SED para controlar o sistema em um nível hierárquico superior, denominado controlador supervisor, sendo o controlador de variável contínua responsável pelos níveis inferiores, conforme mostrado na figura 2.3.



**Figura 2.2: Classificação dos sistemas.**

Como pode ser visto na figura 2.3, a informação de sensores e controladores de variáveis contínuas é enviada pela interface ao supervisor na forma de eventos, e o supervisor, por sua vez, envia comandos à interface, que traduz os mesmos para gerar sinais de entrada para os atuadores ou sinais de referência para os controladores de variáveis contínuas.

Há diversos métodos para modelar o comportamento lógico de um sistema a eventos discretos, como os autômatos, as redes de Petri e o Diagrama Funcional Sequencial, sendo os dois primeiros mais teóricos que o último. O sistema considerado neste trabalho foi modelado utilizando o Diagrama Funcional Sequencial, que é apresentado na seção 2.3.



**Figura 2.3: Monitoramento e controle de um sistema complexo.**

## 2.3 Diagrama Funcional Seqüencial

Em 1975, pesquisadores e gerentes industriais franceses, envolvidos em complexos sistemas de controle discreto, reuniram-se para comparar e avaliar os modelos e métodos para construção de sistemas de controle seqüencial existentes, com o objetivo de construir um modelo mais simples e de fácil entendimento [5].

Após anos de estudos, propuseram um modelo chamado GRAFCET. O nome é derivado de *Graph*, pois o modelo tinha um fundamento gráfico, e AFCET (*Association Française Pour La Cybernétique Économique et Technique*) – associação científica que financiou o trabalho.

Durante vários anos este modelo foi testado em empresas privadas e instituições de ensino da França, revelando ser muito eficiente à representação de pequenos e médios sistemas seqüenciais.

Então, fabricantes de PLCs e produtores de software escolheram o Grafcet como um modelo de representação para controles seqüenciais booleanos e propuseram implementações tanto para os PLCs como para os PCs. A utilização industrial aumentou e pesquisadores começaram a estudar o uso teórico e prático deste modelo em métodos e ferramentas de projeto. Como consequência, surgiu a necessidade de normatização.

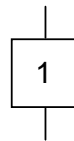
Em 1988, a IEC (*International Eletrotechnical Comission*) adotou o Grafcet como Norma Internacional sob o nome de Diagrama Funcional Seqüencial (*Sequential Function Chart – SFC*), e referência IEC 848, sendo posteriormente alterada para IEC 60848.

Embora tenha sido preparado visando aplicações eletrotécnicas, o SFC pode ser aplicado também a sistemas não elétricos (hidráulicos, pneumáticos ou mecânicos, por exemplo), pois descreve as funções de controle relativas a determinado sistema, independente do campo de aplicação.

Os elementos que compõem o SFC são a etapa, as transições e as ligações orientadas. Esses elementos são descritos a seguir.

### 2.3.1 Etapa

A etapa representa um estado parcial do sistema, no qual uma ação é realizada. A simbologia utilizada para representar uma etapa é mostrada na figura 2.4.



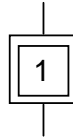
**Figura 2.4: Etapa.**

As etapas são referenciadas por meio de caracteres alfanuméricos sem a necessidade de se respeitar uma ordem numérica. Entretanto, não é permitido que etapas diferentes tenham a mesma referência.

Em determinado instante uma etapa pode estar ativa ou inativa, sendo que o estado de um sistema é determinado pelo conjunto de etapas ativas em um dado momento. Para indicar que uma etapa está ativa em determinado momento no SFC, utiliza-se um ponto (•) localizado na parte inferior aos símbolos correspondentes.

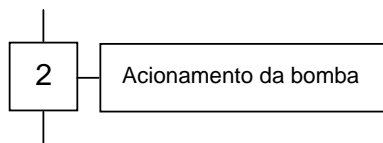
A etapa inicial é ativada incondicionalmente no início do controle de um sistema e indica a situação inicial deste. Não há restrições à quantidade de etapas iniciais, ressaltando que caso haja mais de uma etapa inicial, todas serão ativadas simultaneamente no início do controle do sistema.

A simbologia utilizada para representar uma etapa inicial é exibida na figura 2.5.



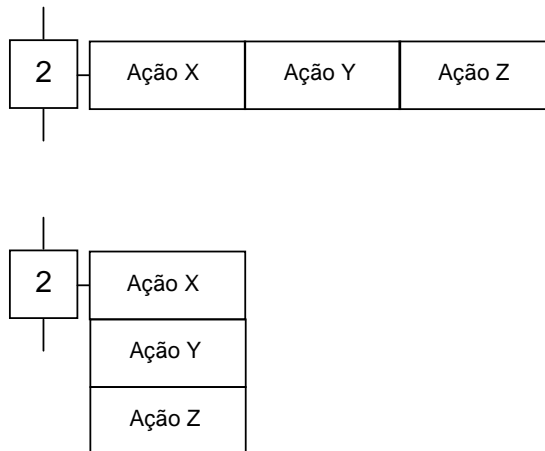
**Figura 2.5: Etapa inicial.**

As etapas possuem ações associadas que são executadas somente se a etapa estiver ativa. Essas ações são definidas por declaração textual ou simbólica inserida em um retângulo, conforme indicado na figura 2.6:



**Figura 2.6: Ação associada à etapa.**

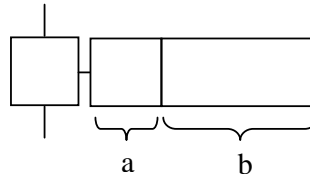
Para representar mais de uma ação associada à mesma etapa, utiliza-se uma das formas da figura 2.7, sendo importante ressaltar que não há qualquer sequência de realização das ações, sendo todas realizadas ao mesmo tempo.



**Figura 2.7: Representação de várias ações associadas à mesma etapa.**

Além de se definir o comportamento do sistema em determinado momento, é preciso definir se a ação será continuada ou finalizada após a desativação da etapa. Uma ação não continuada é executada pelo período de tempo em que a etapa estiver ativa. No entanto, em

alguns casos, faz-se necessário condicionar ou limitar a execução da ação. Isso é possível com a utilização de ações detalhadas (ou qualificadas), conforme mostrado na figura 2.8.



**Figura 2.8: Ação detalhada associada à etapa.**

O campo “a” deve conter o qualificador que define como a ação será executada e será apresentado somente quando necessário. O campo “b” deve conter a declaração textual ou simbólica da ação.

Os qualificadores que podem ser definidos em um SFC são: stored (S), delayed (D), time limited (L), pulse shaped (P) e conditional (C). Cada um desses qualificadores é descrito a seguir.

- S (stored - armazenada/mantida) – a ação é continuada após a desativação da etapa e até ser finalizada por outra etapa.

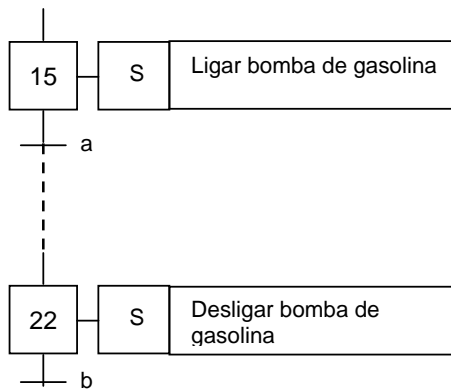
No exemplo da figura 2.9, a ação de acionamento da bomba é mantida após a desativação da etapa 15, sendo finalizada pela ativação da etapa 22.

- D (delayed – atrasada) – a ação é iniciada decorrido um tempo especificado, e mantida enquanto a etapa estiver ativa, como mostra a figura 2.10 (a). Se a etapa permanecer ativa por um período menor que o especificado, a ação não é iniciada.

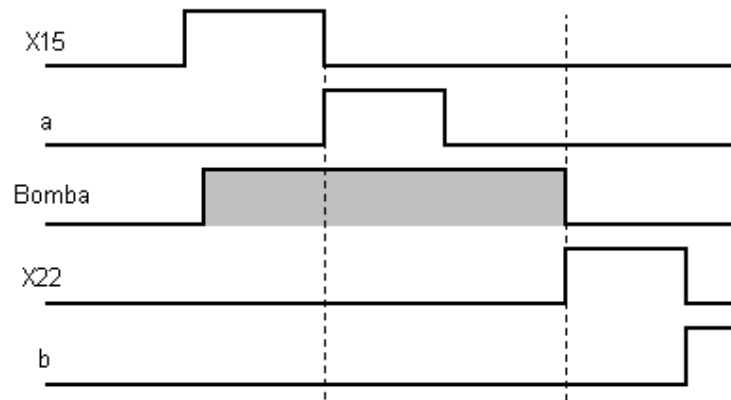
Na figura 2.10 (b), a ação de abertura da válvula é iniciada dois segundos após a ativação da etapa 15, sendo finalizada pela sua desativação. Na figura 2.10 (c), a ação não é iniciada, pois a etapa 15 é desativada antes mesmo de ser atingido o tempo especificado.

- L (time limited – tempo limitado) – a ação é iniciada e mantida enquanto a etapa estiver ativa e até ser atingido o tempo especificado, como mostrado na figura 2.11 (a).

Na figura 2.11 (b), a ação é iniciada quando a etapa 15 é ativada e é finalizada após 2 segundos. Na figura 2.11 (c), a ação é finalizada na desativação da etapa 15, portanto antes de atingir o tempo do qualificador.



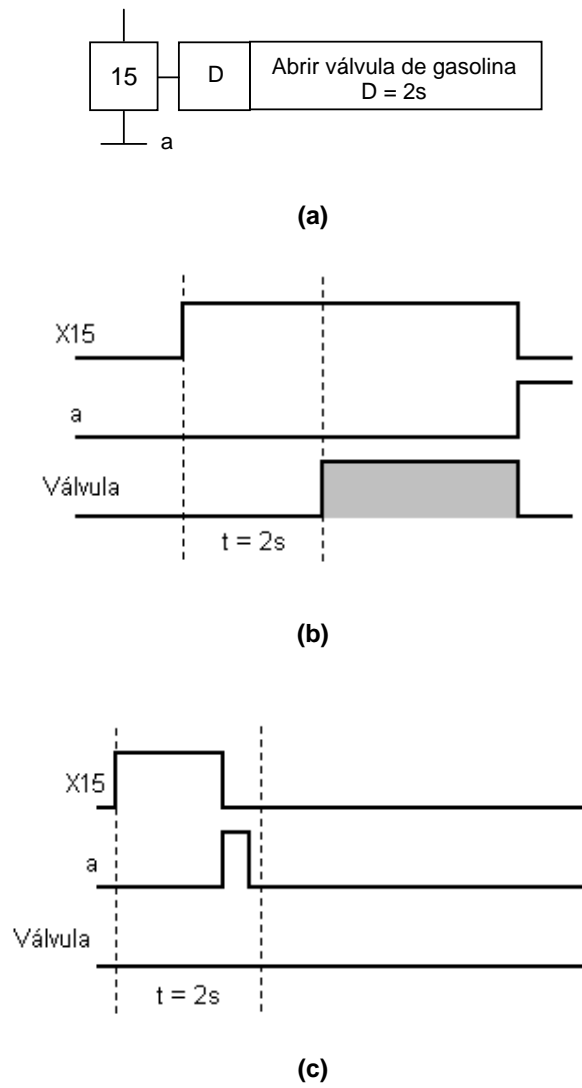
(a)



(b)

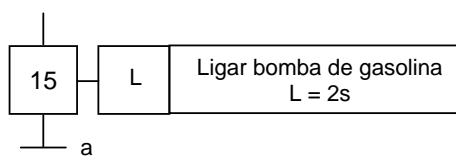
**Figura 2.9: Qualificador stored.**

- P (pulse shaped – pulsada) - quando o tempo de execução da ação for muito pequeno, utiliza-se o qualificador P em vez de L. O tempo de execução está diretamente relacionado à tecnologia utilizada na implementação do sistema automatizado. A figura 2.12 mostra um exemplo do qualificador P.

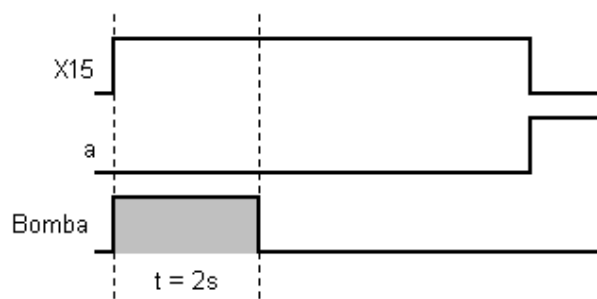


**Figura 2.10: Qualificador delayed.**

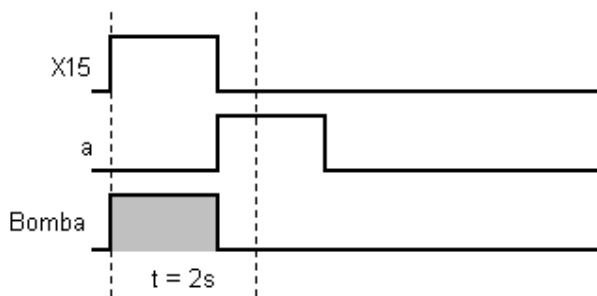
- C (conditional – condicional) – a ação é iniciada e mantida enquanto a etapa estiver ativa, desde que a condição lógica especificada seja verdadeira. A condição lógica pode ser indicada interna ou externamente ao símbolo, conforme mostrado nas figuras 2.13 (a) e 2.13 (b).



(a)



(b)



(c)

Figura 2.11: Qualificador time limited.

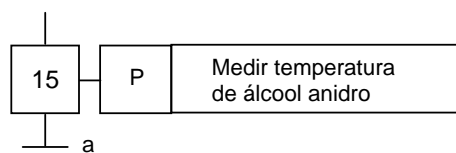
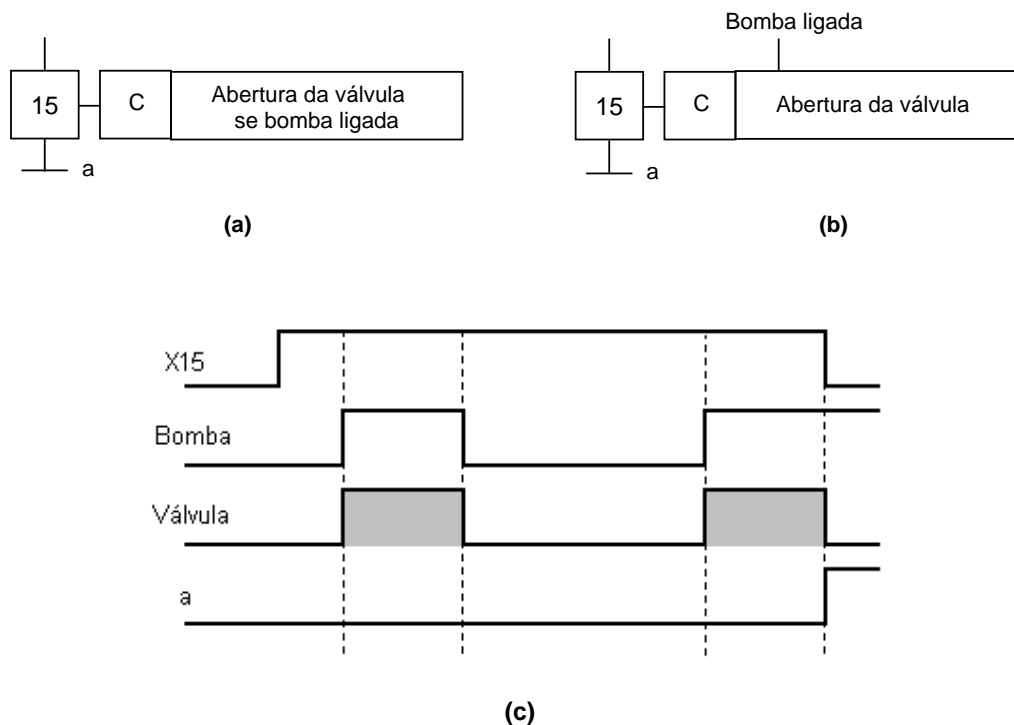


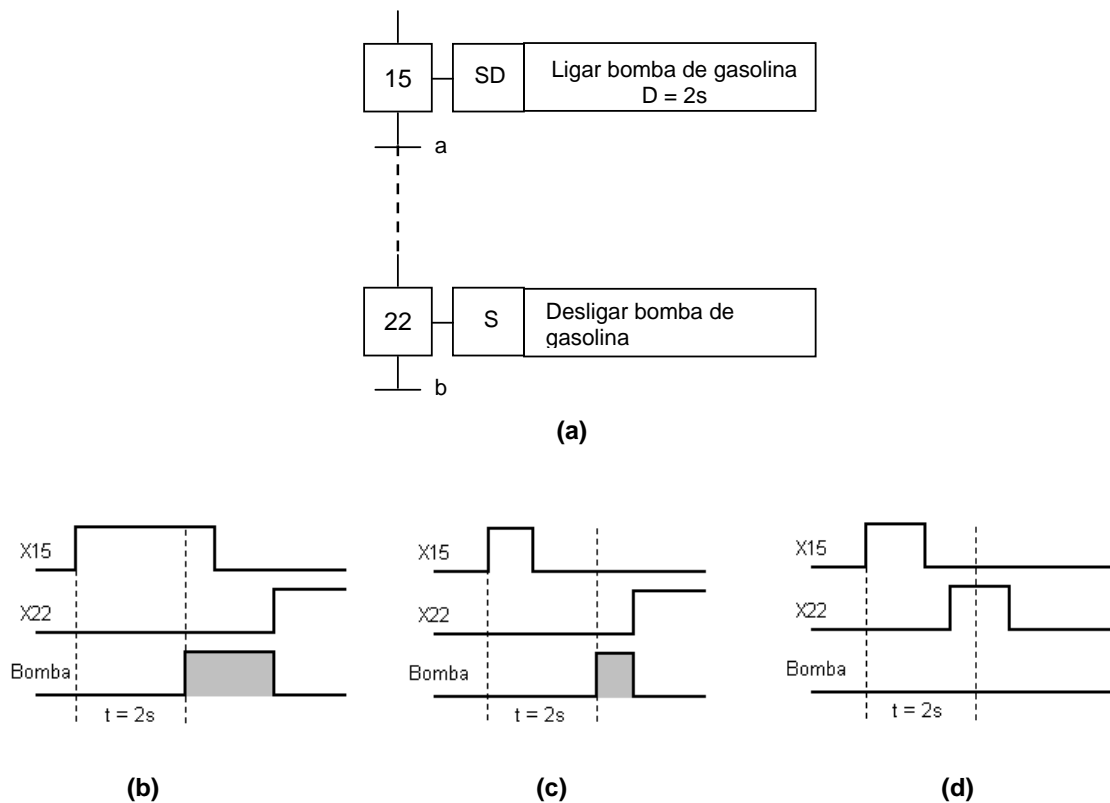
Figura 2.12: Qualificador pulse shaped.



**Figura 2.13: Qualificador conditional.**

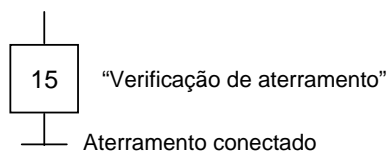
Uma ação pode ser detalhada também por meio de combinação dos qualificadores. Nestes casos, a ordem de apresentação dos qualificadores determina a seqüência que deve ser satisfeita para execução da ação associada à etapa. A figura 2.14 ilustra um exemplo de combinação de qualificadores.

No primeiro caso deste exemplo, figura 2.14 (b), a etapa 15 permanece ativa após ser atingido o tempo especificado. No segundo caso, figura 2.14 (c), a etapa 15 é desativada antes de ser atingido o tempo especificado, porém a bomba é ligada pois foi utilizado o qualificador S. No último caso, figura 2.14 (d) a etapa 22 é ativada antes de ser atingido o tempo determinado, cancelando a ação armazenada e portanto, não acionando a bomba.



**Figura 2.14: Qualificador SD.**

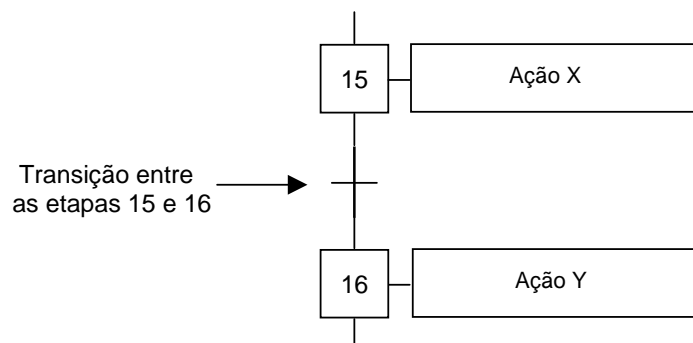
Podem ocorrer ainda situações em que não haja uma ação específica associada à determinada etapa, mas que seja necessário haver a indicação de um estado específico referente àquela etapa. Neste caso, não se utiliza o retângulo conectado ao lado direito da etapa, sendo colocado um comentário referente ao estado à direita da etapa, normalmente entre aspas, como mostrado na figura 2.15.



**Figura 2.15: Definição de estado associado às etapas.**

### 2.3.2 Transições

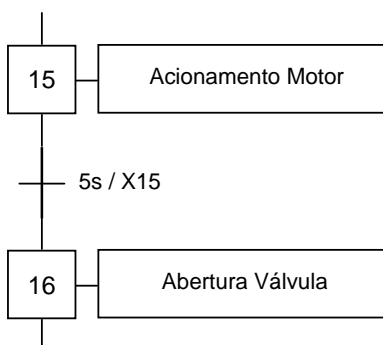
A transição é o elemento que conecta uma etapa precedente a uma etapa seguinte e é representada por um traço entre as etapas, como mostrado na figura 2.16.



**Figura 2.16: Transição.**

Às transições são associadas condições que determinam a transposição de uma etapa à outra. As condições são proposições lógicas, que podem ser verdadeiras ou falsas em determinado instante.

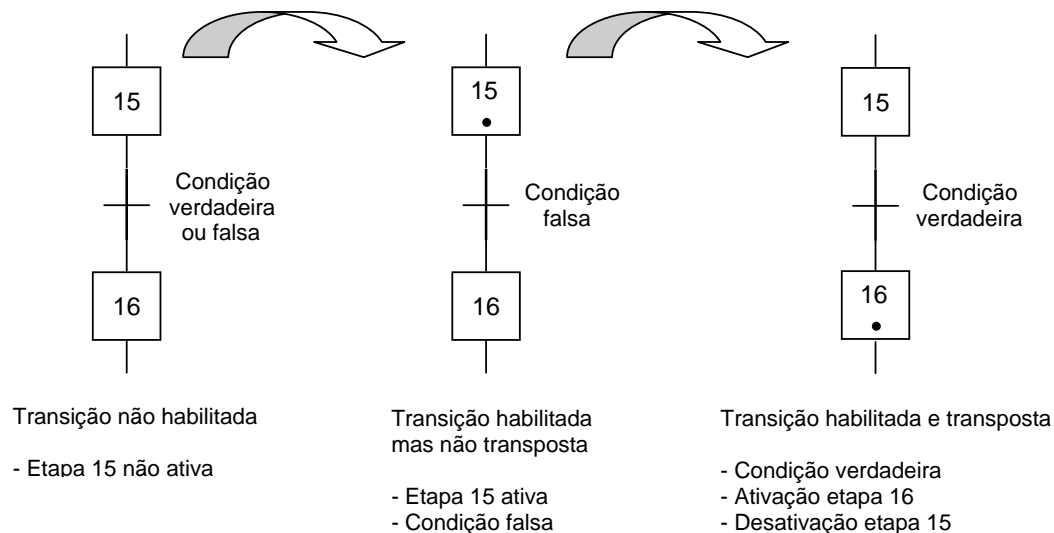
As condições podem estar relacionadas ao tempo de ativação de uma etapa, devendo ser usada uma notação “tempo/condição” conforme mostrado na figura 2.17.



**Figura 2.17: Condição relacionada ao tempo.**

Para que uma transição esteja habilitada, ou seja, possível de ser transposta, é necessário que todas as etapas imediatamente precedentes estejam ativas. E, para que a transição seja transposta, é necessário que esteja habilitada e que a condição associada seja verdadeira.

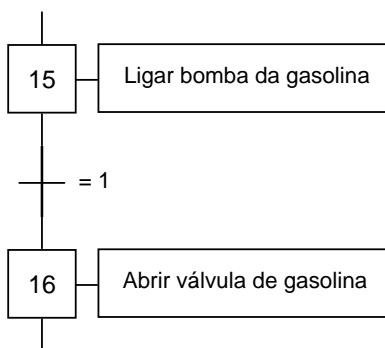
A transposição de uma transição ocasiona simultaneamente a ativação de todas as etapas imediatamente seguintes e a desativação de todas as etapas imediatamente precedentes.



**Figura 2.18: Transposição de uma transição.**

A figura 2.18 mostra as condições necessárias para a transposição de uma transição, e o estado precedente e seguinte, antes e após a transição ser transposta.

É possível que uma transição seja transposta incondicionalmente, desde que habilitada, sendo denominada transição incondicional. A notação utilizada para esse tipo de transição é “= 1”, conforme mostrado na figura 2.19.

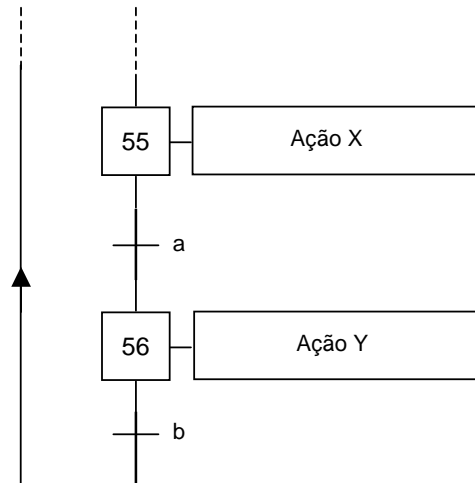


**Figura 2.19: Transição incondicional.**

### 2.3.3 Ligações orientadas

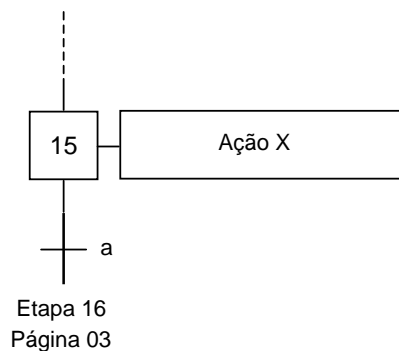
As etapas são conectadas às transições, e estas às etapas, por meio das ligações orientadas. São utilizadas preferencialmente vertical ou horizontalmente, podendo ser oblíquas para facilitar a compreensão do SFC.

Convencionalmente, o sentido de evolução é sempre de cima para baixo. Para indicar o sentido inverso, utilizam-se setas, como mostrado na figura 2.20:



**Figura 2.20: Sentido das ligações orientadas.**

Quando é preciso interromper uma ligação orientada para continuá-la em outra página, a referência da etapa seguinte e o número da página em que se encontra devem ser indicados, conforme figura 2.21.

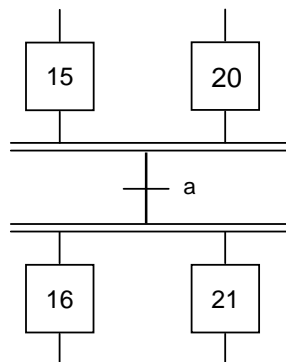


**Figura 2.21: Indicação de continuidade da ligação orientada.**

### 2.3.4 Regras de evolução

As regras de evolução fornecem a dinâmica de um Diagrama Funcional Seqüencial e são apresentadas a seguir.

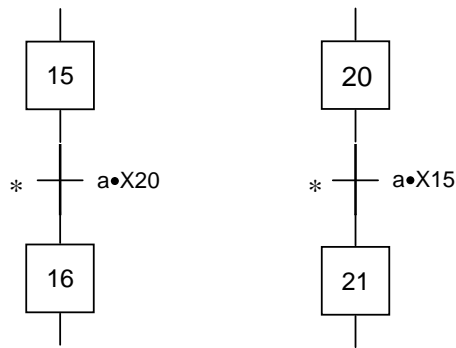
- Situação inicial – a situação inicial do sistema é dada pelas etapas iniciais do SFC, que são ativadas incondicionalmente no início da operação.
- Transposição de uma transição – para que uma transição seja transposta, é preciso que todas as etapas imediatamente precedentes estejam ativas e que a condição associada à transição seja verdadeira.
- Evolução das etapas ativas – quando uma transição é transposta, ocorre a desativação da etapa imediatamente precedente e ativação da etapa imediatamente seguinte, simultaneamente.
- Transposição simultânea de transições – a representação de transições que serão transpostas simultaneamente deve ser feita por meio de linhas duplas, conforme mostrado na figura 2.22.



**Figura 2.22: Transposição simultânea de uma transição.**

Se as transições simultâneas estiverem dispostas separadamente no SFC, utiliza-se a representação da figura 2.23, onde constam um asterisco à esquerda da transição e a referência da etapa envolvida.

- Ativação e desativação simultânea de uma etapa – se ocorrer a ativação e desativação de uma mesma etapa ao mesmo tempo, a ativação será prioritária.



**Figura 2.23: Transições simultâneas separadas.**

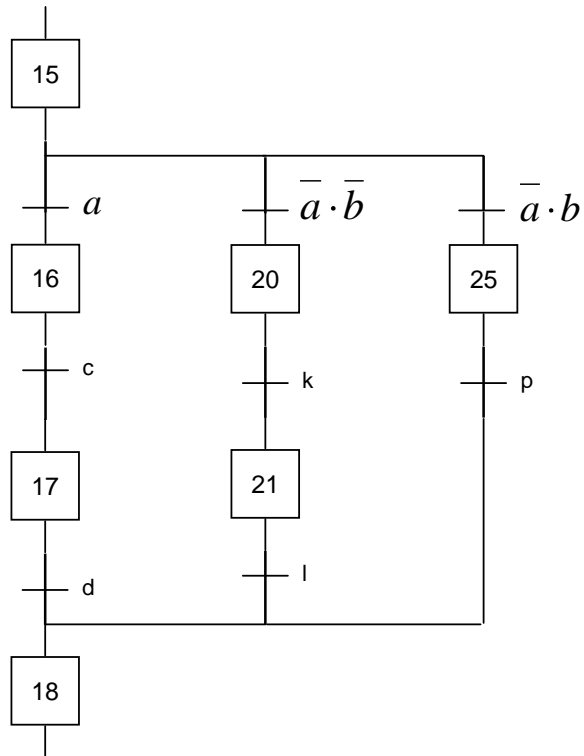
- Tempo nulo – Os tempos para transposição de uma transição, ou ativação de uma etapa podem ser extremamente curtos porém nunca podem ser considerados nulos.

### 2.3.5 Seqüências seletivas ou alternativas

As seqüências seletivas são utilizadas para representar decisões, nas quais é definida apenas uma seqüência a ser seguida. As condições associadas às transições do início de cada seqüência devem ser exclusivas, ou seja, apenas uma condição pode ser verdadeira em determinado instante, como mostra a figura 2.24.

Se houver a possibilidade de duas seqüências serem verdadeiras ao mesmo tempo, deverá haver uma prioridade entre elas, de forma que apenas uma transição poderá ser transposta.

No exemplo da figura 2.24, a condição  $a$  tem prioridade sobre as demais condições  $\bar{a} \cdot b$  e  $\bar{a} \cdot \bar{b}$ . Portanto, se  $a$  for verdadeira, ocorrerá a transposição entre as etapa 15 e 16. Caso  $a$  seja falso e  $b$  seja verdadeiro, a condição  $\bar{a} \cdot b$  será verdadeira, a etapa 15 será desativada e a etapa 25 será ativada. Se a condição  $\bar{a} \cdot \bar{b}$  for verdadeira, o que significa que as condições  $a$  e  $\bar{a} \cdot b$  serão falsas, ocorrerá a transposição entre as etapa 15 e 20.

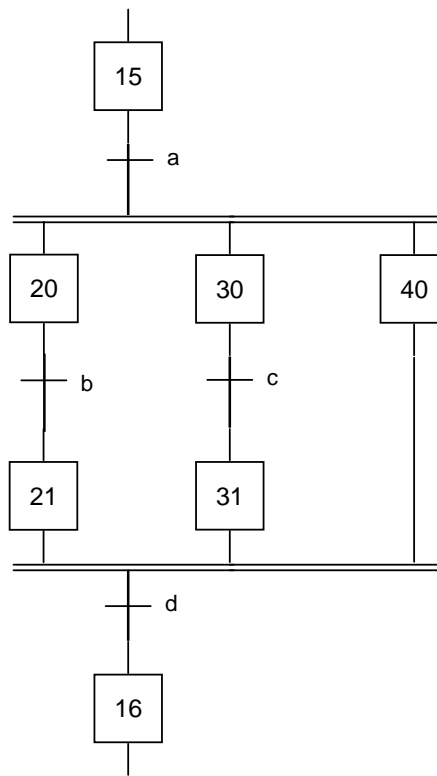


**Figura 2.24: Seqüência seletiva (alternativa).**

### 2.3.6 Seqüências simultâneas ou paralelas

As seqüências simultâneas definem seqüências com evoluções paralelas. O início de uma seqüência simultânea é sempre divergente: após a ativação, por meio de uma única transição, cada seqüência tem sua evolução independente.

Tanto o início como o final de seqüências simultâneas são indicados por linhas duplas, conforme mostrado na figura 2.25. Não é necessário que todas as seqüências que compõem uma seqüência simultânea tenham fim, ou início, no mesmo ponto.



**Figura 2.25: Seqüência simultânea (paralela).**

## 2.4 Comentários finais

Uma vez introduzidos os conceitos referentes à teoria de sistemas a eventos discretos e após a familiarização com os fundamentos do Diagrama Funcional Seqüencial, é possível modelar sistemas utilizando o SFC.

O sistema de carregamento de combustíveis estudado nesse trabalho é considerado um sistema a eventos discretos, visto que sua dinâmica é definida a partir da ocorrência de eventos. No entanto, para modelar esse sistema por SFC, é preciso que seu funcionamento seja descrito, o que é feito no capítulo seguinte.

## **Capítulo 3**

### **Sistema de Carregamento de Combustíveis**

A proposta deste capítulo é apresentar o sistema de carregamento de combustíveis de um terminal de distribuição da empresa Esso Brasileira de Petróleo Ltda. O processo consiste na transferência do produto de um tanque de armazenamento para um caminhão, também chamado de auto-tanque, que transporta o combustível até os postos de vendas.

Este capítulo está estruturado da seguinte forma: na seção 3.1 são apresentados os principais conceitos que envolvem o processo de carregamento; na seção 3.2 é apresentada uma descrição dos equipamentos presentes no sistema; na seção 3.3, é descrita a operação de carregamento; na seção 3.4 são apresentados os alarmes do sistema; na seção 3.5 são descritos os parâmetros relacionados à segurança da operação e, finalmente, na seção 3.6 são feitos os comentários finais do capítulo.

#### **3.1 Terminologia utilizada**

Para descrever o processo de carregamento, é preciso antes definir a terminologia usada [6], o que é feito a seguir:

Produto – qualquer líquido medido e controlado pelo sistema como gasolina, álcool, diesel B, diesel D, querosene de aviação, óleo combustível, etc. Nesse trabalho será considerado apenas o carregamento de gasolina C, produto resultante da mistura de gasolina A com álcool anidro na proporção de 75% e 25%, respectivamente.

Aditivo – líquido injetado em um líquido primário (produto) em quantidades relativamente pequenas, geralmente menores do que quatro por cento do volume total.

Mistura – processo de mistura de dois ou mais produtos. A quantidade de cada produto em uma mistura é geralmente maior do que quatro por cento pois, para valores menores do que isso, o controle geralmente é feito por processo de aditivação.

Braço (ou braço de carregamento) – tubo móvel usado na plataforma de carregamento para inserir o produto dentro do compartimento do caminhão-tanque. O carregamento pode ser feito por cima do caminhão (top loading) ou por baixo (bottom loading), dependendo do tipo de caminhão. Há braços que podem ser posicionados para carregamento em ambos os lados de uma ilha de carregamento, sendo estes chamados de braços centrais.

Ilha de carregamento – instalação de um ou mais braços de carregamento usados para entregar produtos para um caminhão-tanque. Dependendo da construção da ilha de carregamento é possível que os caminhões parem em apenas um lado, ou que ocorram carregamentos simultâneos com dois caminhões, cada um estacionado em um lado da ilha.

Baia (posição) de carregamento – um dos lados da ilha de carregamento, posição onde o auto-tanque estaciona para a operação de carregamento. Uma baia pode ter um ou mais braços.

Medidor de fluxo – equipamento que mede o fluxo de líquido passante. É composto por um transmissor de pulsos que conta um pulso a cada giro do medidor, o que corresponde a um volume definido de produto. O medidor de fluxo é calibrado por um medidor de referência que por sua vez é aferido e certificado.

Filtro – equipamento que filtra o produto, retendo partículas provenientes das tubulações e do restante do sistema.

Quantidade indicada – variação na leitura do medidor que ocorre durante a operação de medição de fluxo de produto. A quantidade indicada é igual à leitura final do medidor menos a leitura inicial.

Aferição de medidor – procedimento realizado para determinar o fator de medição de um medidor. Consiste em comparar o volume de líquido registrado por uma unidade certificada e tida como referência com o volume registrado pelo medidor de fluxo usado no carregamento de combustíveis.

Fator de medição – número obtido durante o processo de aferição do medidor dividindo-se o volume de líquido registrado pela unidade de referência pelo volume registrado pelo medidor de fluxo. O fator de medição é usado para corrigir o volume indicado (registro final do medidor menos o registro inicial) para o volume bruto (real).

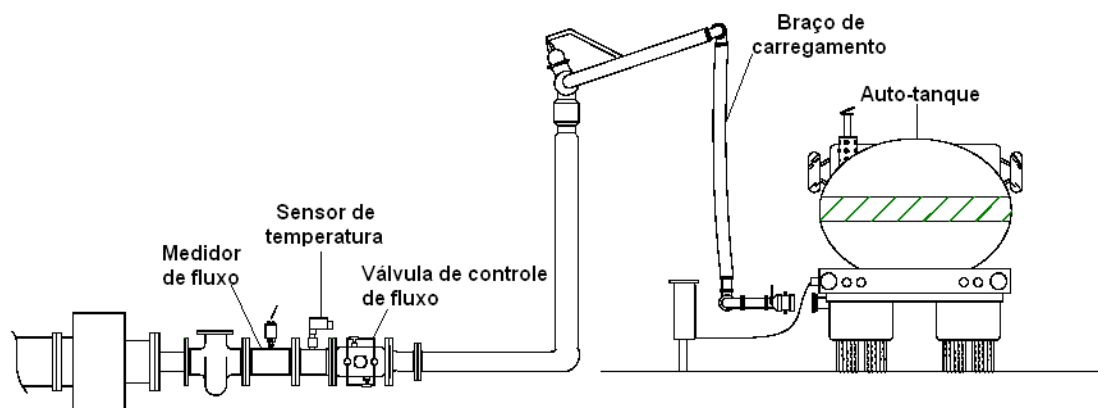
Quantidade bruta – a *quantidade indicada* multiplicada pelo *fator de medição*.

Quantidade padrão – quantidade bruta corrigida para a temperatura padrão, que no caso do Brasil é de 20°C. Essa quantidade é calculada multiplicando-se a quantidade bruta pelo fator de correção de temperatura, que considera os efeitos da variação de volume com a temperatura do produto.

Válvulas de controle de fluxo – válvulas que são reguladas de forma a aumentar ou diminuir o fluxo passante. A regulação dessas válvulas é feita pela solenóide, uma válvula elétrica que recebe comando de abertura ou fechamento.

Permissivo – dispositivos que estão diretamente relacionados com a segurança da operação e por isso estão fechados para condições seguras e abertos em caso contrário.

A figura 3.1 ilustra um sistema de carregamento do tipo bottom-loading.



**Figura 3.1: Sistema de carregamento bottom-loading.**

## **3.2 Descrição dos equipamentos**

Nesta seção é feita uma descrição dos equipamentos utilizados no sistema de carregamento de combustíveis.

### **3.2.1 Bomba centrífuga**

As bombas são máquinas que introduzem em um líquido em escoamento energia externa, ou seja, transformam energia mecânica fornecida por uma fonte (um motor elétrico, por exemplo) em energia hidráulica sob a forma de pressão e velocidade, com a finalidade de transportar o líquido de um ponto a outro.

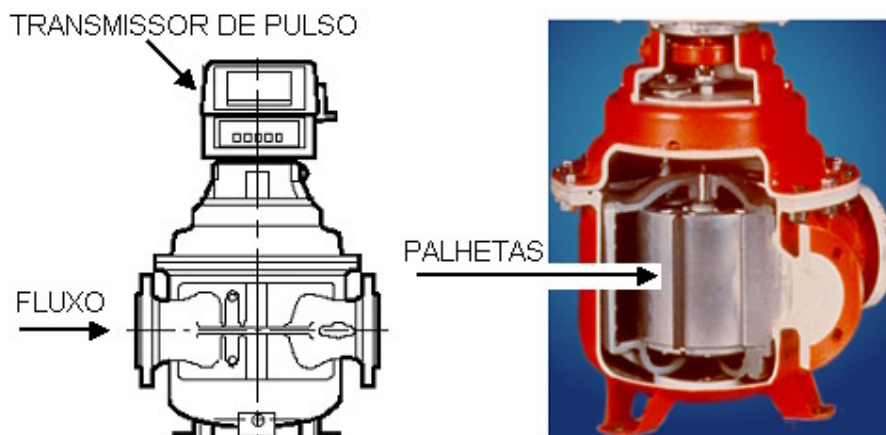
As bombas centrífugas têm como princípio de funcionamento a força centrífuga através de palhetas e impulsores que giram no interior de uma carcaça estanque, jogando líquido do centro para a periferia do conjunto girante.

### **3.2.2 Medidor de volume**

Trata-se de um medidor do tipo deslocamento positivo composto por palhetas que giram em um sentido deslocando um determinado volume de líquido e gerando um pulso ao transmissor de pulsos correspondente ao volume deslocado. Assim, a saída do medidor é um trem de pulsos onde cada pulso corresponde a 50 litros.

Como todo equipamento de medição, o medidor de fluxo possui erros de leitura. Por isso, esse equipamento é calibrado e possui um fator de medição que considera o erro em

relação a uma unidade de referência aferida. O volume de produto real será, portanto, o valor medido multiplicado pelo fator de medição.



**Figura 3.2: Medidor de fluxo.**

A vazão de carregamento é calculada a cada pulso enviado pelo transmissor de pulsos, dividindo-se o volume carregado desde o último pulso recebido pelo intervalo de tempo entre os pulsos.

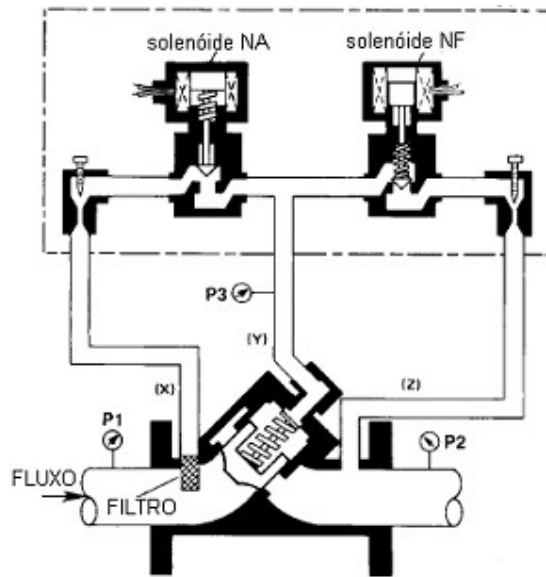
### **3.2.3 Válvula de controle de fluxo**

É uma válvula composta por duas solenóides, como mostrado na figura 3.3, que são energizadas a fim de controlar o fluxo de líquido, sendo uma das solenóides normalmente aberta (NA) e a outra normalmente fechada (NF).

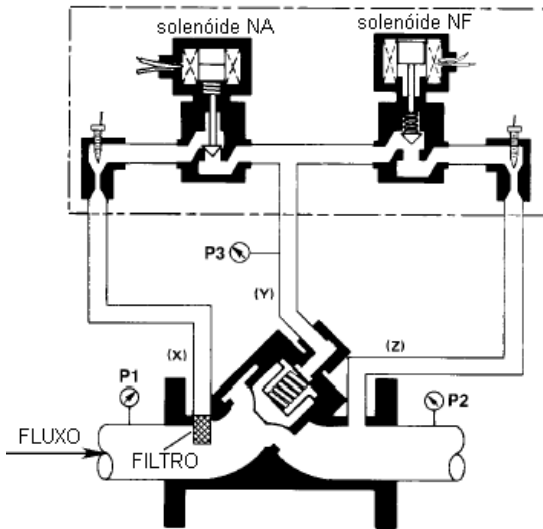


**Figura 3.3: Válvula de controle de fluxo.**

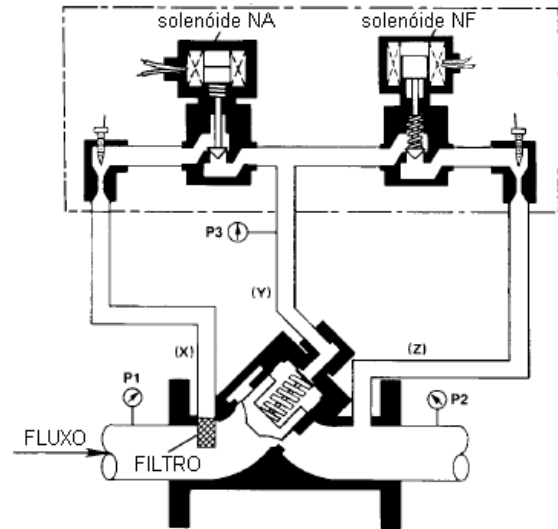
Quando as solenóides estão desenergizadas, a válvula está fechada, como mostrado em 3.4(a). Quando as mesmas estão energizadas, figura 3.4(b), a pressão no ponto x é alta e nos pontos z e y é baixa, portanto a alta diferença de pressão força o pistão a abrir. Nessa configuração, a válvula está totalmente aberta, logo a vazão é máxima. Na operação a vazão baixa, figura 3.4(c), a solenóide NA está energizada e a solenóide NF desenergizada. Assim, a pressão no ponto x é alta, no ponto z é baixa no ponto y é média. Como a diferença de pressão entre x e y é pequena, a força que empurra o pistão também será.



(a) Solenóides desenergizadas.



(b) Solenóides energizadas.

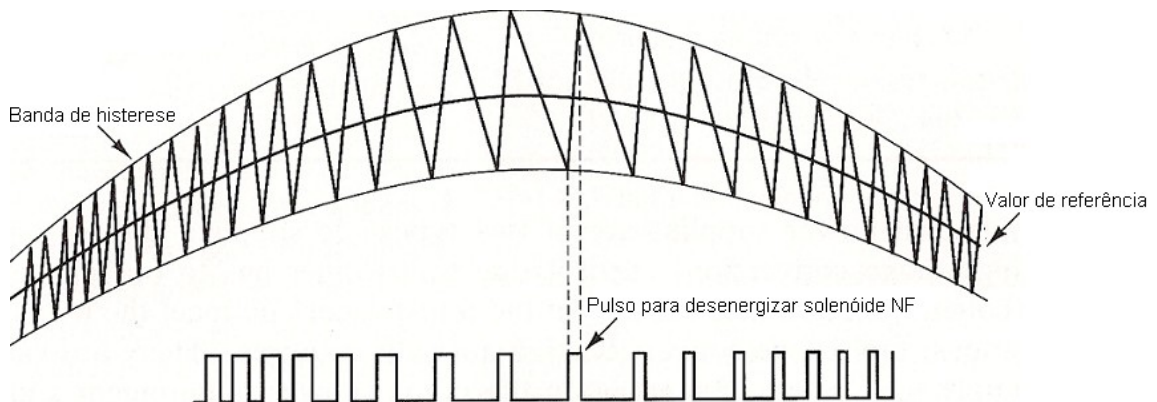


(c) Solenóide NA energizada e NF desenergizada.

Figura 3.4: Funcionamento da válvula de controle de fluxo.

Assim, as solenóides serão automaticamente energizadas e desenergizadas em instantes de tempo extremamente curtos de forma a ajustar a válvula para operar na vazão configurada, considerando uma margem de erro.

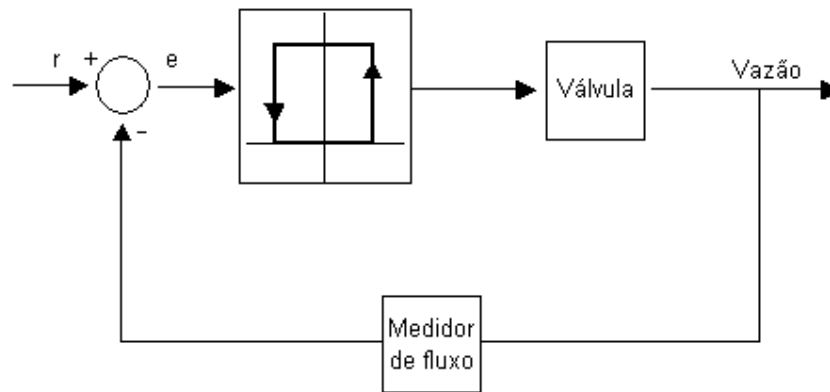
Portanto, o controle da válvula pode ser representado por uma função de histerese [7], conforme mostrado na figura 3.5, na qual a banda de histerese é dada pelos erros máximo e mínimo permitidos em relação à vazão configurada.



**Figura 3.5: Controle por histerese.**

Nesse controle é feita uma comparação entre o valor atual da vazão e um valor de referência, de forma que a diferença entre esses valores, denominada erro, esteja dentro da banda de histerese. Caso isso não ocorra, a solenóide NF será energizada ou desenergizada conforme o erro se aproxime do limite inferior ou superior, respectivamente. A figura 3.6 mostra o diagrama de blocos da válvula.

A vazão de carregamento não deve variar dentro de uma faixa muito grande pois o erro de leitura dos medidores de fluxo está associado à operação dentro de uma faixa de vazão. Portanto, caso não sejam determinados valores adequados para as bandas de histerese, a precisão da medida será reduzida.



**Figura 3.6: Diagrama de blocos da válvula de controle de fluxo.**

### 3.2.4 Sensor de temperatura

Esse dispositivo consiste em uma termo-resistência, também denominada RTD (do inglês, *Resistance Temperature Detector*). Uma termoresistência é composta por um metal, normalmente platina, cuja relação entre resistência elétrica e temperatura é conhecida [8]. Se a termoresistência estiver submetida a uma diferença de potencial, para cada medida de corrente obtida, é possível saber o valor da resistência do circuito e, conseqüentemente, da temperatura do meio.

Uma aproximação para a resistência de platina com a temperatura é dada por [8]:

$$R = R_o(1 + 39,08 \times 10^{-4} t - 5,8 \times 10^{-7} t^2) \Omega, \text{ onde } t \text{ é a temperatura em } ^\circ\text{C e}$$

$R_o$  é a resistência de platina a  $0^\circ\text{C}$ . Assim, supondo que a resistência do RTD a  $0^\circ\text{C}$  seja de  $100\Omega$ , então a  $150^\circ\text{C}$  tem-se:

$$R = 100(1 + 39,08 \times 10^{-4} \times 150 - 5,8 \times 10^{-7} \times 150^2) \Omega$$

$$R = 157,32 \Omega$$

### 3.2.5 Sensor de aterramento

O sensor de aterramento é um dispositivo que identifica se o caminhão está com o cabo terra conectado, o que representa uma condição obrigatória para a operação de carregamento.

O sensor de aterramento verifica um parâmetro característico do veículo, sua capacitância, tratando-se, portanto, de um sensor capacitivo. Se essa capacitância estiver acima de um determinado valor, o dispositivo ativa seu contato de saída permitindo que o carregamento seja continuado.

Um sensor de aterramento capacitivo aumenta a segurança do sistema, pois se o motorista conectar, por exemplo, o cabo terra em qualquer estrutura metálica, não será verificada a capacitância necessária para ativar o sensor e a operação não prosseguirá. A figura 3.7 mostra um exemplo de sensor de aterramento da marca Sisterra.

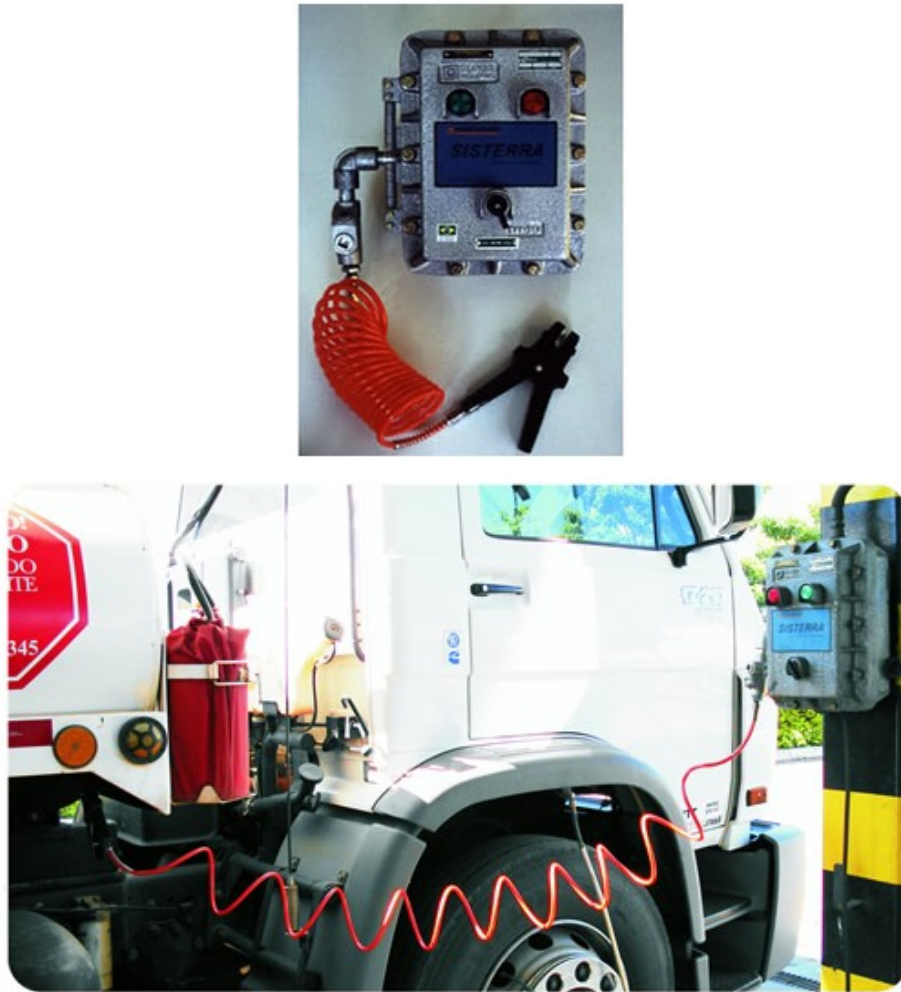


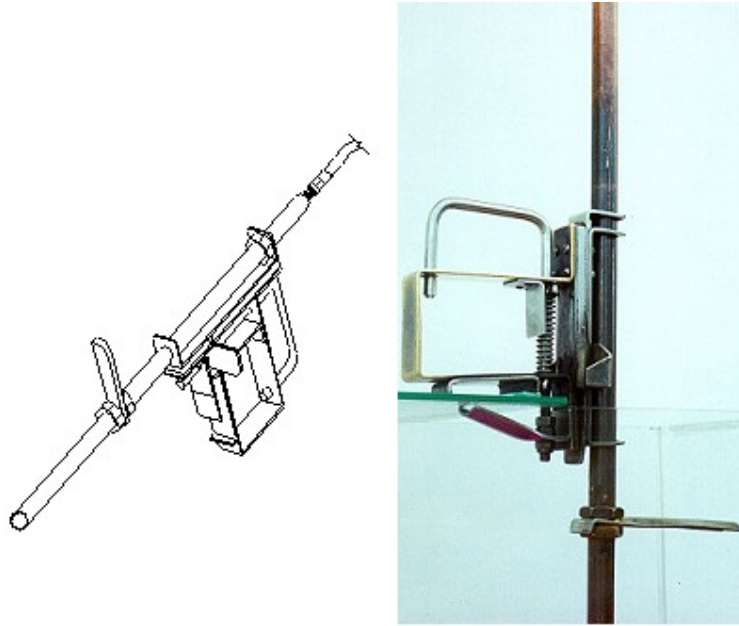
Figura 3.7: Sensor de aterramento [9].

### 3.2.6 Redutor de derrame

Trata-se de um dispositivo que deve ser conectado ao braço de carregamento e cuja função é impedir o transbordamento do produto ao final da operação.

O redutor de derrame consiste em uma mangueira fina conectada a uma ampola e revestida por um tubo metálico. Quando o nível está próximo do limite para transbordamento, o produto empurra o ar de dentro da mangueira que por sua vez desloca a

ampola, fechando um contato elétrico que interrompe o carregamento. A figura 3.8 mostra um redutor de derrame.



**Figura 3.8: Redutor de derrame.**

### **3.2.7 Braço de carregamento**

O braço de carregamento possui um dispositivo que identifica sua posição, ou seja, informa se o braço está abaixado ou levantado. Esse dispositivo consiste em uma mangueira conectada a uma ampola de mercúrio. Quando o braço é abaixado para ser posicionado dentro do compartimento do caminhão, ocorre um deslocamento de ar pela mangueira que desloca a ampola de mercúrio e fecha um contato elétrico.

### **3.2.8 Dead-man**

O dead-man é um pedal que pode ser instalado na baia de carregamento. Durante o carregamento, o motorista deve ficar pisando neste pedal, o que garante que o carregamento (e conseqüentemente seu volume) está sendo acompanhado e alguma ação pode ser tomada caso ocorra algum problema. Se o motorista retirar o pé do dead-man, o carregamento será interrompido.

### 3.3 Funcionamento do sistema de carregamento de combustíveis

O sistema estudado envolve o carregamento do tipo bottom-loading de gasolina C sem aditivação. A mistura entre gasolina A e álcool anidro ocorre apenas na plataforma de carregamento, portanto, os componentes são armazenados separadamente, havendo tanques e tubulações independentes para cada um deles. Há duas formas de realizar a mistura de produtos, que são a mistura seqüencial e a mistura em linha.

Na mistura seqüencial é carregado um produto por vez, por exemplo para um carregamento de 10.000 litros de gasolina C, seriam carregados inicialmente 7.500 litros de gasolina A e posteriormente os 2.500 litros de álcool anidro. Dessa forma, é necessário haver apenas um medidor de fluxo para a medição dos dois produtos. A mistura seqüencial pode ser com válvula de controle automático ou com válvula de controle manual. No primeiro caso, finalizado o carregamento de um produto, inicia-se automaticamente o carregamento do próximo. No segundo caso, é preciso que o operador dê um comando para que o próximo produto da mistura seja carregado.

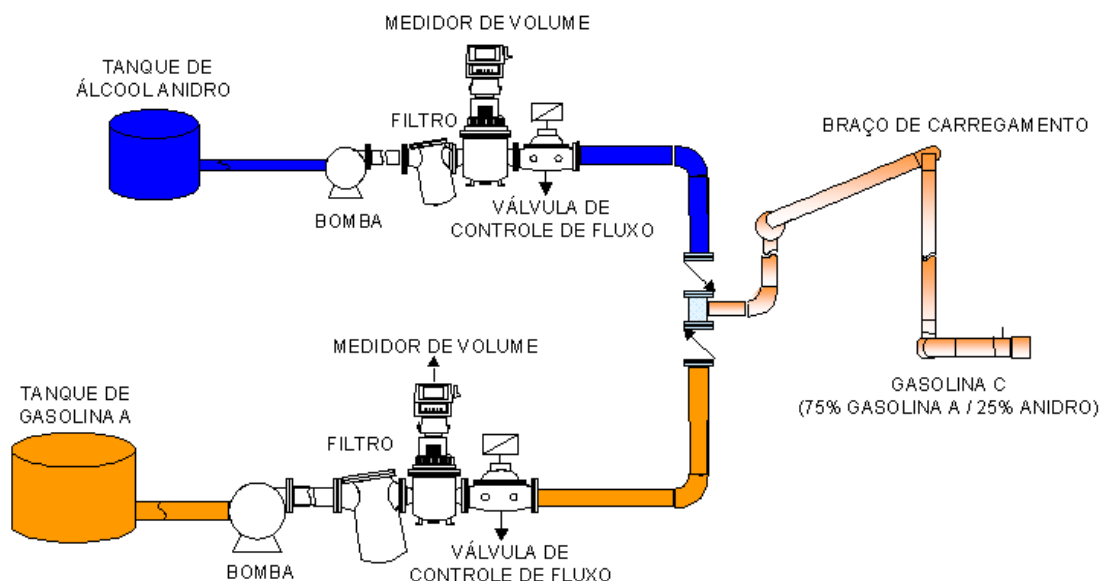
Na mistura em linha, conforme mostrado na figura 3.9, todos os produtos da mistura são carregados simultaneamente, portanto, cada produto é medido por medidores independentes e controlado por válvulas independentes. A mistura em linha pode ser proporcional ou não-proporcional. Na mistura proporcional, a razão de volume dos produtos é mantida constante durante todo o carregamento. No caso do carregamento de gasolina C, a relação é de 1:3 (álcool/gasolina) durante toda a operação. Para a mistura não-proporcional, essa razão varia durante o carregamento, por exemplo, no início da operação carrega-se somente gasolina A, depois são carregados gasolina A e álcool anidro e, no fim, é carregado somente gasolina A.

Todos os medidores de produto possuem uma faixa de operação de vazão de acordo com o seu tamanho, de forma que quanto maior for o tamanho do medidor, mais altas serão suas vazões máxima e mínima. É importante que os medidores operem dentro de sua faixa de vazão para assegurar erros mínimos de medição.

Assim, quando os medidores existentes em um sistema de carregamento são de grande capacidade, recomenda-se que a mistura de gasolina A e álcool anidro não seja do tipo proporcional, pois a vazão necessária para que o álcool anidro seja carregado na proporção de 1:3 é baixa e por isso está fora da faixa de operação do medidor, aumentando o erro de medição.

A mistura considerada neste trabalho foi do tipo em linha não-proporcional, sendo a gasolina A o componente primário da mistura, por possuir maior octanagem (propriedade do

combustível que representa sua capacidade de resistir à compressão sem entrar em auto-ignição). A razão de volume dos produtos é de 75% de gasolina e 25% de álcool anidro, portanto a gasolina é um componente de alta proporção e o álcool de baixa proporção.



**Figura 3.9: Mistura em linha.**

O volume a ser carregado é limitado por um valor máximo e um valor mínimo configurados. Portanto, a cada operação de carregamento, é feita uma comparação entre o volume de produto ingressado para carregar e os limites máximo e mínimo definidos. Caso o volume ingressado não esteja dentro desses limites, a operação não se inicia.

O valor mínimo é limitado de acordo com o menor volume que pode ser operado pelos equipamentos envolvidos no sistema. O valor máximo é estabelecido de forma a dificultar a ocorrência de derramamento de produto, por isso esse parâmetro normalmente é configurado com base no volume do maior compartimento de um caminhão.

Ao ser dado o comando para início do carregamento pressionando-se o botão “start”, a bomba de gasolina A é ligada para retirar o produto do tanque e conduzi-lo para a plataforma através de uma tubulação. A válvula de controle de fluxo é aberta após um tempo do acionamento da bomba, com o objetivo de aumentar a pressão de operação do sistema. Pelo mesmo motivo, no final da operação, a válvula é fechada antes de a bomba ser desligada. Esse atraso de tempo ocorre tanto para a gasolina A quanto para o álcool anidro.

Após a partida da bomba, inicia-se o carregamento do produto primário, no caso a gasolina A. Como nesse momento o compartimento do caminhão está vazio, a válvula de gasolina deve operar a vazão baixa, para evitar que o atrito do jato de combustível no compartimento cause, por eletricidade estática, o surgimento de centelhas e de uma possível explosão. Nesse momento, o fluxo de álcool anidro é nulo, logo a bomba deste produto está desligada e sua válvula fechada.

A vazão de gasolina será aumentada apenas quando for carregado um volume configurado deste produto que garanta o preenchimento do fundo do auto-tanque. Por ser o anidro um componente de proporção baixa, seu carregamento se iniciará apenas quando o produto primário estiver sendo carregado a alta vazão, sendo sua válvula de fluxo configurada para operar a vazão baixa durante todo o processo.

O monitoramento da temperatura do produto é um parâmetro importante no sistema, uma vez que o volume ocupado por um líquido varia em função da temperatura. Por isso, ao longo de cada tubulação há um dispositivo para tomada de temperatura e este parâmetro é medido a cada volume pré-determinado de produto carregado.

A válvula de gasolina volta a operar a baixa vazão quando estiver faltando uma quantidade determinada para o fim do carregamento. Essa medida serve para dificultar o transbordamento de produto, ou então reduzir o volume de líquido transbordado caso ocorra um derrame.

Quando todo o volume de álcool anidro for carregado, sua válvula de controle será fechada e, após um certo tempo, sua bomba será desenergizada. Finalizado o carregamento de gasolina A, a válvula de controle de fluxo desse produto será fechada e sua bomba desenergizada, havendo também um atraso entre essas duas ações.

Se em qualquer instante da operação for dado um comando para parada do processo (pressionamento do botão “stop”), o fluxo deve ser bloqueado completamente. Essa medida, no entanto, provoca um golpe de aríete, impacto gerado quando ocorrem mudanças bruscas na velocidade dos fluidos. Esse impacto é transmitido ao longo das tubulações e aumentam a pressão do sistema, podendo ocasionar problemas mais graves. A solução para esse problema seria baixar a vazão de carregamento antes de interromper o fluxo, entretanto entende-se que, se foi pressionada o botão “stop”, deseja-se parar o carregamento instantaneamente, às vezes até por motivos de emergência.

### 3.4 Alarmes

É possível associar ao sistema parâmetros que representam alarmes os quais, quando acionados, evidenciam a ocorrência de condições adversas na operação. Existem quatros tipos de alarmes e para cada tipo é definida a ação a ser tomada em caso de acionamento do alarme:

- Alarme primário – ao ser acionado, esse tipo de alarme encerra a operação, caso esteja ocorrendo algum carregamento.
- Alarme secundário – ao ser acionado, o carregamento é interrompido, no entanto é reiniciado se a causa que ativou o alarme é eliminada dentro de um período de tempo pré-estabelecido.
- Alarme informativo – uma mensagem de advertência do problema é mostrada no painel do computador industrial que controla o processo.
- Alarme desativado – o monitoramento do parâmetro está desativado, portanto se algum problema ocorrer, nenhuma ação será tomada.

Abaixo são descritos os alarmes associados à operação de carregamento e o tipo que representam.

- Alarme de ausência de fluxo – esse alarme é ativado quando, decorrido um determinado período do carregamento, não é gerado nenhum pulso pelo transmissor de pulsos do medidor, ou seja, não há fluxo de produto. Esse alarme é do tipo primário.
- Quantidade de fluxo não autorizada – representa a quantidade de produto que passa pelo medidor (quando não há uma operação de carregamento) e que é gravada como valor não autorizado por um contador interno. Se esse volume ultrapassar um valor definido, é acionado um alarme informativo. Esse parâmetro é utilizado para identificar situações de roubo e o valor do contador é zerado sempre que um carregamento é iniciado.
- Alarme de vazão baixa – esse alarme é ativado quando a vazão está abaixo do valor mínimo configurado durante um período de tempo maior do que o permitido. Trata-se de um alarme primário.
- Alarme de vazão alta – um alarme primário será acionado se a vazão estiver superior à vazão máxima durante um período maior do que o permitido.

- Alarme de falha de temperatura – esse alarme é do tipo primário e será acionado caso a temperatura de um dos produtos envolvidos no carregamento não esteja dentro dos limites inferiores e superiores definidos. Os equipamentos presentes no sistema de carregamento (medidor, válvula) possuem uma faixa de temperatura para operação, portanto além de controlar o volume do líquido carregado considerando-se os efeitos de variação de temperatura, o monitoramento deste parâmetro permite verificar se a temperatura está dentro dos limites de operação dos equipamentos.

### **3.5 Circuitos de segurança**

Os alarmes permitem identificar situações de erro no sistema de carregamento e evitar problemas maiores, no entanto, há condições que estão fortemente relacionadas à segurança da operação e por isso devem ser analisadas separadamente. Isso é feito pela associação dessas condições a circuitos de segurança, os quais são também denominados permissivos.

São seis os circuitos de segurança, sendo que cada um possui um parâmetro de alarme, com uma ação associada. Os circuitos de segurança estão fechados para condições seguras e abertos em caso contrário.

O primeiro circuito de segurança está associado ao sensor de aterramento que gera um alarme do tipo secundário. Portanto, caso o motorista não aterre o auto-tanque, o carregamento não tem início, e se o cabo terra for desconectado durante o carregamento, este deve ser interrompido imediatamente. Entretanto, por se tratar de um alarme secundário, a operação é continuada se a condição que gerou o alarme for alterada, ou seja, se o cabo for conectado.

O segundo circuito de segurança está associado ao redutor de derrame, que gera um alarme primário, encerrando a operação caso seja acionado.

O terceiro circuito de segurança está relacionado a falhas na alimentação dos permissivos (ou circuitos de segurança), que são os contatos de entrada relacionados a segurança da operação. Quando a alimentação de algum dos permissivos é perdida, é acionado um alarme primário.

O circuito quatro está associado à posição do braço de carregamento, ou seja, se o mesmo está abaixado ou levantado e se trata de um alarme secundário.

Através do circuito quatro é possível prever e evitar situações de descuido do motorista, como inserir no caminhão um braço de carregamento de um produto diferente

daquele que se deseja carregar. Nesse caso, antes de iniciar o carregamento, seria verificado que o braço de carregamento do produto desejado está na posição abaixada e a operação não seria iniciada.

Além disso, em situações de alta pressão o braço de carregamento pode levantar, podendo derramar produto. Nesse caso, se o braço levantar durante o carregamento, a operação deve ser interrompida.

O circuito cinco é referente ao “dead-man” que gera um alarme secundário se o motorista retirar o pé do dead-man, interrompendo o carregamento.

O circuito seis refere-se à botoeira de emergência (shut-down) que desliga a alimentação de todos os circuitos associados à operação. Caso essa botoeira seja acionada, o carregamento será interrompido e encerrado, portanto, trata-se de um alarme primário.

### **3.6 Comentários finais**

Neste capítulo, foi apresentado o sistema de carregamento de combustíveis: os equipamentos utilizados, o funcionamento do sistema e os parâmetros que influenciam a operação.

No capítulo 4 é apresentado o Diagrama Funcional Seqüencial do sistema de carregamento descrito neste capítulo.

# Capítulo 4

## Modelagem do Sistema de Carregamento

Neste capítulo, o sistema de carregamento descrito no capítulo 3 é modelado utilizando-se o Diagrama Funcional Seqüencial. Com o objetivo de facilitar o entendimento do SFC, a modelagem foi dividida em seqüências, onde cada uma delas representa um processo do sistema. Entretanto, essas seqüências estão relacionadas e, por isso, o funcionamento ou a interrupção de uma interfere diretamente nas demais.

Este capítulo está estruturado da seguinte forma: na seção 4.1 é descrita a seqüência de carregamento; na seção 4.2 é apresentada a seqüência de verificação dos circuitos de segurança; nas seções 4.3 e 4.4 são descritas as seqüências de verificação de vazão mínima de gasolina e de álcool anidro, respectivamente; na seção 4.5 é descrita a seqüência de verificação de vazão máxima de gasolina; nas seções 4.6 e 4.7 são apresentadas as seqüências de medição de temperatura de gasolina e de álcool anidro, respectivamente; nas seções 4.8 e 4.9 são descritas as seqüências de verificação de intervalo entre pulsos dos medidores de gasolina e álcool anidro, respectivamente. Na seção 4.10 é apresentado o modelo do sistema e, finalmente, na seção 4.11 são feitos os comentários finais do capítulo.

### 4.1 Seqüência de carregamento

Nesta seção é descrita a seqüência normal de operação, na qual são previstas todas as condições de erro que podem ocorrer nas seqüências paralelas que serão apresentadas nas seções seguintes.

A etapa inicial dessa sequência (etapa 1 da página 55) representa uma situação de espera para o ingresso do volume de carregamento desejado,  $v_i$ . Nessa etapa, as bombas de ambos os produtos estão desligadas e as válvulas de controle de fluxo fechadas. Além disso, são habilitados os contadores de pulsos de gasolina e álcool anidro,  $cpg$  e  $cpa$ , respectivamente.

Mesmo com as bombas desligadas, é possível que exista um fluxo de produto tanto na tubulação de gasolina quanto na tubulação de álcool anidro. Esse fluxo pode ocorrer se as válvulas do sistema estiverem com sua vedação comprometida ou se houver uma tentativa de roubo de produto. Nesse caso, se a quantidade de líquido passante superar um determinado valor, deverá ser acionado o alarme de quantidade de fluxo não autorizada, que possui prioridade em relação às duas demais transições habilitadas com a ativação da etapa 1. Nesse trabalho, o acionamento desse alarme deve ocorrer para um volume maior do que 50 litros de produto. Como cada pulso dos contadores de pulsos correspondem a 50 litros, se um dos contadores de pulsos atingir o valor um, a etapa 2 da página 55 será ativada e deverá ser exibida uma mensagem informando que há um fluxo ativo.

Se  $cpg$  e  $cpa$  forem menores do que 1 e o botão “start” for pressionado, a transposição de etapas ocorrerá dependendo do valor que foi ingressado para carregamento ( $v_i$ ), sendo que este volume deve estar dentro de uma faixa determinada.

Nesse trabalho foi considerado para  $v_i$  o intervalo  $1.000 \leq v_i \leq 7.000$ , portanto se  $v_i < 1.000$  ou  $v_i > 7.000$ , a operação não deverá ser iniciada pois o volume digitado está fora dos limites permitidos para carregamento. Assim, a etapa 3 será ativada e deverá ser exibida uma mensagem informativa.

Se o volume ingressado estiver dentro dos limites permitidos, ocorrerá a transposição entre as etapas 1 e 4. Na etapa 4, deve ser dado “reset” nos contadores de pulso

para que os mesmos possam ler o valor que será carregado durante a operação. A ativação da etapa 4 é seguida pela transposição para a etapa 5, já que a transição entre elas é incondicional (=1).

Antes de ligar a bomba de gasolina e abrir a válvula desse produto, é preciso que ocorra uma verificação inicial de todos os permissivos. Para isso, foi definida a variável  $\nu^f$ , que é feita igual a 1 na etapa 5, de forma a atender a condição para a transposição entre as etapas 27 e 28 na página 58 e a permitir o início da verificação dos sensores, cuja sequência será descrita na seção 4.2.

Se durante a verificação dos sensores for pressionado o botão “stop”, a etapa 6 será ativada, indicando que o carregamento foi paralisado. A ativação da etapa 6 habilita as três transições imediatamente seguintes. Como o shut-down tem prioridade em relação às demais condições, se este for acionado ( $s_{SD} = 1$ ), a operação deverá ser encerrada e a etapa 11 será ativada, desabilitando os contadores  $cpg$  e  $cpa$  e os contadores de pulsos associados à temperatura,  $cptemp_g$  e  $cptempa$  (descritos na seção 4.6 e 4.7, respectivamente). Além disso, é exibida uma mensagem informando o erro ocorrido e a variável  $vencerra$  é feita igual a 1. Essa variável vale 1 quando um alarme primário é ativado em qualquer uma das seqüências paralelas, devendo portanto interromper todas essas seqüências, e também a seqüência principal de carregamento.

Com a etapa 6 ativa, se a botoeira de shut-down não for acionada e for perdida a alimentação de permissivos ( $sap = 0$ ), a operação também deverá ser encerrada, o que ocorre com a ativação da etapa 10 que é semelhante a etapa 11 diferindo apenas na mensagem a ser exibida. Caso nenhum desses alarmes seja acionado e o “start” seja pressionado, a verificação de sensores deverá ser reiniciada e a etapa 5 ativada.

Quando todos os permissivos forem verificados com sucesso, a etapa 45 da página 59 será ativada e a variável  $vf$  será feita igual a zero. Essa condição possibilita que a transição entre as etapas 5 e 7 seja transposta (se o “stop” não for pressionado).

A ativação da etapa 7 liga a bomba de gasolina A, abre a válvula desse produto na vazão baixa, que foi definida neste trabalho com o valor de 480 l/min e calcula a vazão real de gasolina ( $vzrg$ ) a cada pulso. Além disso, nessa etapa, as variáveis  $vzming$ ,  $mtemp_g$  e  $vpulso_g$  são feitas iguais a 1 permitindo que as seqüências de medição de temperatura, verificação de vazão mínima de gasolina e verificação de intervalo entre pulsos medidor de gasolina sejam realizadas. Tais seqüências são apresentadas nas seções 4.6, 4.3 e 4.8, respectivamente.

Com a etapa 7 ativa, se algum alarme primário for acionado, a variável  $vencerra$  será feita igual a 1, permitindo a transposição entre as etapas 7 e 8 e encerrando a operação. Portanto, na etapa 8 devem ser desligadas as bombas de gasolina e álcool anidro, as válvulas desses produtos devem ser fechadas e devem ser interrompidos os cálculos das vazões reais de gasolina e álcool anidro,  $vzrg$  e  $vzra$ , respectivamente. Além disso, são feitas zero todas as variáveis associadas às seqüências paralelas, como  $mtemp_g$ ,  $mtemp_a$  e  $vzming$  e desabilitadas as variáveis  $cpg$  e  $cpa$  e os temporizadores  $T1$ ,  $T2$ ,  $T3$ , que também estão definidos nas outras seqüências.

A etapa 8 possui ações que fazem sentido apenas quando o carregamento de álcool anidro se inicia, ou quando a gasolina está sendo carregada à vazão máxima, como a ação desligar bomba de álcool anidro (*BA*), por exemplo. Isso ocorre porque se a variável *Vencerra* valer 1 em uma etapa onde o carregamento de álcool anidro ocorra ou a gasolina seja carregada a vazão máxima, a etapa 8 será ativada.

Além da variável *Vencerra*, é definida a variável *Vpausa*, que é feita igual a 1 quando um alarme secundário é ativado em alguma seqüência paralela. Essa variável não é prioritária em relação à *Vencerra*.

Se a variável *Vpausa* valer 1 enquanto a etapa 7 estiver ativa (e a variável prioritária *Vencerra* for igual a zero), a etapa 12 será ativada e a operação deverá ser interrompida pois algum dos alarmes secundários foi acionado. Com isso, a bomba de gasolina será desligada, a válvula fechada, o cálculo de *vzrg* interrompido, e as variáveis de controle *mtempg*, *vzming* e *vpulso*g serão feitas zero para interromper as seqüências paralelas.

Se, enquanto a etapa 12 estiver ativa, o shut down for acionado ( $s_{SD} = 1$ ), ou for perdida a alimentação de permissivos ( $sap = 0$ ) ou a etapa 38 da página 58 for ativada (o que significa que foi atingido o tempo permitido para solucionar o erro que gerou o alarme), a operação deverá ser encerrada e a etapa 13 será ativada.

Se o problema ocorrido for resolvido, a etapa 27 da página 58 será ativada, tornando possível a transposição entre as etapas 12 e 5 e, portanto, a verificação dos permissivos poderá ser continuada. Com a ativação da etapa 5, a operação de carregamento é reiniciada, fazendo-se primeiro a verificação dos sensores.

Caso a etapa 7 esteja ativada, nenhuma das condições prioritárias aconteça e o “stop” seja pressionado, a etapa 9 será ativada e a operação deverá ser interrompida, podendo ocorrer as mesmas situações já previstas na etapa 6 dessa seqüência.

Nesse trabalho, foi definido que a vazão de gasolina deve subir para vazão alta e o carregamento de álcool anidro deve ser iniciado quando tiverem sido carregados 300 litros de gasolina A, logo *cpg* será igual a seis.

Portanto, se a etapa 7 estiver ativada, nenhuma das condições anteriormente descritas forem verdadeiras e  $cpg \geq 6$ , a vazão de gasolina deve subir para o valor máximo, adotado como 1520 l/min e o carregamento de álcool anidro deve ser iniciado a vazão de 480l/min, o que corresponde a vazão baixa. Assim, deverá ser ativada a etapa 14 da página 56, que inicia duas seqüências simultâneas, uma relacionada ao álcool anidro e a outra relacionada à gasolina.

A ativação da etapa 15 inicia a seqüência relacionada ao carregamento de álcool anidro, portanto essa etapa possui ações que ligam a bomba e abrem a válvula desse produto, calculam a vazão real de anidro,  $v_{zra}$ , e tornam as variáveis de controle  $v_{zmina}$ ,  $mtempa$  e  $vpulsoa$  iguais a 1, permitindo a verificação das seqüências analisadas nas seções 4.4, 4.7 e 4.9, respectivamente.

Se todo o volume de gasolina (etapa 26 da página 57) ou de álcool anidro for carregado (condição  $cpa \geq 0,005$  vi verdadeira, que corresponde ao término da entrega de todo volume de álcool anidro), a etapa 22 será ativada, sendo a bomba de álcool anidro desligada, a válvula desse produto fechada e todas as variáveis associadas feitas zero para interromper as verificações paralelas relacionadas ao álcool anidro. Além disso, o cálculo da vazão real de anidro deverá ser interrompido.

É importante notar que o fim do carregamento de gasolina A (etapa 26 da página 57) interrompe o carregamento de álcool anidro mesmo que esse ainda não tenha terminado. Geralmente, a entrega de álcool anidro terminará antes do que o carregamento de gasolina A porém, caso isso não ocorra, o carregamento de álcool anidro será paralisado e o produto não terá as proporções de 75% de gasolina A e 25% de álcool anidro. Para essa situação, seria iniciada uma operação para carregamento de álcool anidro apenas, de forma a completar o volume faltante. Esse caso não foi tratado neste trabalho.

Nesse momento, a variável  $vencerra$  não é a condição mais prioritária, portanto se  $vencerra$  for igual a 1 e a etapa 26 não estiver ativa, nem a condição  $cpa \geq 0,005$  vi for verdadeira, a etapa 23 será ativada, indicando que a operação foi encerrada.

Com a etapa 15 ativa, se nenhuma das duas transições descritas anteriormente forem transpostas e a variável  $vpausa$  for igual a 1, a etapa 16 será ativada e todas as ações associadas a interrupção do carregamento de gasolina e álcool anidro serão realizadas.

Caso a etapa 16 esteja ativa e o shut-down seja acionado, ou a etapa 38 da página 58 seja ativada ou ainda seja perdida a alimentação de permissivos, a operação deverá ser encerrada e ocorrerá a transposição entre as etapas 16 e 13 (página 55).

Se o carregamento não for encerrado e a etapa 27 da página 58 for ativada, indicando que o alarme secundário não está mais ativo, ocorrerá a transposição entre as etapas 16 e 17 e a variável  $v_f$  será feita 1 para que a verificação dos permissivos seja realizada antes de reiniciar o carregamento. Quando a verificação dos circuitos de segurança for realizada,  $v_f$  será feita zero, tornando possível a ativação da etapa 18 na página 57 e que o carregamento seja reiniciado.

Para reiniciar o carregamento, é preciso saber se a gasolina estava sendo carregada a vazão alta ou se a vazão já havia sido reduzida para vazão baixa antes da operação ser interrompida. Nesse trabalho, foi considerado que a vazão de gasolina deve ser reduzida quando restarem 300 litros de gasolina a serem carregados. Portanto, foi definida a variável  $vc$ , que é feita 1 quando restam os 300 litros de gasolina para serem carregados. Logo, se a etapa 18 estiver ativa e  $vc = 0$ , a vazão de gasolina era alta quando o carregamento foi interrompido e portanto a etapa 24 deverá ser ativada, abrindo a válvula a vazão alta. Se  $vc = 1$ , a vazão de gasolina já havia sido reduzida para 480 l/min quando o carregamento foi interrompido e a etapa 25 da página 57 será ativada.

Com a etapa 15 ativa, a transição menos prioritária será a relacionada ao pressionamento do “stop”, que ativa a etapa 21 e interrompe a seqüência de carregamento e de todas as seqüências paralelas. Se o “start” for pressionado (não tendo sido satisfeitas as condições prioritárias), ocorrerá a transposição entre as etapas 21 e 17 que verifica os permissivos antes de o carregamento ser reiniciado.

A ativação da etapa 24 dá início ao carregamento de gasolina A a vazão alta e habilita quatro transições. As transições relacionadas ao encerramento da operação ( $vencerra = 1$ ), acionamento de um alarme secundário ( $vpausa = 1$ ) ou pressionamento do botão “stop” ativarão as etapas já descritas 8, 16 e 21, respectivamente.

Os trezentos últimos litros de gasolina A devem ser carregados a vazão baixa, para reduzir os danos no caso de um possível vazamento. Portanto, se  $cpg \geq 0,015 v_i - 300$  (onde  $0,0015v_i$  representa os 75% de gasolina A convertidos em pulsos) e nenhuma das condições prioritárias for satisfeita, a etapa 25 da página 57 será ativada, iniciando o carregamento de gasolina a vazão baixa.

A ativação da etapa 25 faz  $vc = 1$ , permitindo que caso o carregamento seja interrompido e posteriormente continuado, seja feita a transposição entre as etapas 18 e 25.

Nesse momento, as transições relacionadas ao encerramento da operação ( $vencerra = 1$ ), acionamento de um alarme secundário ( $vpausa = 1$ ) ou pressionamento do botão “stop” ativarão as etapas 8, 16 ou 21, respectivamente.

Porém, se todo o volume de gasolina A ingressado for carregado ( $cpg \geq 0,015 v_i$ ), a transição prioritária será transposta, a etapa 26 será ativada e todas as ações necessárias para finalizar o carregamento serão executadas.

## 4.2 Verificação dos circuitos de segurança

Os permissivos são verificados desde o instante em que é iniciado o carregamento, com o acionamento do botão “start” até o fim da operação, quando todo volume especificado tiver sido carregado.

A seqüência começa na etapa 27 da página 58, que por ser uma etapa inicial, é ativada no início da operação. Quando o botão “start” é pressionado para iniciar o carregamento, a variável  $v_f$  é feita igual a 1 na etapa 5 da página 55, o que satisfaz a condição necessária para transposição entre as etapas 27 e 28, dando início à verificação dos sensores.

A etapa 28 representa a verificação da alimentação dos permissivos ( $sap$ ) e sua ativação habilita cinco transições. Por se tratar de uma seqüência seletiva, apenas uma das transições será transposta e as condições associadas às transições devem ser exclusivas.

Para tornar as condições exclusivas, foi definida uma prioridade na ocorrência das mesmas. Neste caso, a ativação da etapa 26 na página 57, que ocorre quando todo o volume de gasolina foi carregado, tem prioridade sobre as demais condições, o que significa que todas as outras só poderão ser verdadeiras se a etapa 26 não estiver ativa. Se a etapa 26 for ativada, ocorrerá a transposição entre as etapas 28 e 27 e a verificação dos permissivos será interrompida já que o carregamento foi finalizado.

Caso a etapa 26 não esteja ativa e *Vencerra* (associada ao acionamento de um alarme primário) seja feita igual a 1, a etapa 28 será transposta para a etapa 31 que representa um estado de operação encerrada.

Com a etapa 28 ativa, se nenhuma dessas condições for verdadeira e ocorrer uma falha na alimentação de permissivos, ocorrerá a ativação da etapa 29, que torna verdadeira a variável *Vencerra*, a qual interrompe todas as seqüências. Além disso, será exibida uma mensagem informando que ocorreu uma falha na alimentação de algum permissivo.

Caso o botão “stop” seja acionado e nenhuma das condições anteriormente descritas seja verdadeira, será feita a transposição para a etapa 30, que representa que a operação está parada. A seqüência de verificação dos circuitos de segurança só deve ser continuada quando for apertado o botão “start”. No entanto, enquanto esse botão não for pressionado e a etapa 30 estiver ativa, é possível que o sensor de shut down seja acionado ( $s_{SD} = 1$ ) ou ocorra uma falha na alimentação dos permissivos ( $sap = 0$ ).

Como o shut-down possui prioridade, ocorrendo o acionamento desse sensor, é feita a transposição entre as etapas 30 e 11 da página 55, que encerra a operação de carregamento e exibe uma mensagem informando o erro ocorrido.

Se o shut-down não for acionado e houver uma falha na alimentação dos permissivos, a etapa 10 da página 55 será ativada, encerrando o carregamento e exibindo uma mensagem informando o problema.

Caso nenhuma dessas condições ocorra e seja pressionado o botão “start”, ocorrerá a ativação da etapa 27 para que seja iniciada a verificação dos permissivos antes de reiniciar o carregamento de combustível.

É importante notar que enquanto a operação estiver parada, o redutor de derrame ( $s_{RD}$ ) nunca será acionado pois o produto não está sendo carregado.

Para facilitar a compreensão, é considerado um exemplo em que a etapa 30 e a etapa 9 da página 55 estão ativas. Nesse caso, quando o “start” for pressionado, serão ativadas as etapas 27 e 5. Como a ação associada à etapa 5 faz  $vf = 1$  a condição entre as etapas 27 e 28 passa a ser verdadeira, permitindo a transposição entre essas etapas. Além disso, não é possível ativar a etapa 7 já que  $vf = 1$ , portanto essa etapa será ativada somente quando for realizada toda a verificação dos permissivos e  $vf = 0$ , o que é feito na etapa 45.

Das cinco transições habilitadas com a ativação da etapa 28, a transição que faz a transposição para a etapa 32 é a menos prioritária, portanto somente irá ocorrer se nenhuma das demais for verdadeira. Com a ativação da etapa 32, é feita a verificação do shut-down e são habilitadas cinco transições, que devem ser exclusivas e que possuem uma ordem de prioridade, conforme ocorrido na verificação de alimentação dos permissivos.

Se o shut-down estiver acionado, a etapa 33 será ativada, fazendo a variável *Vencerra* valer 1 e exibindo uma mensagem descrevendo o problema ocorrido.

Se a etapa 32 estiver ativa, as condições das transições anteriores não forem verdadeiras e o “stop” for pressionado, a etapa 30 será ativada, indicando que a operação está parada e aguardando o pressionamento do “start”, conforme visto na verificação de alimentação de permissivos.

Se o shut-down não estiver acionado e as demais condições não forem satisfeitas, ocorrerá a ativação da etapa 34, iniciando a verificação do redutor de derrame ( $s_{RD}$ ), seguindo a mesma lógica da verificação da alimentação de permissivos e da verificação de shut-down.

Uma vez ocorrida a verificação do redutor de derrame, é ativada a etapa 36 que inicia a verificação de aterramento (sat), que também representa uma sequência seletiva.

Caso o aterramento esteja desconectado, a etapa 37 será ativada e a variável *Vpausa* será feita igual a 1. Essa variável está associada à ocorrência de um alarme

secundário portanto, diferente da variável *Vencerra*, a variável *Vpausa* apenas interrompe o carregamento e inicia a contagem do tempo permitido para eliminar a causa do acionamento do alarme, que foi considerado neste trabalho como 300 segundos.

Entretanto, enquanto não atingidos os trezentos segundos, é possível que a botoeira de shut-down seja acionada ou que seja perdida a alimentação dos permissivos. Assim, a ocorrência dessas condições está prevista na ativação das etapas 39 e 40, respeitando-se a prioridade entre elas.

Se esses alarmes não forem acionados e o aterramento não for conectado antes do tempo permitido, a etapa 38 será ativada, a operação encerrada, os contadores de pulsos de gasolina (cpg) e anidro (cpa) e os contadores de pulsos para medição de temperatura (*cptemp<sub>g</sub>* e *cptemp<sub>a</sub>*) serão desabilitados.

Caso o aterramento seja conectado antes de atingidos os trezentos segundos e não ocorrendo o acionamento dos alarmes de shut-down ou alimentação de permissivos, a operação deverá ser continuada, portanto a etapa 27 será ativada para iniciar a seqüência de verificação dos permissivos.

Se a etapa 36 estiver ativa, a operação não tiver finalizado, o aterramento estiver conectado, o “stop” não estiver pressionado e os alarmes de shut-down e alimentação de permissivos não forem acionados, ocorrerá a transposição para a etapa 41 que verifica o sensor dead-man (sdm).

A verificação do dead-man é feita da mesma forma que a do aterramento, e se todas as condições associadas à transição que transpõe as etapas 41 e 43 forem verdadeiras, será ativada a etapa 43, que verifica a posição do braço de carregamento (sbr).

A verificação do braço de carregamento também segue a lógica do aterramento e do dead-man e, uma vez satisfeitas as condições que permitem a continuação do carregamento, será ativada a etapa 45 cuja ação associada faz a variável *vf* valer zero, habilitando a transição que transpõe a etapa 5 à etapa 7, na página 55, e permitindo o início do carregamento

Como se pode observar, a verificação dos permissivos é feita de forma seqüencial, ou seja, não ocorre uma verificação de todos os circuitos de segurança ao mesmo tempo. Portanto, é possível que enquanto esteja sendo verificado se o aterramento está conectado, o redutor de derrame seja acionado, por exemplo.

Entretanto, essa situação não representa um perigo à operação, pois mesmo sendo seqüencial, a verificação de todos os circuitos ocorre em um ciclo de operação do computador industrial, o que representa um tempo na ordem de milisegundos.

### 4.3 Verificação de vazão mínima de gasolina

Essa seqüência permite verificar se a vazão real de gasolina A ( $vZrg$ ) permanece por um tempo, definido neste trabalho, de dez segundos abaixo do limite inferior permitido, que é de 300 l/min. A etapa inicial dessa seqüência é a etapa 46 da página 60, que representa uma situação de espera pelo início da verificação.

A verificação de vazão mínima de gasolina começa quando a válvula de gasolina A é aberta à vazão baixa no início do carregamento, o que ocorre na etapa 7 da página 55. Por isso, X7 é a condição para a transposição entre as etapas 46 e 47.

A ativação da etapa 47 habilita quatro transições exclusivas entre si caracterizando, portanto, uma seqüência seletiva e com as mesmas prioridades vistas na seção 4.2.

Se o carregamento terminar, o que torna ativa a etapa 26 da página 57, a seqüência de verificação de vazão mínima de gasolina deverá ser interrompida, sendo a etapa inicial 46 ativada.

Caso a etapa 26 não esteja ativa e a variável *Vencerra* seja igual a 1, a etapa 31 da página 58 será ativada indicando que a operação foi encerrada.

Quando o carregamento é interrompido, seja pelo acionamento de um alarme secundário, seja pelo pressionamento do botão “stop”, a variável  $vZming$  é feita igual a zero. Essa variável interrompe a seqüência de verificação de vazão mínima de gasolina.

Assim, se a etapa 47 estiver ativa, a etapa 26 não estiver ativa e as variáveis *Vencerra* e  $vZming$  forem iguais a zero, a etapa 48 será ativada, indicando que a operação está parada.

Enquanto a operação estiver parada, é possível que o shut down seja acionado, ou que ocorra falha na alimentação de permissivos, ou ainda que os trezentos segundos permitidos para corrigir o problema que acionou um alarme secundário tenham sido atingidos. Em qualquer um desses casos, a operação é encerrada e a variável *Vencerra* será feita igual a 1, tornando verdadeira a condição necessária para ativar a etapa 49.

Caso a variável *Vencerra* não seja igual a 1 e seja pressionado o “start” ou seja corrigida a condição que acionou o alarme secundário, a variável  $vZming$  será feita igual a 1 e o carregamento será continuado, assim como a verificação de vazão mínima de gasolina (ativando-se a etapa 47).

Com a etapa 47 ativa, se a vazão real de gasolina for menor do que o limite definido neste trabalho de 300 l/min, a variável *Vencerra* valer zero, a etapa 26 não estiver ativada e  $vZming$  for igual a 1, será ativada a etapa 50, cuja ação associada é a habilitação de um temporizador *TI*.

Com a etapa 50 ativa, se em algum momento a vazão de gasolina for maior do que o mínimo permitido e o temporizador não tenha atingido o valor de dez segundos (limite adotado neste trabalho para que a vazão permaneça abaixo do valor mínimo), ocorrerá a transposição entre as etapas 50 e 47, reiniciando a verificação da vazão e desabilitando o temporizador  $T1$ .

Caso sejam atingidos os dez segundos e a vazão não tenha superado o valor mínimo, a operação deverá ser encerrada, portanto será ativada a etapa 51 cuja ação faz  $Vencerra$  igual a 1 e exibe uma mensagem informando o erro ocorrido.

#### 4.4 Verificação da vazão mínima de álcool anidro

Essa verificação é similar a da seção 4.3, no entanto ela só é iniciada quando o carregamento de álcool anidro começa, isto é, quando a etapa 15 da página 56 é ativada. As prioridades definidas na verificação da seção 4.3 também são aplicadas nessa verificação, devendo ressaltar que nesse caso, assim como a etapa 26, a etapa 22 (página 56) também deverá finalizar a seqüência de verificação, pois ela está relacionada ao término do carregamento de álcool anidro.

Assim como a variável  $vZ_{ming}$  definida na seção 4.3, a variável  $vZ_{minA}$  será feita igual a zero quando o carregamento for interrompido por acionamento de um alarme secundário ou pressionamento do “stop” e valerá 1 quando a operação de carregamento não estiver parada.

O temporizador  $T2$  é definido para contar o tempo em que a vazão de álcool anidro permanece abaixo de seu valor mínimo de 300 l/min.

#### 4.5 Verificação de vazão máxima de gasolina

Essa seqüência é responsável por verificar se a vazão de gasolina A ultrapassa o limite máximo permitido e definido neste trabalho como 2250 l/min durante um tempo maior do que o permitido e definido como cinco segundos.

A verificação tem início com a transposição entre as etapas 57 e 58 (da página 62), o que ocorre quando a gasolina começa a ser carregada a vazão alta, e portanto quando a etapa 24 da página 56 está ativa.

A seqüência de verificação de vazão máxima de gasolina também segue a mesma lógica da verificação de vazão mínima de gasolina e da verificação de vazão mínima de álcool anidro porém, como o limite de tempo permitido para a vazão permanecer acima do valor máximo é de cinco segundos, a operação será encerrada caso o temporizador  $T3$  atinja valor igual a cinco e a vazão não tenha ficado abaixo da máxima permitida.

Nesta seqüência também é definida uma variável ( $vZ_{maxg}$ ) que valerá zero quando o carregamento for interrompido por acionamento de alarme secundário ou pressionamento do botão “stop”.

## 4.6 Medição de temperatura de gasolina

A seqüência de medição de temperatura de gasolina é iniciada no começo da operação com a ativação da etapa inicial 62 da página 63, e possibilita que a temperatura de gasolina A seja medida a cada volume determinado de gasolina A carregado, adotado como 50 litros, sendo definido para isso o contador de pulsos para temperatura de gasolina  $cptemp_g$  que está associado ao contador de pulsos de gasolina,  $cpg$ .

Se o carregamento for interrompido em qualquer uma das seqüências, a variável  $mtemp_g$  será feita zero e deverá interromper o desenvolvimento da seqüência de medição de temperatura de gasolina.

Se o carregamento não for finalizado (etapa 26 da página 57 desativada), nem encerrado (variável  $vencerra$  igual a zero) e a variável  $mtemp_g$  for igual a zero, será ativada a etapa 63, que possui a ação de dar um “reset” em  $cptemp_g$ . Se a operação for encerrada,  $vencerra$  valerá 1 e a etapa 64 será ativada. A condição  $vencerra$  igual a zero e  $cptemp_g$  igual a 1 significa que a condição que mantinha a operação parada não é mais verdadeira e portanto a mesma deve ser continuada. Portanto, a medição de temperatura da gasolina deve prosseguir, logo a etapa 63 é desativada e a etapa 62 ativada.

Caso as condições acima não sejam satisfeitas, a etapa 62 permanecerá ativada até serem carregados 50 litros de gasolina, portanto até  $cptemp_g$  ser igual a 1 (1 pulso de  $cpg$  corresponde a 50 litros), quando ocorrerá a ativação da etapa 65, cuja ação associada é de medir a temperatura de gasolina.

Se a temperatura lida não estiver no intervalo definido como  $0^{\circ}\text{C} < temp_g < 50^{\circ}\text{C}$  e todas as condições prioritárias não forem satisfeitas, a operação deverá ser encerrada,

portanto a etapa 66 será ativada, a variável *vencerra* será feita igual a 1 e será exibida uma mensagem de erro.

Caso a temperatura esteja dentro dos limites permitidos e nenhuma das condições prioritárias sejam satisfeitas, a etapa 67 será ativa, será dado “reset” em *cptemp<sub>g</sub>* e a etapa 62 será ativada de forma a continuar a seqüência de medição.

## 4.7 Medição de temperatura de álcool anidro

A seqüência de medição de temperatura de álcool anidro difere da seqüência de medição de temperatura de gasolina da seção 4.6 apenas no fato de que a etapa 22 da página 56 também é condição prioritária para finalização da seqüência (além da etapa 26), visto que na etapa 22 o carregamento de álcool anidro termina, não fazendo sentido continuar com a seqüência de medição de temperatura deste produto.

Nessa seqüência, também é definido um contador de pulsos para temperatura de álcool anidro, *cptempa*, que está associado ao contador de pulsos de álcool anidro *cpa*. O medidor de álcool anidro também gera um pulso a cada 50 litros.

A variável que é feita zero de forma a interromper a seqüência de medição de temperatura pela parada no carregamento é definida como *mtempa*.

## 4.8 Verificação de intervalo entre pulsos medidor de gasolina

Essa seqüência permite verificar o recebimento de pulsos transmitidos pelo medidor de gasolina. Se o computador industrial deixar de receber pulsos do medidor durante um tempo adotado neste trabalho como dez segundos, a operação deverá ser encerrada.

A etapa 74 da página 65 é a etapa inicial da seqüência e sua transposição à etapa 75 ocorre somente quando se inicia o carregamento de gasolina A, portanto quando a etapa 7 da página 55 é ativada.

A ação associada à etapa 75 armazena o valor atual do contador de pulsos de gasolina na variável *cp<sub>g</sub>atual*.

A variável *vpulso<sub>g</sub>* será feita zero quando o carregamento for interrompido, e se a etapa 75 estiver ativa e nenhuma das condições mais prioritárias for verdadeira, ocorrerá a ativação da etapa 76, indicando que a operação está parada. Se a variável *vencerra* for feita

1, a etapa 77 será ativada indicando que a operação foi encerrada. Caso isso não ocorra e a variável  $vpulso_g$  for feita 1, a etapa 75 ficará ativa armazenando um novo valor na variável  $cpg_{atual}$ .

Se dez segundos após a ativação da etapa 75, a etapa 26 da página 57 não for ativada, e as variáveis  $Vencerra$  e  $vpulso_g$  não forem feitas iguais a 1 e zero, respectivamente, ocorrerá a transposição entre as etapas 75 e 78 e será lido o valor da variável  $cpg$ .

Caso as condições prioritárias  $X26$ ,  $Vencerra \cdot \overline{X26}$  não sejam verdadeiras e o valor de  $cpg$  lido na etapa 78 seja igual ao valor armazenado na etapa 75,  $cpg_{atual}$ , a operação deverá ser encerrada pois isso significa que o computador industrial não recebeu nenhum pulso do medidor de fluxo de gasolina durante os dez segundos.

Assim, a etapa 79 é ativada, a variável  $Vencerra$  passa a valer 1 e uma mensagem indicativa do erro ocorrido é exibida.

Caso o valor de  $cpg$  seja maior do que  $cpg_{atual}$ , e nenhuma das condições prioritárias sejam satisfeitas, a verificação de pulsos deve continuar, portanto a etapa 75 será ativada e a etapa 78 desativada.

## 4.9 Verificação de intervalo entre pulsos medidor de álcool anidro

A seqüência de verificação de intervalo entre pulsos do medidor de anidro começa quando a bomba deste produto é ligada, o que ocorre quando a etapa 15 da página 56 é ativada. Portanto,  $X15$  é a condição necessária para transpor as etapas 80 e 81.

A seqüência segue utilizando-se a mesma lógica descrita na seção 4.8, sendo respeitadas as mesmas prioridades nas condições. A diferença nessa seqüência dá-se no nome da variável que armazena o valor do contador de pulsos de anidro ( $cpa$ ),  $cpa_{atual}$ . Além disso, a variável  $vpulso_a$  é a responsável por interromper a verificação de pulsos quando o carregamento é paralisado.

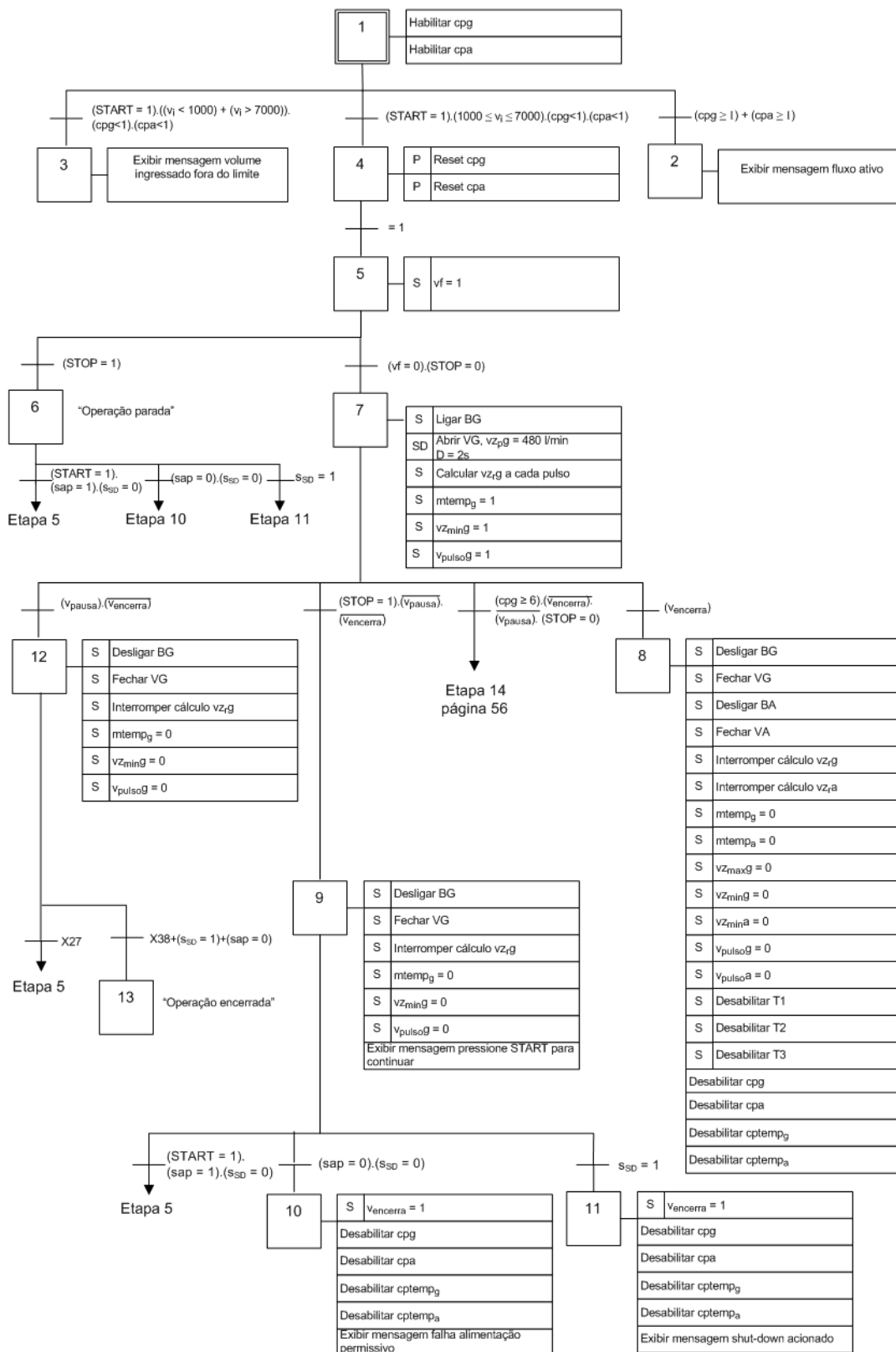
## 4.10 Modelo do sistema de carregamento utilizando SFC

Nessa seção, é apresentado o modelo do sistema de carregamento que foi desenvolvido utilizando-se o programa Microsoft Visio. Para facilitar a compreensão, é apresentada a seguir uma tabela contendo todas as variáveis utilizadas no modelo.

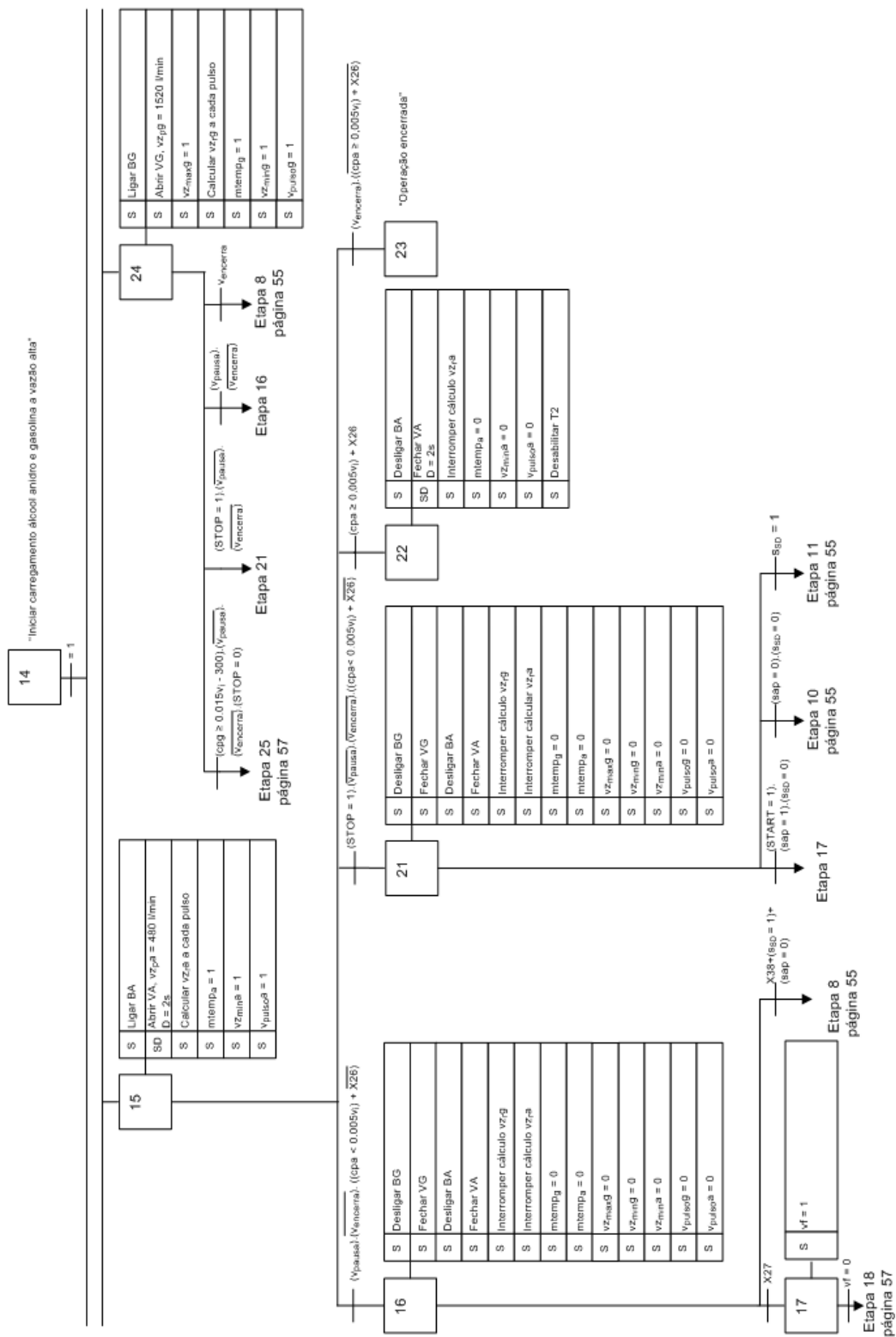
### Variáveis utilizadas no SFC

<i>cp<sub>g</sub></i>	–	Contador de pulsos de gasolina
<i>cp<sub>a</sub></i>	–	Contador de pulsos de álcool anidro
<i>cp<sub>temp<sub>g</sub></sub></i>	–	Contador de pulsos de gasolina para medição de temperatura
<i>cp<sub>temp<sub>a</sub></sub></i>	–	Contador de pulsos de álcool anidro para medição de temperatura
<i>v<sub>i</sub></i>	–	Volume ingressado para carregamento
<i>v<sub>f</sub></i>	–	Variável de controle para verificação de permissivos
<i>v<sub>c</sub></i>	–	Variável de verificação de fim de operação da gasolina
<i>v<sub>z<sub>r<sub>g</sub></sub></sub></i>	–	Vazão real de gasolina
<i>v<sub>z<sub>r<sub>a</sub></sub></sub></i>	–	Vazão real de álcool anidro
<i>v<sub>z<sub>p<sub>g</sub></sub></sub></i>	–	Vazão programada de gasolina
<i>v<sub>z<sub>p<sub>a</sub></sub></sub></i>	–	Vazão programada de álcool anidro
<i>m<sub>temp<sub>g</sub></sub></i>	–	Variável de controle para medição de temperatura de gasolina
<i>m<sub>temp<sub>a</sub></sub></i>	–	Variável de controle para medição de temperatura de anidro
<i>v<sub>pulso<sub>g</sub></sub></i>	–	Variável de controle para verificação de pulsos do medidor de gasolina
<i>v<sub>pulso<sub>a</sub></sub></i>	–	Variável de controle para verificação de pulsos do medidor de anidro
<i>v<sub>pausa</sub></i>	–	Variável de controle que interrompe momentaneamente a operação
<i>v<sub>encerra</sub></i>	–	Variável de controle associada ao acionamento de um alarme primário
<i>v<sub>z<sub>min<sub>g</sub></sub></sub></i>	–	Variável de controle da vazão mínima de gasolina
<i>v<sub>z<sub>min<sub>a</sub></sub></sub></i>	–	Variável de controle da vazão mínima de álcool anidro
<i>v<sub>z<sub>max<sub>g</sub></sub></sub></i>	–	Variável de controle da vazão máxima de gasolina
<i>B<sub>G</sub></i>	–	Bomba de gasolina A
<i>B<sub>A</sub></i>	–	Bomba de álcool anidro
<i>V<sub>G</sub></i>	–	Válvula de gasolina A
<i>V<sub>A</sub></i>	–	Válvula de álcool anidro
<i>s<sub>SD</sub></i>	–	Sensor shut down
<i>s<sub>ap</sub></i>	–	Sensor de verificação de alimentação dos circuitos permissivos
<i>s<sub>RD</sub></i>	–	Sensor redutor de derrame
<i>s<sub>at</sub></i>	–	Sensor de aterramento
<i>s<sub>br</sub></i>	–	Sensor do braço de carregamento
<i>s<sub>dm</sub></i>	–	Sensor de dead-man

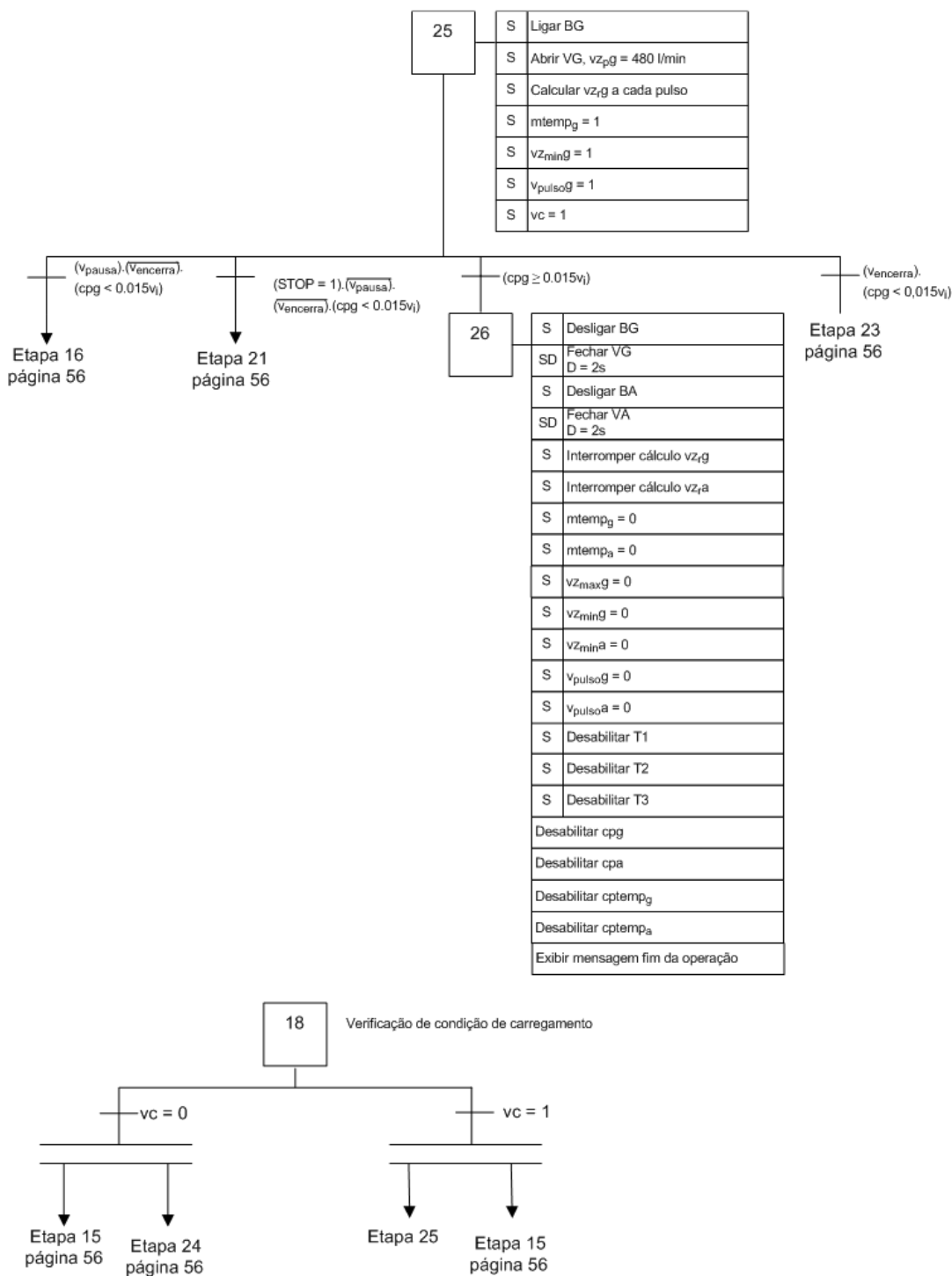
## Seqüência de carregamento



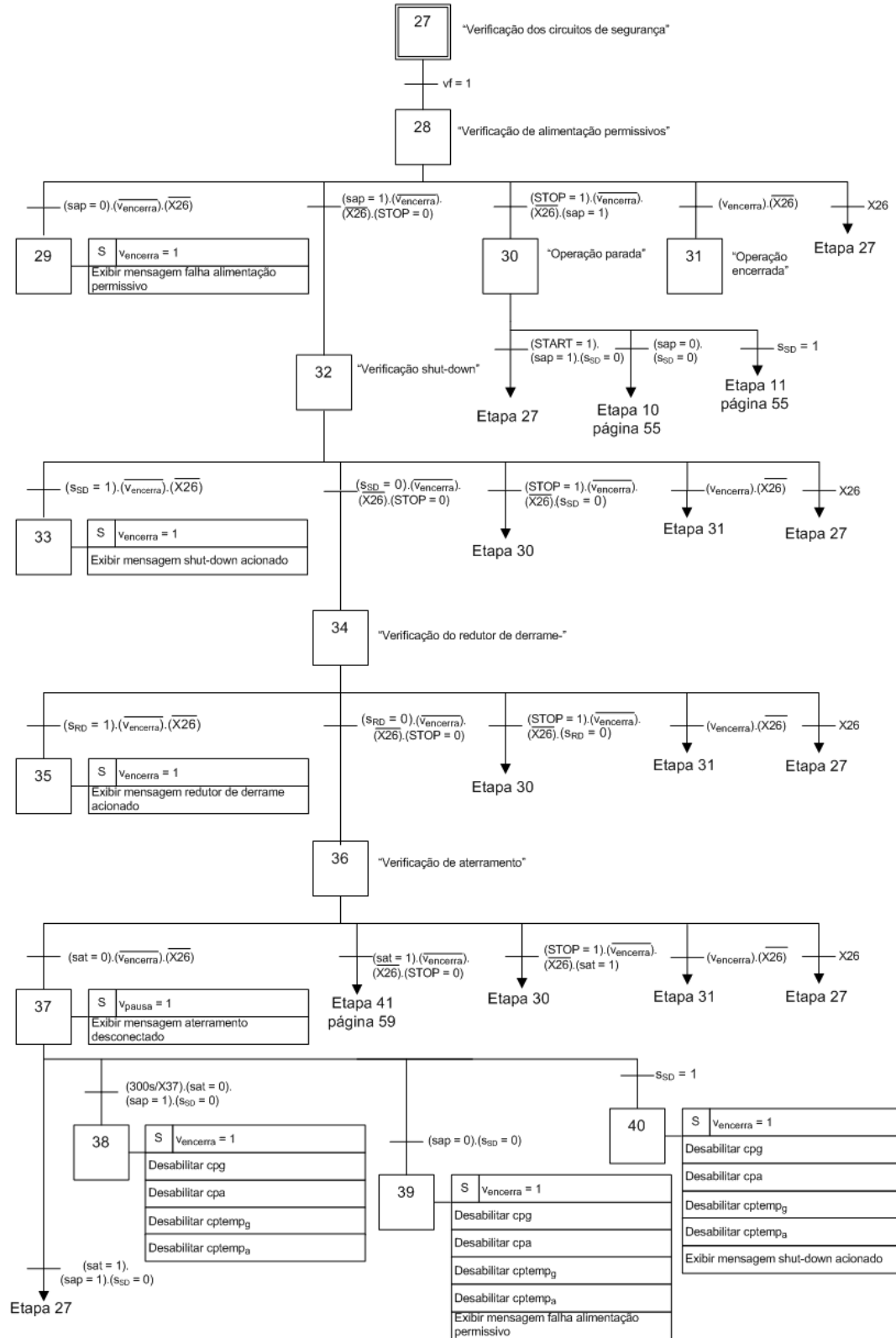
## Seqüência de carregamento (cont.)



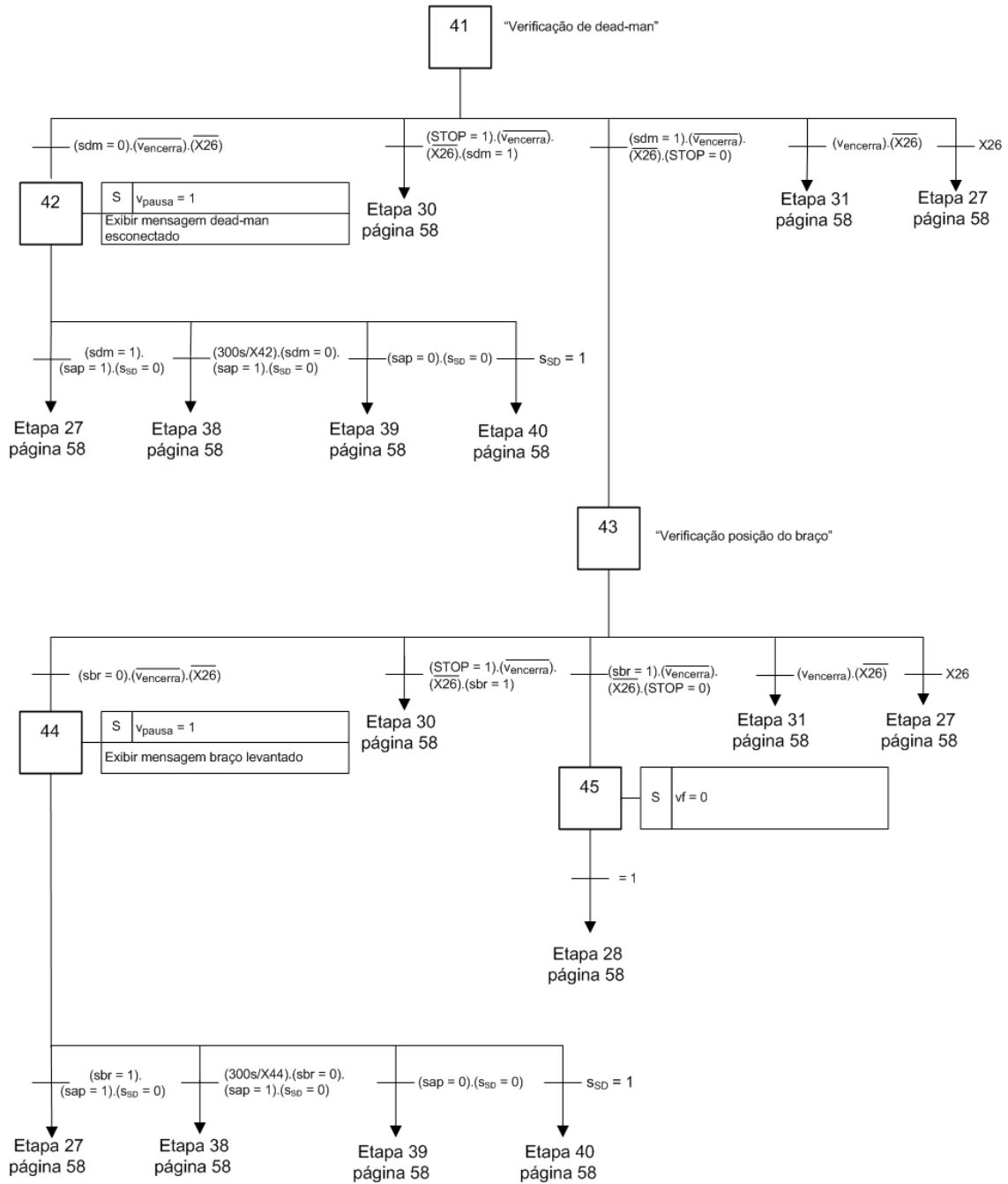
## Seqüência de carregamento (cont.)



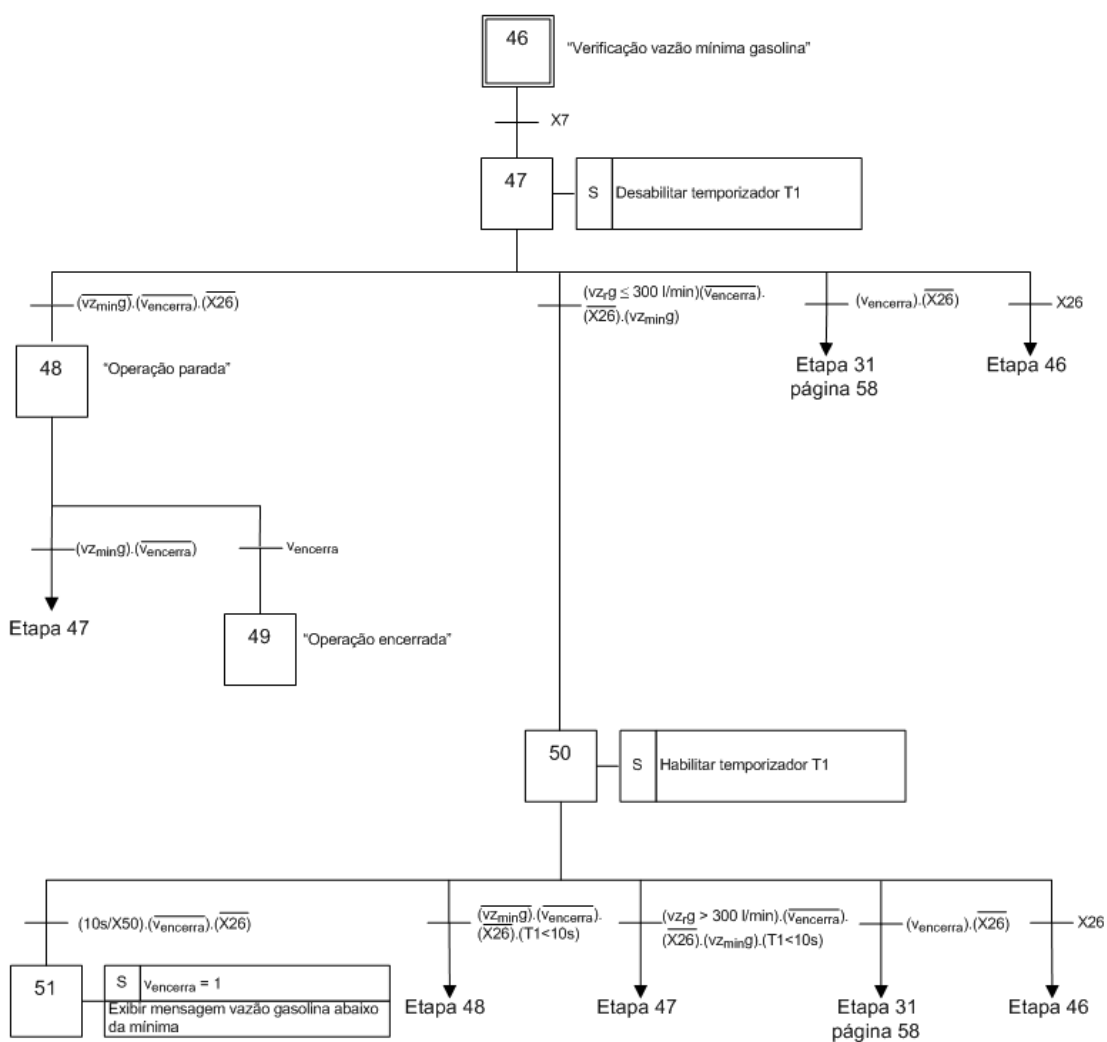
## Verificação dos circuitos de segurança



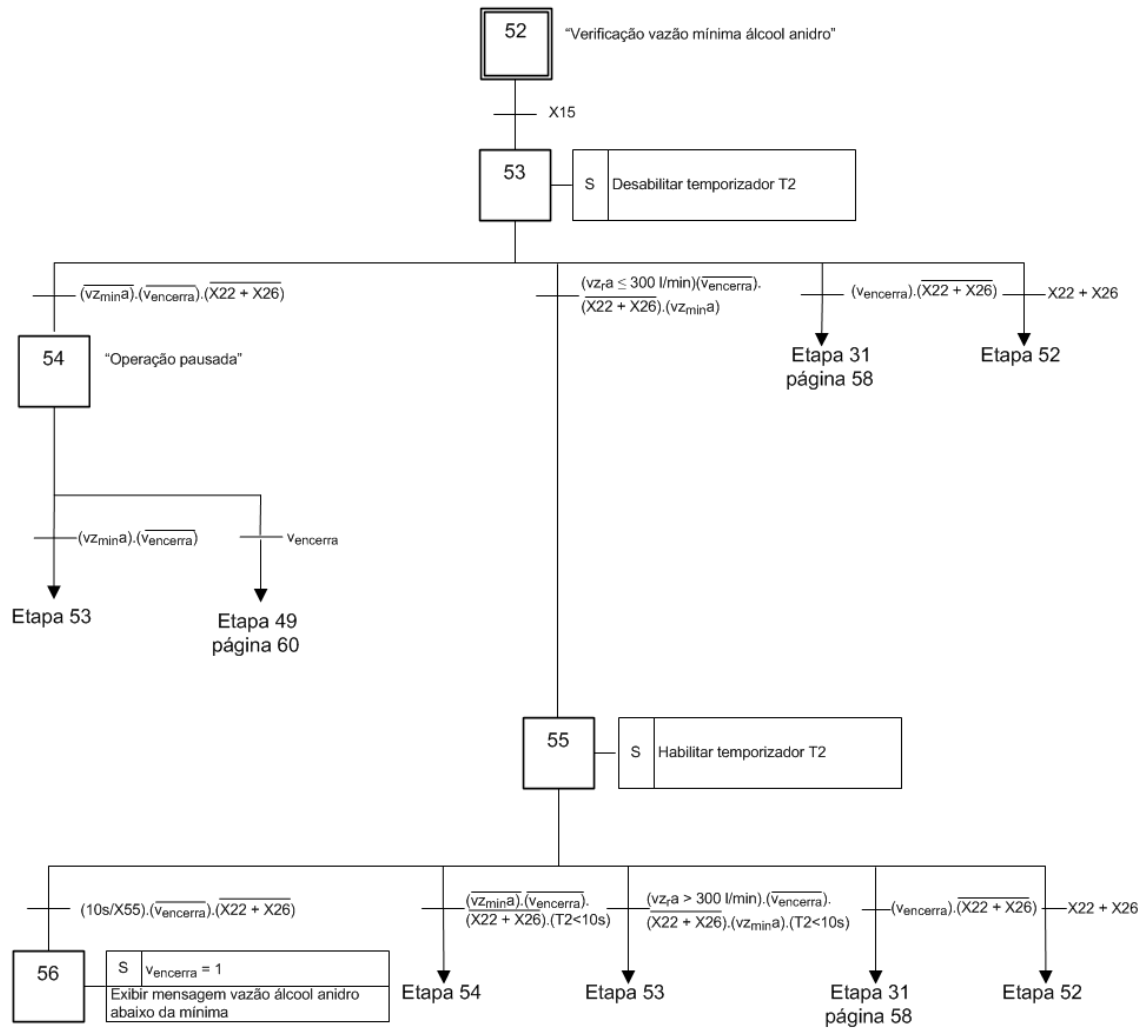
## Verificação dos circuitos de segurança (cont.)



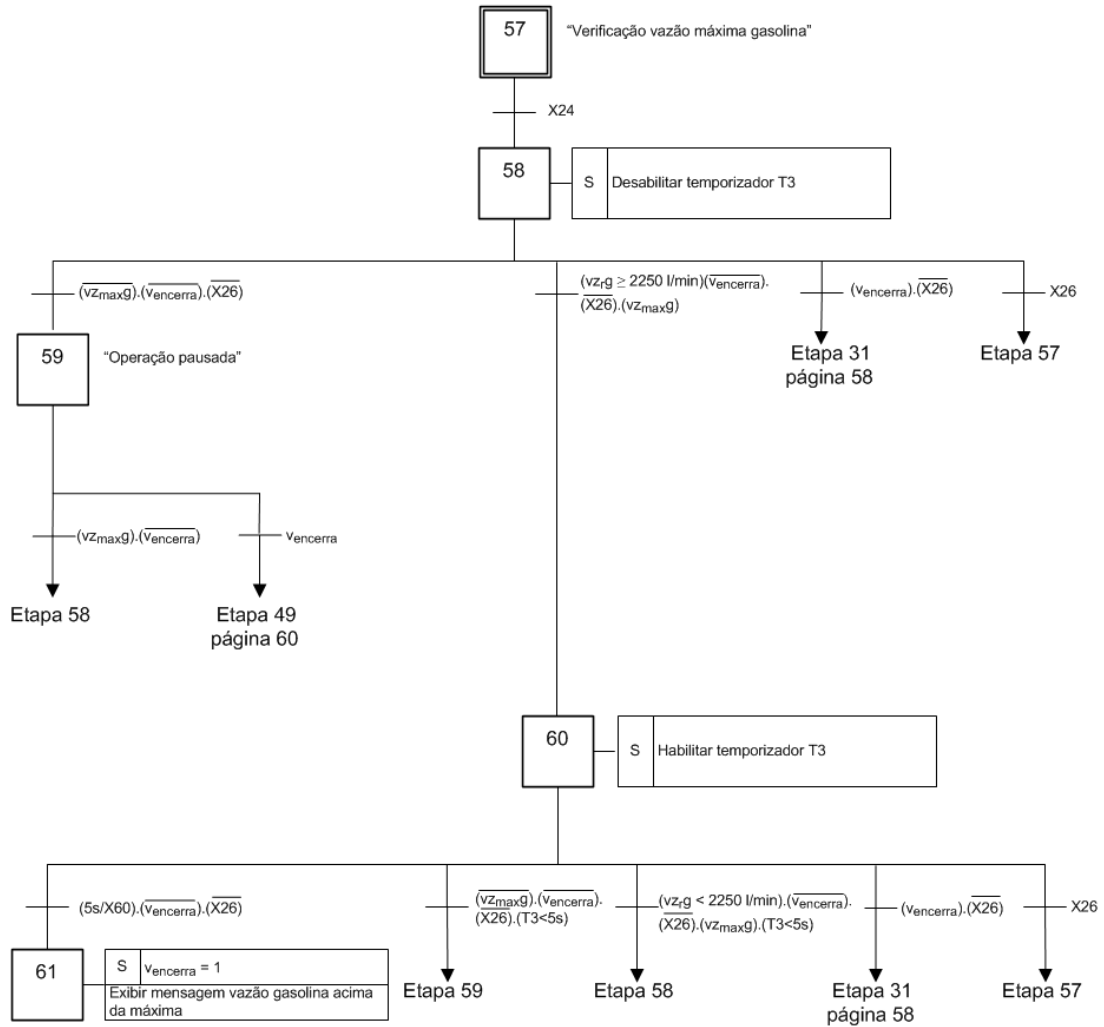
## Verificação de vazão mínima de gasolina



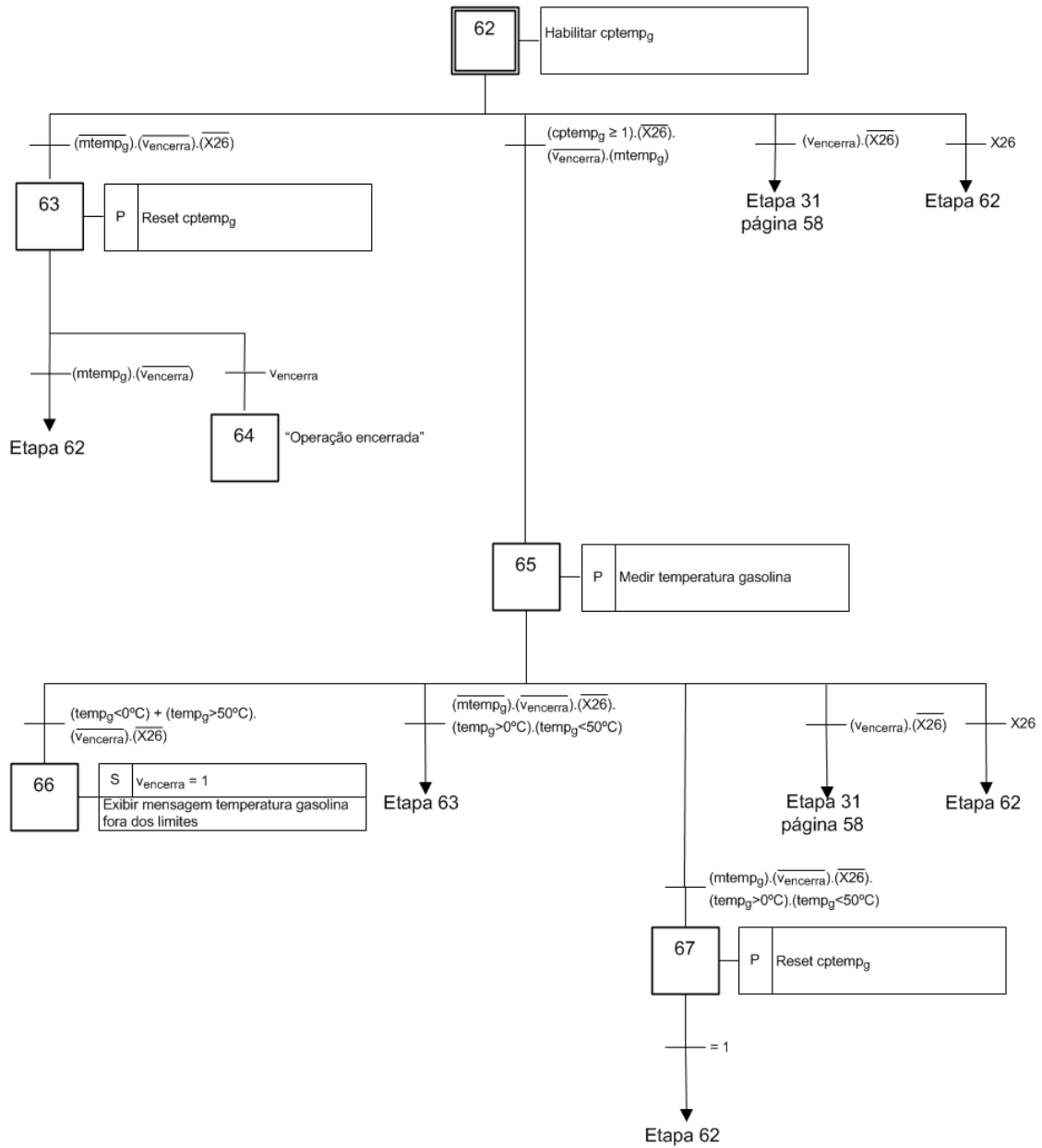
## Verificação de vazão mínima de álcool anidro



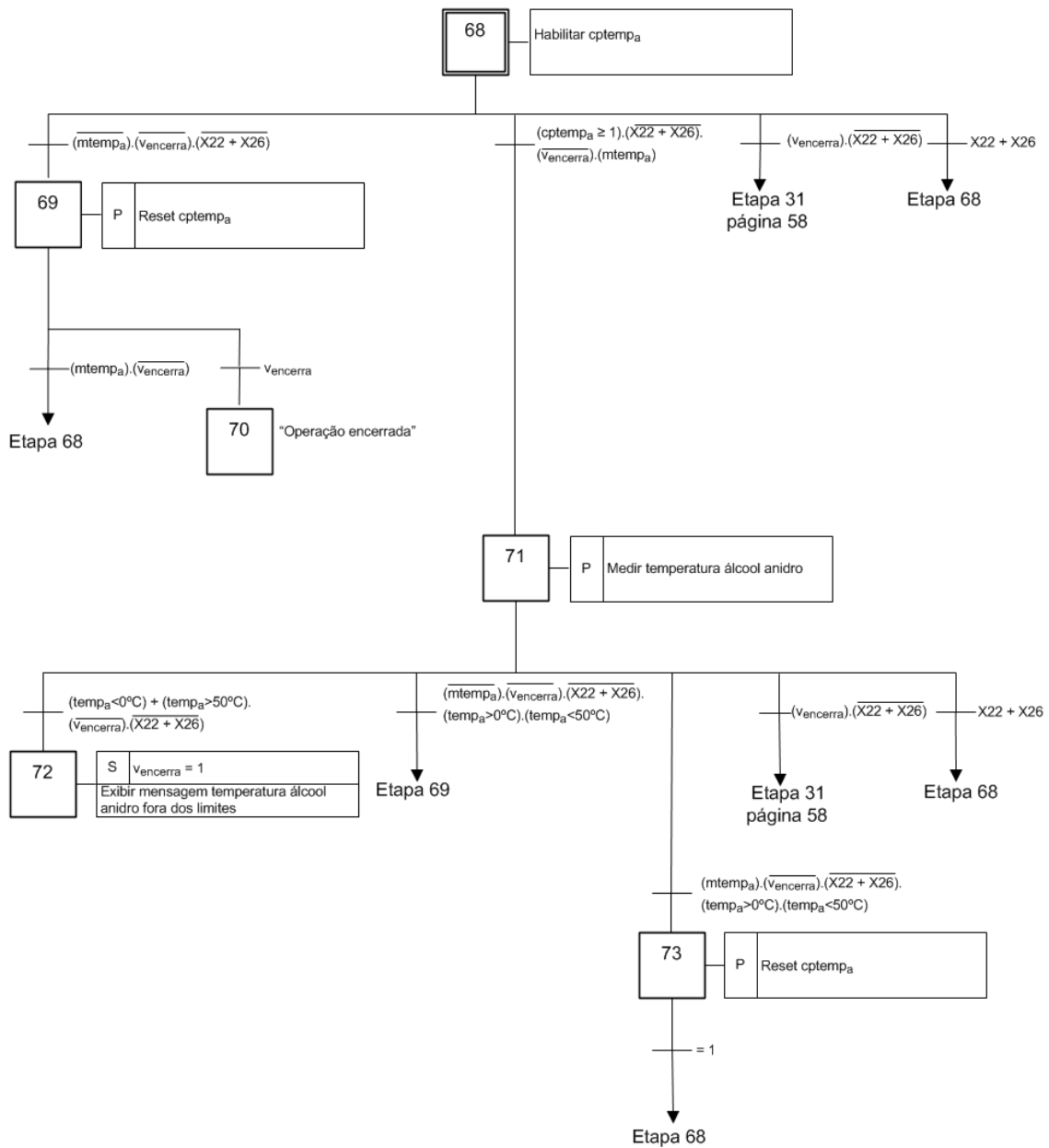
## Verificação de vazão máxima de gasolina



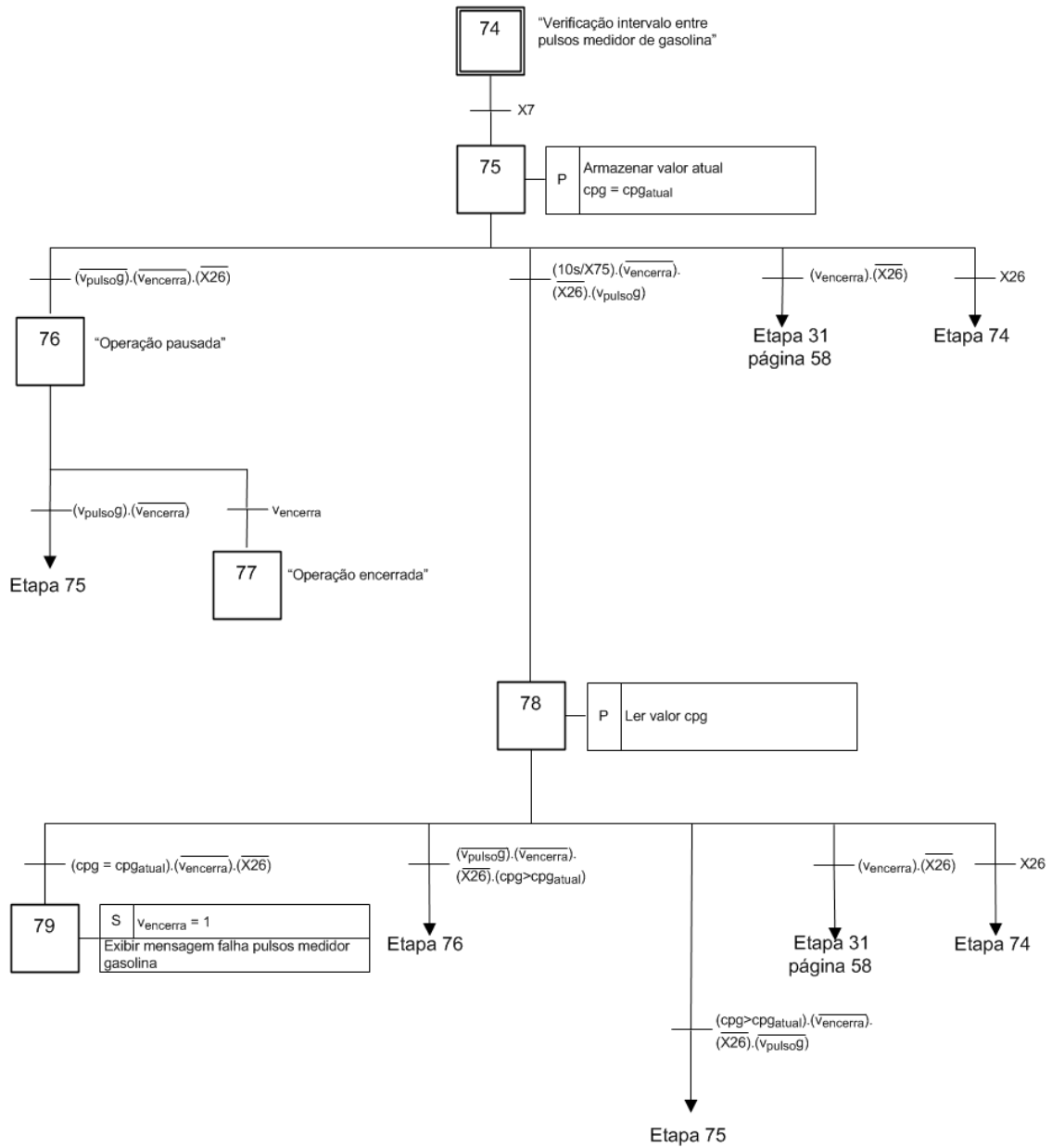
## Medição de temperatura de gasolina



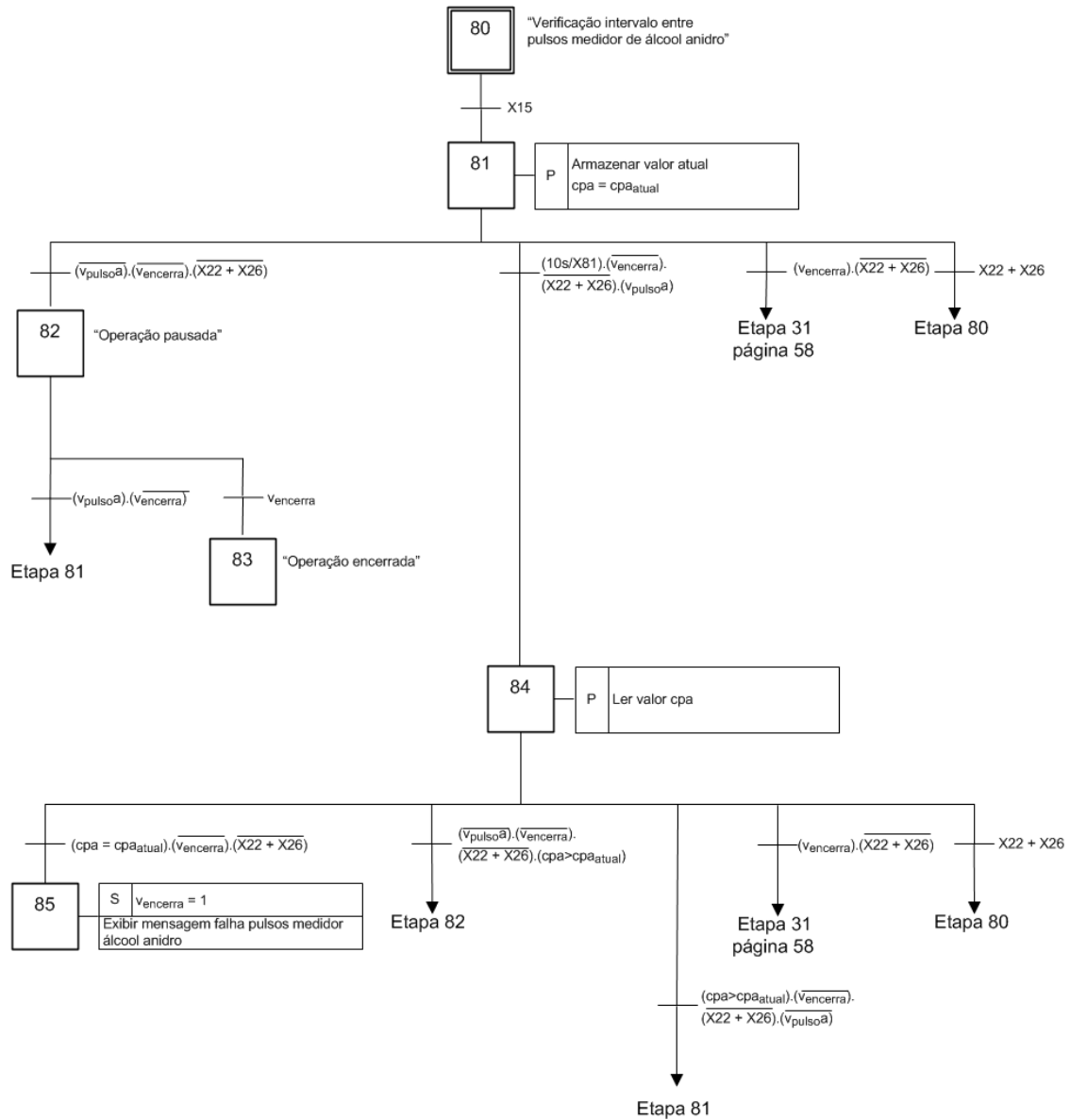
## Medição de temperatura de álcool anidro



## Verificação de intervalo entre pulsos medidor de gasolina



## Verificação de intervalo entre pulsos medidor de álcool anidro



## **4.11 Comentários finais**

Neste capítulo foi apresentada a modelagem do sistema de carregamento de combustível utilizando SFC e alguns dos conceitos definidos no capítulo 2, como seqüências seletivas e seqüências simultâneas. Além disso, foi descrita a seqüência de funcionamento do modelo, ou seja, a evolução das etapas.

## Capítulo 5

### Conclusão

Neste trabalho foi estudado o sistema de carregamento de combustíveis de um terminal de distribuição da empresa Esso Brasileira de Petróleo Ltda. Esse sistema é composto por sensores e atuadores cuja resposta depende dos eventos ocorridos tratando-se, portanto, de um sistema a eventos discretos (SED).

Antes de tratar do problema, foi feita uma revisão dos principais conceitos da teoria de sistemas, em especial da teoria de sistemas a eventos discretos. Além disso, foi preciso descrever todo o sistema de carregamento estudado, os equipamentos e seu funcionamento, os sensores e as situações em que são acionados.

O sistema foi modelado utilizando Diagrama Funcional Seqüencial (SFC), pois esse método mostrou-se mais prático e de mais simples compreensão do que os demais.

Como trabalhos futuros, esse estudo poderá ser utilizado para simulação, usando uma planta virtual gerada em um computador; seguida de implementação do sistema modelado em um CLP (Controlador Lógico Programável).

## Referências Bibliográficas

- [1] Thomazini, D. e Albuquerque, P.U.B. Sensores Industriais: fundamentos e aplicações, Érica, 2007.
- [2] Cassandras, C.G. e Lafortune, S. Introduction to Discrete Event Systems, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [3] Chen, C.T. Linear System Theory and Design, Oxford University Press, 1999.
- [4] Telles, I.C.F.S. Um modelo em rede de Petri para o sistema automático de injeção de uma máquina injetora de plástico, UFRJ COPPE, 2007.
- [5] Georgini, M. Automação Aplicada: descrição e implementação de sistemas seqüenciais com PLCs, Érica, 2000.
- [6] DanLoad 6000 Reference Manual. Daniel, 2001.
- [7] Rashid, M.H. Power Eletronics: circuits, devices and applications, Prentice Hall, Inc., 1993.
- [8] Fraden, J. Handbook of modern sensors: physics, designs and applications, Springer-Verlag, 2004.
- [9] Disponível em <http://www.dwlyler.com.br/basecon>.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.