

JONATHAN PETER MARXEN  
MÔNICA SANTANA TORRES

7,5  
4

nota final 8,1  
(oih e um)

22/01/03

**SISTEMA AUTOMATIZADO DE LIMPEZA  
E DESINFECÇÃO DE TANQUES  
EM INDÚSTRIAS DE LATICÍNIOS**

Trabalho de formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia

Área de Concentração:  
Engenharia Mecatrônica

Orientador:  
Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

Co-Orientadores:  
Fabrício Junqueira  
Gladys Deifan Baptista Gustin  
Baptista

São Paulo  
2003

JONATHAN PETER MARXEN  
MÔNICA SANTANA TORRES

**SISTEMA AUTOMATIZADO DE LIMPEZA  
E DESINFECÇÃO DE TANQUES  
EM INDÚSTRIAS DE LATICÍNIOS**

Trabalho de formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia

Área de Concentração:  
Engenharia Mecatrônica

Orientador:  
Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

Co-Orientadores:  
Fabrício Junqueira  
Gladys Deifan Baptista Gustin  
*Bastidas*

São Paulo  
2003

Às nossas famílias e amigos.

Os Autores

## Agradecimentos

Agradecemos aos nossos colegas e amigos da faculdade por estarem sempre presentes, compartilhando os bons e maus momentos vividos na graduação.

Agradecemos aos colaboradores da JohnsonDiversey pelas valiosas informações e à Sra. Marianne, do Instituto Tecnológico Brasil Alemanha, pelo apoio e confiança.

Agradecemos principalmente ao professor Miyagi e seus doutorandos Gladys e Fabrício, sem os quais teríamos encontrado muitas barreiras na elaboração de um trabalho digno de formação em engenharia mecatrônica.

## Resumo

As indústrias de laticínios dos países desenvolvidos têm experimentado muitos avanços tecnológicos. No Brasil, entretanto, uma boa parte das indústrias de alimentos ainda está em estágio inicial de utilização de técnicas de controle automático nos processos industriais.

Com a implementação das Boas Práticas de Fabricação (BPF) nos Procedimentos Padrões de Higiene Operacional (PPHO) estabelecidos pela norma NBR14900 para toda a cadeia alimentícia, as empresas estão se vendo na obrigação de implantar técnicas mais modernas para a higienização de seu sistema produtivo.

Neste contexto, o trabalho visa estudar a substituição de um sistema semi-automático de higienização de tanques em indústria de laticínios por um sistema automatizado. Para tal é desenvolvido um modelo da planta em rede de Petri, com o devido sistema de controle composto de válvulas e sensores.

O modelo é usado na análise e especificação da estratégia de controle.

Um exemplo da implementação de controle desenvolvido é realizado usando diagrama Ladder e uma bancada de teste de controladores programáveis.

# Sumário

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                       | <b>1</b>  |
| 1.1. OBJETIVO DO TRABALHO.....                                   | 2         |
| 1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO .....                                 | 2         |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                            | <b>3</b>  |
| 2.1. PROCESSAMENTO DO LEITE NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS.....      | 3         |
| 2.1.1. A Recepção do Leite Cru na Indústria.....                 | 3         |
| 2.1.2. O Processo de Centrifugação.....                          | 4         |
| 2.1.3. O Processo de Homogeneização .....                        | 4         |
| 2.1.4. O Processo de Pasteurização .....                         | 5         |
| 2.2. A HIGIENIZAÇÃO NA INDÚSTRIA.....                            | 6         |
| 2.2.1. Aspectos gerais da higienização.....                      | 6         |
| 2.2.2. Aspectos mecânicos da higienização .....                  | 8         |
| 2.2.3. Sistema CIP – Cleaning in Place.....                      | 9         |
| 2.2.4. Utilização do Sistema CIP na Indústria.....               | 10        |
| 2.2.5. O Processo CIP na Indústria Láctea .....                  | 11        |
| 2.2.6. Composição Física do Sistema CIP.....                     | 12        |
| 2.3. MODELAGEM DE SISTEMAS .....                                 | 19        |
| 2.3.1. Ferramentas para Modelagem de Sistemas.....               | 19        |
| 2.3.2. Técnicas de Implementação de Estratégias de Controle..... | 22        |
| 2.4. SIMULAÇÃO DE SISTEMAS .....                                 | 22        |
| 2.4.1. HPSim .....   | 23        |
| <b>3. PROJETO DO SISTEMA DE CONTROLE DE UM CIP .....</b>         | <b>24</b> |
| 3.1. METODOLOGIA .....   | 24        |
| 3.2. ESTUDO DE CASO .....  | 25        |
| 3.2.1. Ciclo de Higienização.....                                | 25        |
| 3.2.2. Planta.....   | 25        |
| 3.2.3. Descrição do Processo.....                                | 28        |
| 3.2.4. Redes de Petri.....                                       | 35        |
| 3.2.5. Ladder Diagram .....                                      | 38        |
| <b>4. ANÁLISES.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>5. COMENTÁRIOS FINAIS.....</b>                                | <b>49</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                       | <b>50</b> |
| <b>ANEXO 1 – INTERTRAVAMENTO .....</b>                           | <b>51</b> |
| <b>ANEXO 2 – LADDER DIAGRAM.....</b>                             | <b>52</b> |
| <b>ANEXO 3 – CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS.....</b>         | <b>55</b> |

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 - Fluxograma de uma indústria padrão de laticínios [3]. | 3  |
| Figura 2.2 - Princípio de funcionamento de uma centrífuga [4].     | 4  |
| Figura 2.3 - Componentes de um homogeneizador [4].                 | 5  |
| Figura 2.4 - Estágios de temperatura ideais na pasteurização [4].  | 6  |
| Figura 2.5 - Exemplo de um sistema CIP centralizado [1].           | 10 |
| Figura 2.6 - Sistema CIP fixo [6].                                 | 12 |
| Figura 2.7 - Esquema de sistema CIP fixo [7].                      | 12 |
| Figura 2.8 - Tanques de soluções [7].                              | 13 |
| Figura 2.9 - Tanque de água recuperada [7].                        | 13 |
| Figura 2.10 - Tanque de equilíbrio [7].                            | 14 |
| Figura 2.11 - Manifold [7].  | 14 |
| Figura 2.12 - Injetor de produtos [7].                             | 15 |
| Figura 2.13 - Bomba de Avanço e Retorno [7].                       | 15 |
| Figura 2.14 - Trocador de calor [7].                               | 16 |
| Figura 2.15 - Sensores de Condutividade e Temperatura [7].         | 16 |
| Figura 2.16 - Linhas de avanço [7].                                | 17 |
| Figura 2.17 - <i>Sprayball</i> [7].                                | 17 |
| Figura 2.18 - Linha de retorno [7].                                | 18 |
| Figura 2.19 - Medidor de vazão [7].                                | 18 |
| Figura 2.20 - Válvula moduladora automática [7].                   | 18 |
| Figura 2.21 - Processo de modelagem simples [9].                   | 19 |
| Figura 2.22 - Máquina de Estados e Tabela de Estados [10].         | 20 |
| Figura 2.23 - Exemplo de Grafo Reduzido [11].                      | 20 |
| Figura 2.24 - Exemplo de RdP antes e após disparo da transição.    | 21 |
| Figura 3.1 - Metodologia empregada.                                | 24 |
| Figura 3.2 - Ciclo de Higienização.                                | 25 |
| Figura 3.3 - Planta do sistema.                                    | 27 |
| Figura 3.4 - Fluxograma da 1ª. etapa do ciclo de higienização.     | 29 |
| Figura 3.5 - Fluxograma da 2ª. etapa do ciclo de higienização.     | 30 |
| Figura 3.6 - Fluxograma da 3ª. etapa do ciclo de higienização.     | 31 |
| Figura 3.7 - Fluxograma da 4ª. etapa do ciclo de higienização.     | 32 |
| Figura 3.8 - Fluxograma da 5ª. etapa do ciclo de higienização.     | 34 |
| Figura 3.9 - Fluxograma da 6ª. etapa do ciclo de higienização.     | 35 |
| Figura 3.10 - Modelo em Rede de Petri do processo de higienização. | 37 |
| Figura 3.11 - Programa do controle em LD.                          | 47 |

## Lista de Tabelas e Gráficos

|   |    |
|---|----|
| Tabela 2.1 - Classificação das linguagens de programação [13] .....   | 22 |
| Tabela 3.1 - Legenda dos equipamentos .....                           | 28 |
| Tabela 3.2 - Parâmetros do processo de higienização na recepção ..... | 38 |



## 1. Introdução

As indústrias de laticínios dos países desenvolvidos têm experimentado diferentes avanços tecnológicos, desde o incremento da produção de leite por unidade de animal e por unidade de propriedade rural, até o aumento da quantidade de leite processado por fábrica. Além disso as empresas estão sendo objetos de transformações estruturais devido ao processo de fusão com outras empresas. No Brasil também se tem observado evolução nos setores de produção de leite e de processamento industrial do leite. Este aumento da produção eleva o retorno dos investimentos e melhora a competitividade e a saúde econômica dos empreendimentos, fatores que favorecem diretamente o consumidor. [1]

No Brasil, entretanto, uma boa parte das indústrias de alimentos ainda está em estágio inicial de utilização de técnicas de controle automático nos processos industriais. Isto se deve a alguns pontos, que incluem: o envolvimento de produtos perecíveis, altos investimentos envolvidos e dificuldades operacionais (resultantes da carência de pessoal especializado). Na produção de matéria-prima (leite cru) é um exemplo típico onde o nível de automação é ainda incipiente em relação aos países desenvolvidos. Entretanto, espera-se que nos próximos anos haja uma rápida evolução nesta área devido aos investimentos em sistemas automatizados de ordenha e conservação do leite. Entretanto, grandes investimentos ainda precisam ser realizados na propriedade rural para que a qualidade do leite cru e a eficiência na sua coleta sejam equiparadas àquelas dos países desenvolvidos, onde praticamente toda a ordenha é realizada mecanicamente. Como no Brasil grande parte das indústrias de laticínios tem dificuldade de dispor de capital excedente para investimentos, e como a implantação de processos de automação pode não gerar retorno econômico imediato, os administradores apresentam resistência em aplicar os recursos financeiros para projetos de automação. Além disso, alguns segmentos desta indústria operam de modo sazonal, com baixo controle de segurança dos alimentos e baixa margem de lucro, fatores estes que dificultam a decisão pelo investimento na automatização.

Entretanto, em contraposição à situação geral citada, a área de higienização na indústria de laticínios tem apresentado investimentos crescentes. Esta é uma das partes responsáveis pela garantia da segurança e da qualidade dos produtos, ganhando ainda mais destaque com a implementação das **Boas Práticas de Fabricação (BPF)** nos Procedimentos Padrões de Higiene Operacional (PPHO), estabelecidos pela norma *NBRI4900* para toda a cadeia alimentícia. [2]

Os objetivos da higienização na indústria consistem em remover as sujeiras das superfícies dos equipamentos de modo que não contaminem o produto durante a produção subsequente, e além disso garantir o maior tempo de operação possível antes de uma nova parada para higienização, devido à elevação da sujidade ao longo do processamento.

No Brasil, os processos de higienização na indústria de laticínios já são realizados numa estrutura em sistema fechado (não necessitando que suas instalações sejam desmontadas e nem afetando a produção de forma significativa, além de assegurar a ausência de microorganismos em processos passíveis de contaminação). Contudo, o acionamento das válvulas e das bombas e o ajuste da concentração, da temperatura e do tempo de circulação dos produtos de limpeza ainda são feitos manualmente, o que compromete a qualidade e a confiabilidade do processo pois muitas vezes nem todos esses parâmetros são considerados, uma vez que os procedimentos de limpeza normalmente são realizados após a fabricação dos produtos, quando, em geral, o grau de concentração e atenção dos funcionários não se encontra adequado. Portanto aspectos importantes de higienização e de conservação de equipamentos podem não ser devidamente considerados. Ou ainda a limpeza pode ser prejudicada por operadores não preparados para esta função.

### **1.1. Objetivo do Trabalho**

O objetivo do presente trabalho é realizar o estudo da instalação de uma indústria de laticínios (parte mecânica), caracterizar o processo de higienização (que neste contexto significa limpeza mais desinfecção) e desenvolver uma estratégia de controle automático das variáveis tempo, temperatura e concentração. Uma das formas de análise considerada é através de simulação.

### **1.2. Estrutura do Trabalho**

O texto encontra-se dividido em basicamente três partes. A primeira, que corresponde ao *Capítulo 2*, introduz conceitos básicos, explicando o funcionamento de uma indústria padrão de laticínios, incluindo cada um dos processos mais relevantes. Também é abordada a forma como o processo de higienização é realizado em tal indústria, incluindo uma descrição de cada etapa e dos equipamentos necessários. Apresenta-se também as técnicas de Modelagem de Sistemas e Controle, Redes de Petri, CLP e Ladder Diagram.

A segunda parte, correspondente ao *Capítulo 3*, desenvolve a modelagem do sistema.

A terceira e última parte, referente aos *Capítulos 4 e 5*, traz a análise através das simulações realizadas e as conclusões gerais do trabalho.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1. Processamento do Leite na Indústria de Laticínios

O leite atravessa diversas etapas durante seu processamento na indústria, que vão desde a recepção, assim que chega à fábrica, até a pasteurização, num estágio mais avançado.

O fluxograma da Figura 2.1 indica as etapas presentes em uma indústria padrão de processamento de leite. [3]

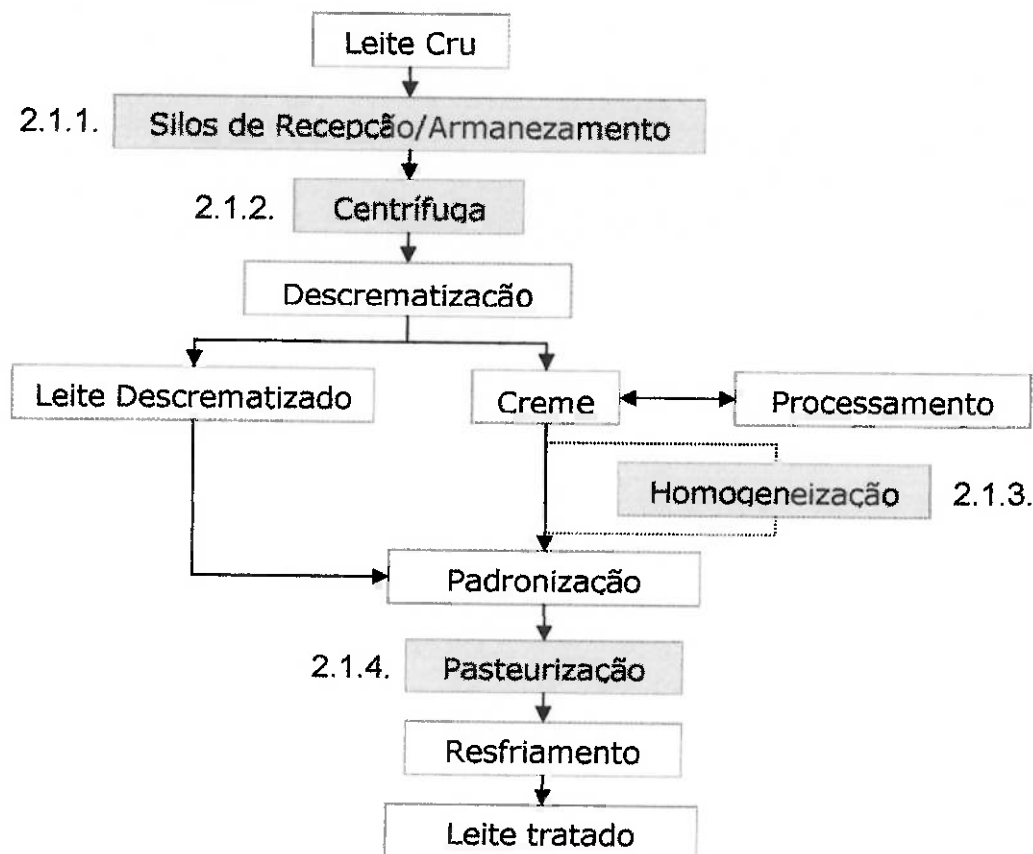


Figura 2.1 - Fluxograma de uma indústria padrão de laticínios [3].

A seguir apresenta-se uma breve descrição das etapas mais relevantes no processo, destacadas no fluxograma anterior.

#### 2.1.1. A Recepção do Leite Cru na Indústria

O leite cru é captado pelos caminhões de transporte em diversas fazendas fornecedoras. Portanto o leite, quando misturado, seja no próprio caminhão ou no tanque de recepção, apresenta variação em sua composição, o que afeta suas propriedades e sua qualidade, influenciando diretamente tanto os processos de fabricação quanto a composição e a qualidade dos produtos finais. Além disso, o leite contém partículas de sujeira como pêlos. [4]

Durante a recepção na indústria de laticínios, o leite cru é resfriado para menos de 6°C, o que ajuda a estabilizar a qualidade bacteriológica do leite por mais de 2 dias. É feita ainda uma inspeção superficial em relação ao odor, à aparência e à temperatura.

### 2.1.2. O Processo de Centrifugação

O processo de separação por centrifuga é utilizado para separar e retirar as partículas de sujeira, leucócitos, etc. O princípio usado é a diferença de densidade sob alta rotação da centrifuga (Figura 2.2). [4]

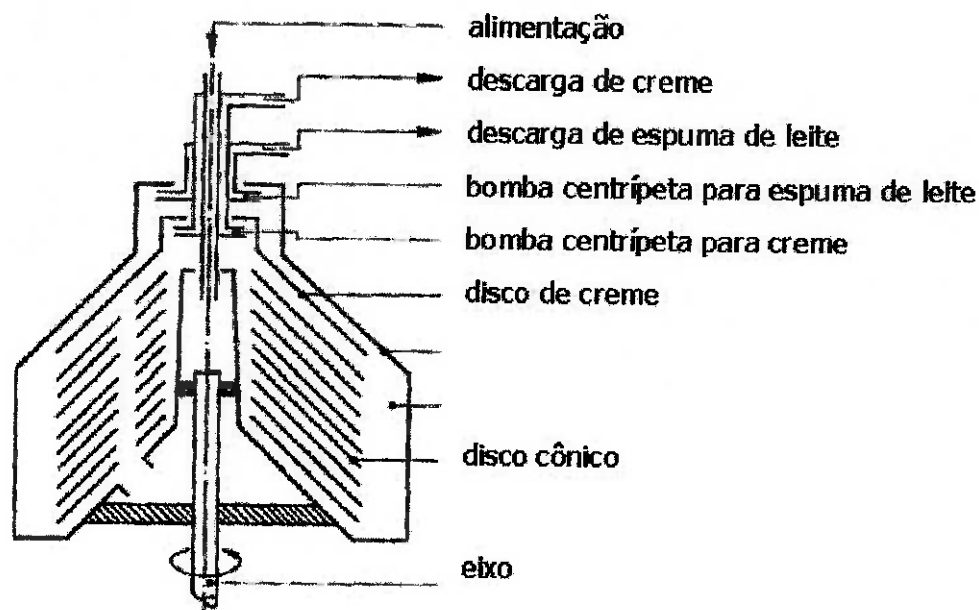


Figura 2.2 -Princípio de funcionamento de uma centrífuga [4].

Este mesmo tipo de equipamento também é utilizado quando é necessário retirar a gordura do leite para produção de leite semi-desnatado e desnatado

### 2.1.3. O Processo de Homogeneização

Para uniformizar o conteúdo do leite cru, é realizado um processo onde as partículas de gordura do leite são rompidas em partículas menores, melhorando assim seu aspecto fluido, o que é de suma importância nos processos de fabricação. [4]

O homogeneizador mais comumente utilizado consiste em uma bomba de alta pressão que força o leite oriundo do tanque a passar através de uma válvula (Figura 2.3).

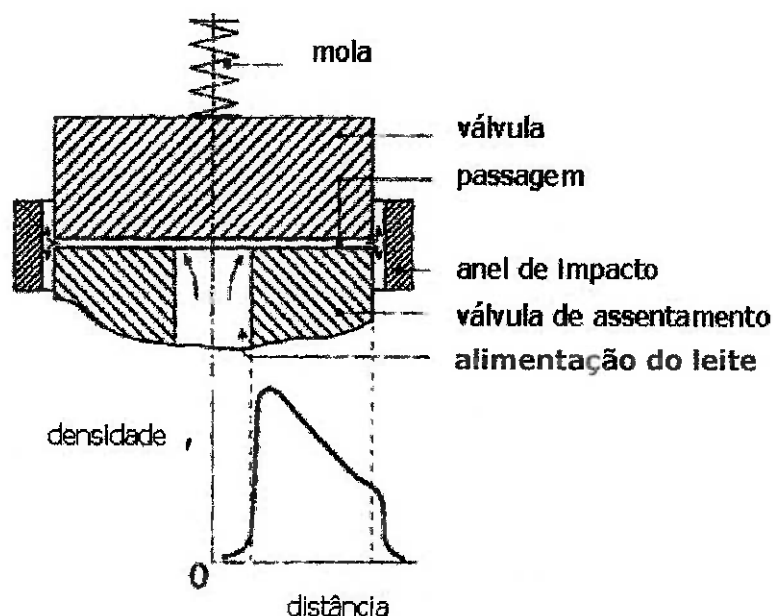


Figura 2.3 - Componentes de um homogeneizador [4].

O mesmo tipo de equipamento é utilizado para preparar o creme do leite, onde as partículas de gordura devem ser rompidas em partículas extremamente pequenas.

#### 2.1.4. O Processo de Pasteurização

A produção de quase todo tipo de leite e produtos lácteos envolve um tratamento térmico. Tal tratamento é principalmente destinado a matar microorganismos e inativar enzimas, ou então realizar alguma outra alteração de propriedade, principalmente de natureza química. “Bons” resultados dependem da intensidade do tratamento, isto é, uma combinação entre nível o de aquecimento e sua duração.

O controle do processo de pasteurização é muito importante pois o tratamento térmico inadequado pode gerar problemas (por afetar as propriedades físico-químicas do leite). [4]

O equipamento de pasteurização consiste em um trocador de calor de placas (Figura 2.4). O processo é feito em várias etapas pela circulação do leite e de água (fluidos que irão trocar calor), ocorrendo aquecimento e resfriamento de ambos os líquidos. A diferença entre as temperaturas dos fluidos não precisa ser elevada mas a transferência de calor deve ser suficiente para assegurar a qualidade do processo.

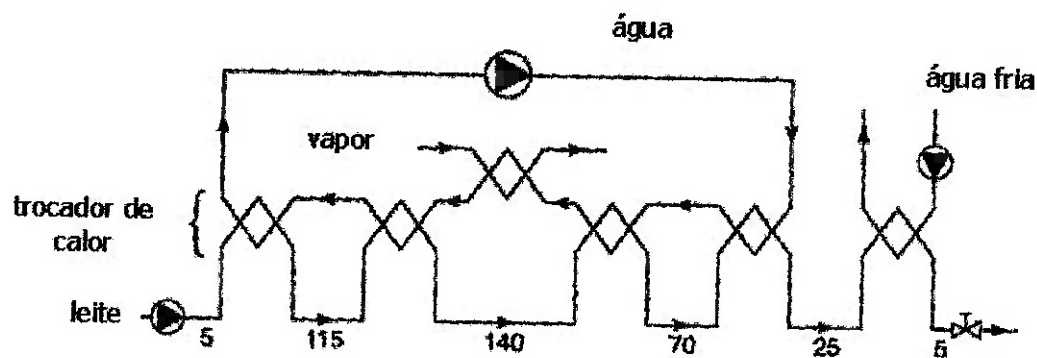


Figura 2.4 - Estágios de temperatura ideais na pasteurização [4].

A pasteurização, portanto, é um processo térmico relativamente simples, flexível e necessário para assegurar a qualidade do leite que após a pasteurização está próprio para consumo, podendo ser envasado para o seu transporte e distribuição.

## 2.2. A Higienização na Indústria

No processo industrial, os resíduos de produtos e as incrustações que aparecem nos dutos, silos e outros equipamentos, formam um meio propício para a proliferação de microorganismos. [5]

Neste contexto, *Limpeza e desinfecção* são duas medidas distintas, mas ambas têm o objetivo de proteger os equipamentos e os produtos a serem produzidos de alterações químicas, físicas e microbiológicas.

Entretanto, somente a limpeza não é suficiente para remover microorganismos, deve-se para isto portanto, proceder à desinfecção que via de regra vem após a limpeza.

### 2.2.1. Aspectos gerais da higienização

A remoção de sujidades depende da adesividade da sujeira na superfície dos equipamentos, da sua consistência, do tipo da superfície e das estratégias de limpeza. [5]

Estudadas as características da superfície dos equipamentos e da sujeira (através de testes em amostras do produto) definem-se as estratégias de limpeza. A estratégia é resultante de uma combinação de quatro fatores que determinam o resultado da limpeza: ação mecânica, ação química, temperatura e tempo.

Os agentes de limpeza atuam junto à sujidade orgânica (microorganismos) e inorgânica (resíduos de produção e incrustações) removendo-as durante as etapas de limpeza. Estes agentes devem assim ser adequados às características dos resíduos do processo produtivo.

#### A. Agentes de limpeza

A **água** age como meio de transporte de produtos químicos e sujidade, e ainda distribui energia térmica e mecânica. [6]

Os agentes de limpeza primários são os produtos **detergentes**. Eles são apropriados para remoção de sujidades inorgânicas. Alguns efeitos devem ser considerados para a sua escolha, como solubilidade rápida e completa em água, alto poder seqüestrante, bom poder de enxágüe, rápido amolecimento e dissolução dos componentes específicos da sujidade, não fazer espuma e ter capacidade de eliminar espuma, ser seguro contra a corrosão dos equipamentos e biodegradável.

Os agentes de limpeza secundários são compostos por produtos **ácidos** e **desinfetantes**. Os ácidos têm função desincrustante, isto é, removem sedimentações inorgânicas. Já os desinfetantes eliminam microorganismos residuais.

Os **aditivos** são substâncias que se adicionam aos produtos de limpeza para que suas eficiências sejam melhoradas.

### **B. Fatores de Limpeza**

A **ação mecânica** corresponde ao contato da solução de limpeza com as superfícies a serem limpas. Ela implica nas condições físicas necessárias para limpeza, como vazão, velocidade do fluxo e pressão. Tal ação é realizada por meio de pulverização de soluções de limpeza na superfície dos tanques e também por escoamento turbulento destas soluções nos dutos. [5]

A **ação química** reforça os efeitos da ação mecânica. O uso de produtos químicos sem efeitos mecânicos em geral não assegura os resultados de limpeza necessários. O efeito da ação química depende ainda tanto do tipo do produto químico utilizado (alcalino ou ácido) como também da sua concentração em solução.

A **temperatura** da solução influencia substancialmente nos efeitos da limpeza. Temperaturas mais elevadas ocasionam uma difusão mais rápida do produto sobre a camada de sujidade, obtendo-se, assim, um “inchamento” e descolamento mais rápido da sujeira. Instalações onde circulam produtos aquecidos devem assim ser limpas a quente. Uma elevação de 10°C duplica o efeito da higienização. A escolha da temperatura para limpeza depende dos equipamentos de aquecimento, da dificuldade para remover a sujidade e das propriedades químicas dos produtos de limpeza.

Todos os processos químicos de dissolução de depósitos de sujeira dependem de fatores relacionados ao **tempo**, pois a sujidade é removida camada por camada conforme a eficiência química do detergente. Mesmo com uma concentração mais alta é necessário um tempo mínimo de contato para que a sujidade seja devidamente removida. Assim, a contagem do tempo para ação da solução de limpeza sobre a superfície a ser limpa só deve ocorrer quando a solução se encontrar na concentração e temperatura corretas.

Esses quatro parâmetros podem ser variados dentro de certos limites. Com a elevação da temperatura, por exemplo, a concentração e respectivamente o tempo podem ser reduzidos. Na

prática, as definições da concentração da solução dos produtos químicos em água e da temperatura são feitas *a priori* utilizando-se dados experimentais anteriormente documentados, sendo ratificado através de testes no local a ser realizado o processo de higienização.

### **C. Etapas de limpeza**

Um processo de higienização é constituído de quatro ou mais etapas, dependendo do tipo de produto processado e do produto de limpeza (ou matéria-prima) empregado. Basicamente, além da água, utiliza-se uma solução detergente. Agentes de limpeza secundários podem ainda ser utilizados, como solução ácida e a solução desinfetante. Produtos químicos que fazem combinações das ações detergentes, desincrustantes e desinfetantes, reduzem etapas no processo de higienização (o que pode refletir em vantagens econômicas). [2]

#### **2.2.2. Aspectos mecânicos da higienização**

Na **limpeza manual** (com esfregão e escova) a ação mecânica é que determina o resultado final. Mas há muitas desvantagens: a eficiência depende da técnica e cuidados do trabalhador, a entrada do operador em tanques leva a novas contaminações, não se recomendando tal prática. De fato, em alguns tipos de indústria e em tanques de grandes dimensões, a limpeza manual mostra-se impraticável. [5]

Nos sistemas não manuais de higienização utilizados nas indústrias foram concebidas outras formas de contato da solução com os equipamentos, tanques e tubulações para realizar a limpeza.

A **limpeza por aspersão** é realizada em sistemas tanto de alta pressão quanto de baixa pressão. Em um sistema de alta pressão, a versão mais usual é o pulverizador manual de alta pressão da solução de limpeza, com aproximadamente 70 bar. As vantagens e desvantagens do método quando realizado manualmente são muito semelhantes às da limpeza com esfregão e escova. Já a limpeza automatizada por alta pressão é realizada por equipamentos com bocais móveis onde o jato é direcionado de tal forma que atinge todas as partes das paredes do tanque. Entretanto, neste caso os bocais móveis estão sujeitos a grande desgaste e necessitam de manutenção frequente. Uma instalação com bocais fixos é em geral inadequada pois, quando a distância é maior até a parede, a pressão pulverizadora é menor, diminuindo o efeito da limpeza. Dependendo do formato do tanque é ainda necessário mudar a posição do mecanismo de pulverização. Devido à alta pressão necessita-se também de bombas em geral dispendiosas. Além de tudo isso, as partículas de sujeira podem danificar as bombas e obstruir os bocais.

Os sistemas de baixa pressão automatizados trabalham com bombas impulsoras e com bocais pulverizadores fixos, estes últimos não estão sujeitos ao desgaste intensivo e trabalham com maior segurança. Dependendo do formato dos tanques são distribuídos vários bocais pulverizadores. Devido à baixa pressão, a água é respingada nas paredes, e os jatos devem



incidir, na medida do possível, verticalmente sobre as paredes do tanque. É ainda imprescindível que a bomba possua um alto rendimento e proporcione fluxo turbulento formando uma camada suficientemente espessa de filme líquido em fase de escoamento (25 -30 litros por minuto e metro de circunferência do recipiente). Quantidades maiores de líquido não agem adequadamente já que a ação mecânica só ocorre em uma camada fina limitante.

Uma melhora nos efeitos de limpeza pode ser obtida por pulverização pulsionada, pois devido às interrupções, o filme líquido possui tempo para escorrer e permite que a energia acumulada do próximo jato incida sobre a parede.

Há ainda uma técnica com jatos direcionados que trabalha com baixa pressão. Neste caso, o fluxo do líquido é menor do que no processo de pulverização fixa, mesmo assim alcança-se um efeito de limpeza maior devido à variação regular de escoamento.

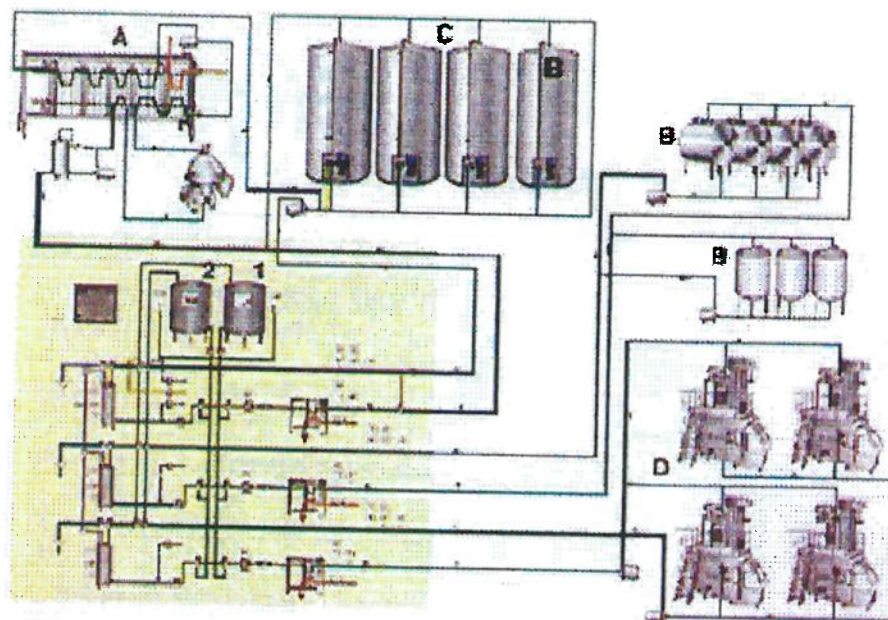
A limpeza de canalizações, válvulas e cotovelos é realizada pelo **escoamento turbulento** das soluções de limpeza. Alguns equipamentos (como pasteurizadores) também são limpos desse modo.

### 2.2.3. Sistema CIP – Cleaning in Place

Apesar de existirem partes nos equipamentos e instalações de *difícil limpeza* nas quais a intervenção manual é ainda indispensável, existem vários casos de operação quase contínua, onde a *automatização do processo de limpeza* pode ser efetiva.

Os sistemas **CIP** realizam a limpeza de tanques além de tubulações e equipamentos, **sem que haja necessidade de desmontá-los**. Com isso, reduz-se o tempo de limpeza (diminuindo o tempo de inatividade da produção), de mão-de-obra, de manipulação dos produtos químicos, bem como o risco de acidentes. Como os contatos manuais são minimizados, erros operacionais são reduzidos. Tais fatores aumentam a confiabilidade nos resultados da operação além da redução do custo total de higienização devido ao consumo otimizado de água, produtos químicos e energia. Adicionalmente, evitar o consumo excessivo dos produtos químicos implica em não comprometer a vida útil dos equipamentos.

Há entretanto, algumas desvantagens como as áreas mortas da instalação (onde não há ação mecânica) onde a eficiência de limpeza é prejudicada. Em caso de mal funcionamento do CIP pode ainda ocorrer interrupção total do processo. Os problemas nestes sistemas em geral são difíceis de serem diagnosticados e sua operação envolve mão-de-obra qualificada na planta. [6] Pode-se observar na figura 2.5 uma instalação CIP centralizada (região dos tanques 1 e 2) que tem a capacidade de limpar até três áreas do processo produtivo simultaneamente (A ou C, B e D).



#### CIP CENTRALIZADO

1- Tanque para detergente alcalino 2- Tanque para detergente ácido

A - Pasteurização do leite B - Tanques de leite past C - Tanques silo leite cru D - Máquinas de envase

Figura 2.5 - Exemplo de um sistema CIP centralizado [1].

### 2.2.4. Utilização do Sistema CIP na Indústria

Nas indústrias alimentícias, de bebidas e farmacêuticas o processo de limpeza CIP é aplicado no processo produtivo de diversos produtos como maionese, chocolate, leite e derivados, vinho, cerveja, suco de frutas, refrigerantes, remédios e cosméticos. O sistema está presente em várias etapas: [2]

- Laticínios: nas carretas, na recepção de leite, na linha de pasteurização, nos tanques de armazenagem, linhas de condensação e secagem de leite, nas máquinas de envase;
- Sucos de frutas: na prensagem de frutas, nos tanques de armazenamento, nos evaporadores, nos tanques de concentração, nos tanques de diluição, nos pasteurizadores, na área de envasamento e enchedoras;
- Refrigerantes: nos tanques de açúcar, nos tanques de água, nos tanques de mistura, no mixer, nos carbonatos, na área de envasamento e enchedoras;
- Adeegas de Vinho: nos tanques de maturação, nos tanques de mistura, no filtro, na área de envasamento e enchedoras;
- Cervejarias: no tratamento do malte, nas adegas de fermento, na adega de maturação, na sala de filtração, na adega de pressão, na área de envasamento e enchedoras;
- Farmacêuticos: nos tanques de preparo de xarope, remédios líquidos e injetáveis.

Apesar das vantagens dos processos automatizados de limpeza e desinfecção, ela ainda não é devidamente explorada no país. Pelos levantamentos realizados, uma área em que o “gap” com as práticas adotadas no exterior se destaca é o setor de laticínios.

### **2.2.5. O Processo CIP na Indústria Láctea**

Um sistema CIP único pode ser utilizado para limpeza das diferentes partes destacadas na figura 2.1, devido às características do resíduo em cada uma delas que envolvem em princípio o mesmo processo de limpeza, necessitando apenas alguns ajustes em relação a concentração, temperatura e tempo de circulação. [2]

O processo está dividido nas seguintes etapas:

#### **A. Pré Enxágüe**

Durante essa etapa é removida a sujidade “grossa”. Geralmente a água utilizada é descartada, dirigindo-se ao dreno após ser circulada nos equipamentos.

#### **B. Circulação com solução alcalina**

Possui a finalidade de remover as películas de sujidade e é responsável por grande parte da limpeza em todo o processo. A solução é recuperada, ajustando sua concentração para uma nova etapa do processo.

#### **C. Enxágüe Intermediário**

A sua principal finalidade é remover os resíduos químicos da solução alcalina. A água de enxágüe utilizada é recuperada, servindo como a solução de pré enxágüe do próximo processo de limpeza (tem a vantagem de já possuir ação detergente).

#### **D. Circulação com solução ácida**

A solução alcalina limpa, mas não tem ação desincrustante nem desinfetante, isto é, não remove as placas de resíduos inorgânico mais resistentes depositadas nos equipamentos, tubulações e tanques e nem microorganismos contaminantes. Esta é a finalidade da solução ácida (com sanitizante). A solução é recuperada após a circulação, e sua concentração é corrigida para ser reutilizada.

#### **E. Enxágüe final**

Remove os resíduos químicos da solução ácida. É realizada para assegurar a inexistência de químicos onde foi realizada a limpeza, possibilitando, assim, a retomada da produção. A água de enxágüe utilizada é descartada.

A contagem do tempo das etapas é realizada somente quando a solução, após ser circulada pelo equipamento que vai ser limpo e passar pelo trocador de calor, atingir a temperatura desejada.



### 2.2.6. Composição Física do Sistema CIP

A Figura 2.6 traz um exemplo de sistema CIP com três tanques.



Figura 2.6 - Sistema CIP fixo [6].

Os principais componentes de um sistema CIP fixo usado em indústrias de laticínios, podem ser identificados na figura 2.8, com suas respectivas descrições. [7]

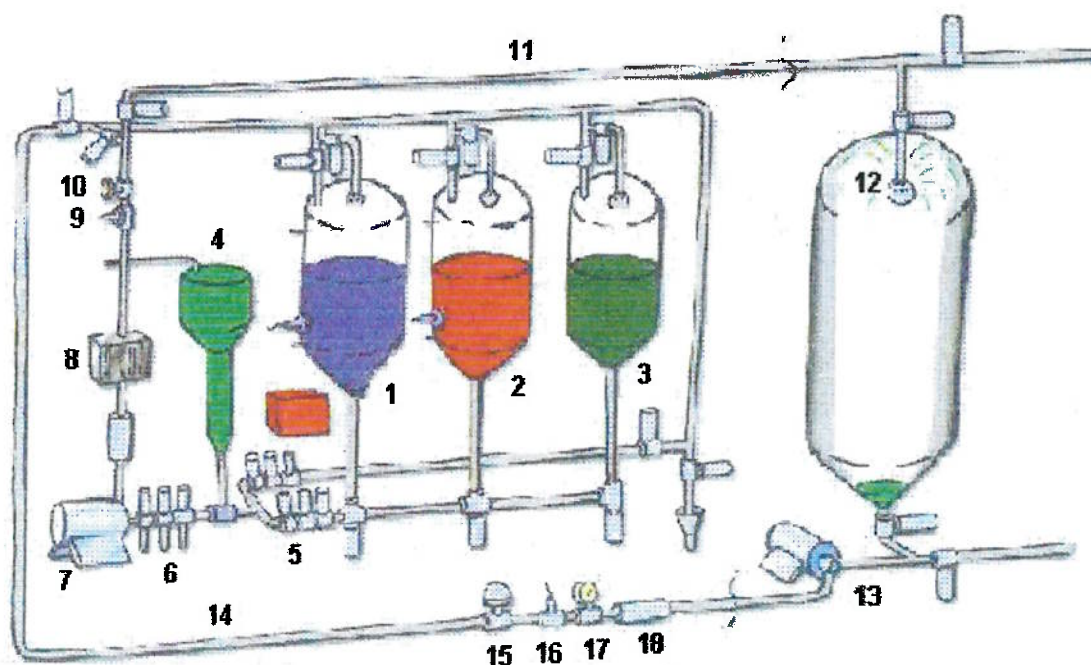


Figura 2.7 - Esquema de sistema CIP fixo [7].

### **1, 2) Tanques de soluções: detergente alcalino ou ácido e sanitizante**

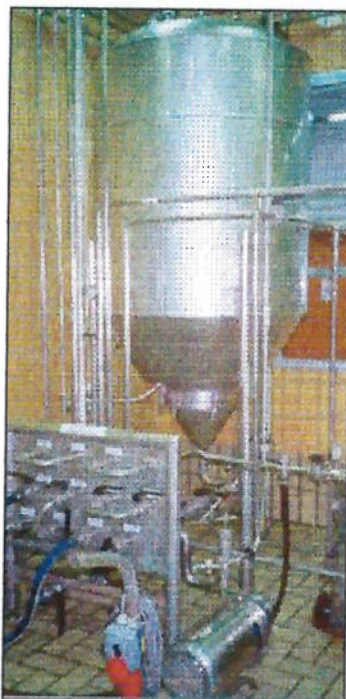
Tanques (Figura 2.8) onde são preparadas as soluções de químicos para os ciclos de limpeza. Os tanques são providos com “sprayballs” (12) que permitem sua autolimpeza; possuem também sensores de nível e válvulas eletro-pneumáticas para o adequado direcionamento das soluções.



**Figura 2.8 - Tanques de soluções [7].**

### **3) Tanque de água recuperada**

Este tanque (Figura 2.9) armazena a água do último enxágüe do processo CIP anterior, que é utilizada como enxágüe inicial no próximo processo CIP. O investimento deste tanque é justificado pela economia de água e melhoria do processo de limpeza, uma vez que esta água possui uma alcalinidade residual que, com função detergente (umectante), melhora os resultados dos processos de limpeza.



**Figura 2.9 - Tanque de água recuperada [7].**

#### 4) Tanque de equilíbrio

Tanque (Figura 2.10) destinado a suprir em determinados momentos a demanda de água, evitando desta forma a cavitação da bomba de avanço. O conceito de tanque em configuração “Static Leg” reduz o consumo de produtos químicos e água, mantendo sempre pressão mínima sobre a bomba.



Figura 2.10 - Tanque de equilíbrio [7].

#### 5) “Manifold”

Conjunto de válvulas (Figura 2.11) controladas manual ou automaticamente, para o correto direcionamento das soluções para os elementos a serem limpos, para os tanques de recuperação ou para o dreno.

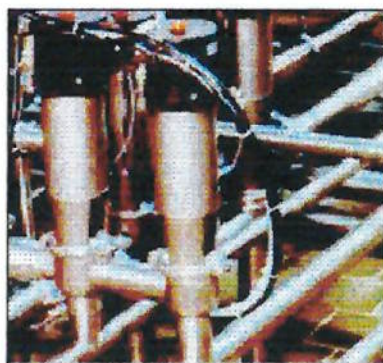


Figura 2.11 - Manifold [7].

#### 6) Injetor de produtos

Tem por finalidade injetar os produtos químicos diretamente na solução de circulação (Figura 2.12).





Figura 2.12 - Injetor de produtos [7].

### 7, 13) Bomba de avanço e retorno

A bomba de avanço (Figura 2.13) é fundamental para a eficiência do processo CIP. O dimensionamento da bomba depende de fatores como:

- Velocidade ideal de circulação da solução exigido pelo sistema (por exemplo: 2 m/s);
- Pressão exigida pelo dispositivo de limpeza (*Sprayball*);
- As perdas de carga características das instalações.

Assim como a bomba de avanço, o correto dimensionamento da bomba de retorno é fundamental para a eficiência do sistema CIP, evitando desta forma o chamado efeito piscina dentro dos tanques a serem limpos.

Preferencialmente [7], a bomba de retorno (13) deve ter uma vazão superior à bomba de avanço (7).

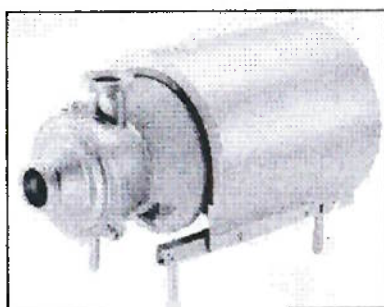
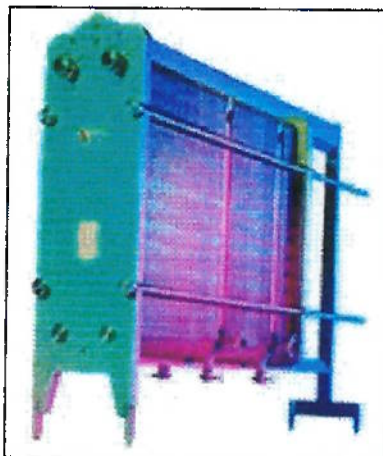


Figura 2.13 - Bomba de Avanço e Retorno [7].

### 8) Trocador de calor

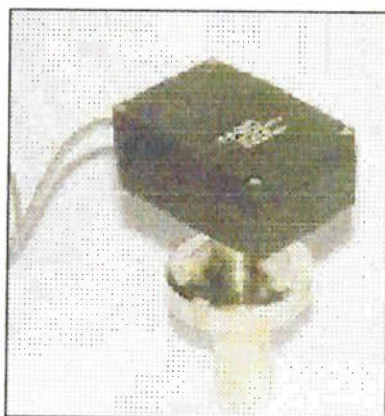
Para melhor eficiência e ação dos químicos, em determinados processos é necessário aquecer e manter aquecida as soluções de limpeza. Isto é realizado com um trocador de calor (Figura 2.14) onde o controle deste aquecimento é efetuado através do sensor e do controlador de temperatura instalado no sistema.



**Figura 2.14 - Trocador de calor [7].**

### **9, 10, 16, 17) Sensores de Condutividade e Temperatura**

As medições da condutividade e da temperatura das soluções (Figura 2.15) são utilizadas para o sistema controlar as concentrações programadas, acionando ou não as bombas dosadoras; e controlar a temperatura das soluções acionando ou não o trocador de calor. Estas ações podem ser feitas automaticamente por um controlador ou manualmente pelo operador.

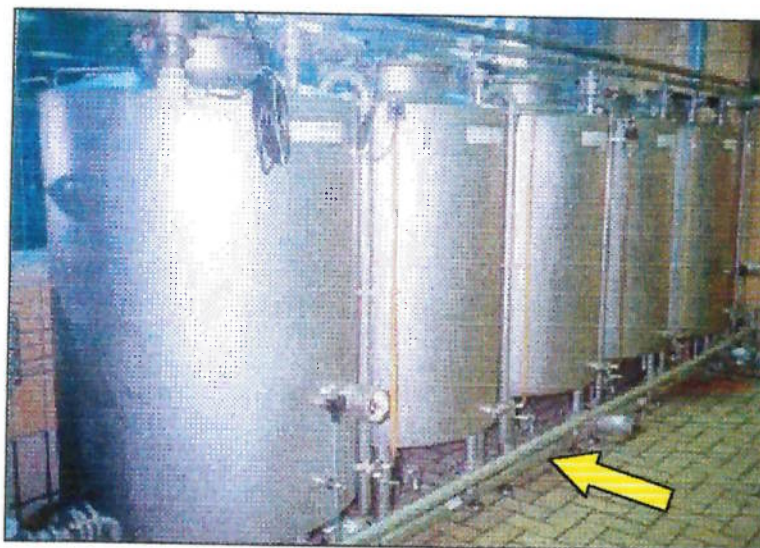


**Figura 2.15 - Sensores de Condutividade e Temperatura [7].**

### **11) Linhas de avanço**

Tubulação (Figura 2.16) para o envio da solução da estação CIP até o equipamento a ser limpo. O diâmetro desta tubulação é previamente calculado, de acordo com as perdas de carga do circuito e a turbulência necessária ao sistema.





**Figura 2.16 - Linhas de avanço [7].**

### **12) *Sprayball***

Dispositivo utilizado para se direcionar o jato nas paredes dos tanques a serem limpos (Figura 2.17). A escolha e a instalação correta do dispositivo é fator fundamental na eficiência da limpeza do tanque.

Cada tipo de “sprayball” leva em consideração a geometria de cada tanque, a característica da sujidade, sua forma de deposição nas paredes do tanque, a vazão recomendada e as características de pressão necessárias à limpeza eficiente do tanque.



**Figura 2.17 - *Sprayball* [7].**

### **14) Linha de retorno**

Tubulação (Figura 2.18) de retorno da solução de produtos para os seus respectivos tanques ou para o dreno. Assim como na linha de avanço, o diâmetro desta tubulação também é calculado de acordo com as características e necessidade do sistema.

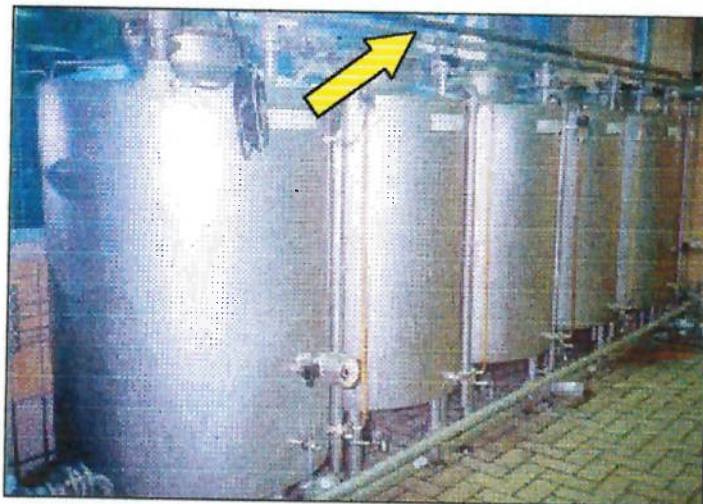


Figura 2.18 - Linha de retorno [7].

### 15) Medidor de vazão

Instrumento (Figura 2.19) que durante o processo monitora e controla a vazão. Seus dados podem ser visualizado em tempo real, através de um supervisório ou algum equipamento dedicado a esta finalidade, como o Shurgraph® (DL).

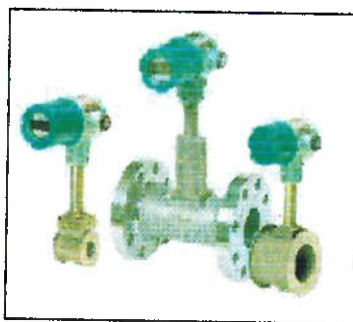


Figura 2.19 - Medidor de vazão [7].

### 18) Válvula moduladora automática

Trabalha em conjunto com sensor de pressão, modulando a vazão de saída do tanque. Recomendado principalmente nas adegas de pressão. Esta válvula (Figura 2.20) evita a perda de CO<sub>2</sub> durante o processo CIP.



Figura 2.20 - Válvula moduladora automática [7].

Além dos equipamentos citados tem-se ainda a placa de distribuição, que é o equipamento que tem como entrada a(s) linha(s) do sistema CIP e de produção. Ela distribui as soluções de limpeza (ou produto a ser processado) para um ou mais equipamentos. Esta placa de distribuição é responsável pela integração do processo de higienização com o processo produtivo da indústria, e é fundamental à automatização total da planta.

### 2.3. Modelagem de Sistemas

Descrever um sistema é uma tarefa que consiste em elaborar um modelo do mesmo, uma abstração que reflete um comportamento aproximado do sistema real. [8]

Segundo os objetivos desejados, a partir de um sistema podem-se construir modelos de diferentes tipos. Assim, um modelo que enumera as partes de um sistema e suas interconexões denomina-se **estrutural**. Já um modelo que descreve como um sistema opera ou funciona denomina-se **funcional**. Em um modelo funcional, especificam-se as reações do sistema (variáveis de saída) frente a eventos ou a acontecimentos que provenham do exterior (variáveis de entrada) (Figura 2.21). Um modelo não é único: diferentes analistas produzem distintos modelos de um mesmo sistema, uma vez que a compreensão do sistema pode ser diferente para cada situação.

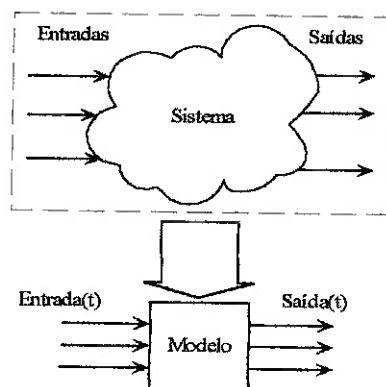


Figura 2.21 - Processo de modelagem simples [9].

#### 2.3.1. Ferramentas para Modelagem de Sistemas

Existem diversas ferramentas para modelar sistemas lógicos sequenciais, tais como:

##### A. Tabela de Estados e Máquina de Estado

Na Tabela de Estados representa-se o sistema global de estados onde são descritas todas as possíveis evoluções do sistema, mesmo os estados não alcançáveis. Trata-se, portanto, de um método exaustivo, que se torna impraticável quando o número de variáveis de entrada é elevado.

A Máquina de Estado é a representação gráfica da tabela de estados (Figura 2.22). [8]

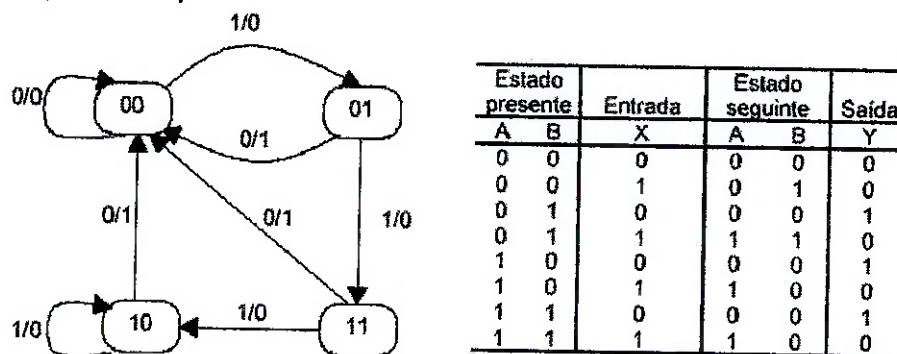


Figura 2.22 - Máquina de Estados e Tabela de Estados [10].

### A. Grafos Reduzidos

Os Grafos Reduzidos são uma representação gráfica onde também se descreve o sistema global de estados, mas neste caso, somente os estados alcançáveis são apresentados. Contudo esse método é pouco flexível o que o torna ineficiente quando se necessita fazer modificações locais. Além disso, evoluções que podem ocorrer em paralelo e/ou simultaneamente conduzem a descrições complexas (envolvendo um grande número de estados). O método também não permite uma descrição gradual (por partes) do sistema (por refinamentos sucessivos, *top-down*) (Figura 2.23). [8]

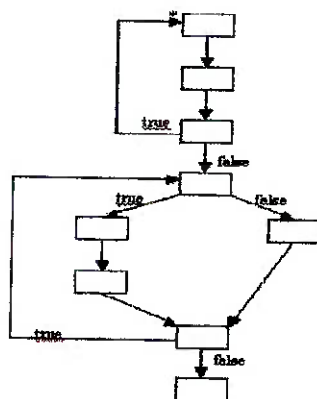


Figura 2.23 - Exemplo de Grafo Reduzido [11].

Para evitar ou diminuir esses inconvenientes foi proposta a *Rede de Petri*, que se destaca como uma ferramenta apropriada para a modelagem de um sistema com as características do Sistema de Higienização de Tanques.

### B. Redes de Petri

O conceito de Redes de Petri (RdP) foi introduzido por Carl Adam Petri. Ela é uma ferramenta matemática e gráfica que oferece um ambiente uniforme para modelagem, análise e projeto de SED (Sistema a Eventos Discretos). Como uma ferramenta matemática, um modelo em RdP pode ser descrito por um sistema de equações lineares, ou outros modelos matemáticos que refletem o comportamento do sistema, o qual possibilita a análise formal do mesmo. Esta

característica permite realizar a verificação formal das propriedades comportamentais do sistema. [12]

Características da RdP:

- Representa a dinâmica e a estrutura do sistema segundo o nível de detalhamento desejado;
- Identifica estados e ações de modo claro e explícito, facilitando a monitoração do sistema em tempo real;
- Tem a capacidade para representar de forma natural as características dos SED (sincronização, paralelismo, conflito e compartilhamento de recursos);
- Associa elementos de diferentes significados numa mesma representação, ou segundo o propósito do modelo (avaliação de desempenho, implementação do controle).

Os elementos estruturais das RdP são:

- *Transições*: correspondem aos eventos que causam a mudança de estado do sistema;
- *Lugares*: representam condições que podem estar associadas ao modo de operação ou à disponibilidade de um recurso;
- *Arcos Orientados*: estabelecem relações causais entre os eventos e as condições e vice-versa;
- *Portas*: habilitam ou inibem a ocorrência dos eventos correspondentes às *transições*.

A *porta habilitadora* é aquela que capacita a *transição* à qual está conectada quando o sinal de origem for equivalente ao valor binário '1'. A *porta inibidora* não permite a ocorrência da *transição* à qual está conectada quando o sinal de origem for equivalente ao valor binário '0'. A existência de uma *marca* num *lugar* equivale ao valor binário '1', e o '0' equivale à ausência desta *marca*.

- *Marca*: indica a manutenção de condições.

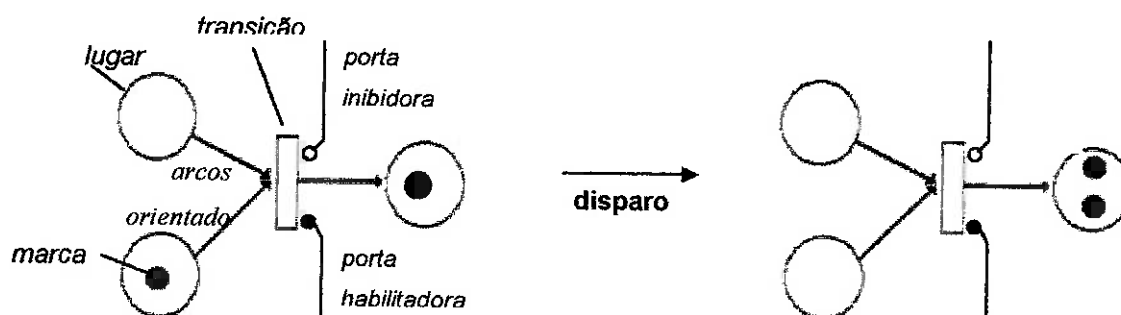


Figura 2.24 - Exemplo de RdP antes e após disparo da transição.



### 2.3.2. Técnicas de Implementação de Estratégias de Controle

Existem diferentes formas de descrição do procedimento de controle de sistemas a eventos discretos (SED), reflexo de que as várias funções do controle de SED podem ser representadas através de diferentes formas. Considerando-se o caso do CP (Controlador Programável) como dispositivo de controle, a linguagem de controle de SED, isto é, a linguagem de programação, de acordo com o padrão do IEC (*International Electrotechnical Committee*) pode ser classificada de acordo com a Tabela 2.1. [13]

Tabela 2.1 - Classificação das linguagens de programação [13]

| TIPO      | LINGUAGEM                    | CARACTERÍSTICA |           |                   |
|-----------|------------------------------|----------------|-----------|-------------------|
|           |                              | LÓGICA         | ORDENAÇÃO | FUNÇÕES COMPLEXAS |
| Textuais  | Álgebra de Boole             |                |           |                   |
|           | IL (Instruction List)        |                |           |                   |
|           | ST (Structured Text)         |                |           |                   |
| Gráficas  | LD (Ladder Diagram)          |                |           |                   |
|           | FBD (Function Block Diagram) |                |           |                   |
|           | Fluxograma                   |                |           |                   |
|           | SFC (Sequential Flow Chart)  |                |           |                   |
| Tabulares | Tabela de Decisão            |                |           |                   |

Mesmo quando o CP possuir apenas o recurso de programação em LD, a rede de Petri ainda é fundamental pois deve ser utilizada para modelar e analisar o sistema de controle.

### 2.4. Simulação de sistemas

O modelo de um sistema é fundamental para a sua análise. No caso de sistemas de automação isto é ainda mais evidente pois a estratégia de controle deve ser avaliada, em princípio, sob todas as situações operacionais. Evidentemente, neste contexto a análise formal tem seu papel entretanto, em função das diferentes funcionalidades que devem ser consideradas, as técnicas de simulação têm um papel de destaque.

A simulação de um sistema para diversas entradas (situações) é fundamental para verificar as estratégias de controle e o comportamento resultante do sistema. Vamos inicialmente dar uma definição para simulação. [14]

Desde o fim dos anos 60, muitos estudiosos deram suas definições de simulação. Eles descreviam a simulação como uma 'arte' para desenvolver modelos a fim de representar sistemas reais ou hipotéticos. Simulação também foi considerada uma técnica ou um conjunto de técnicas onde um modelo ajuda alguém a entender o comportamento de um sistema, real ou hipotético.

Hoje se considera uma definição mais objetiva: simulação é a imitação da operação de um processo do mundo real ou de um sistema ao longo do tempo. Seja feito à mão ou num computador, a simulação envolve a criação de uma 'história artificial' de um sistema, e a observação desta história artificial infere nas características de operação do sistema real.

#### 2.4.1. HPSim

O HPSim é um software para simulação de redes de Petri que apresenta uma interface intuitiva de fácil utilização. Entre suas vantagens está a possibilidade do acompanhamento da evolução do estado da rede de uma forma gráfica, o que auxilia no desenvolvimento do modelo e na detecção de erros. Ele permite ainda a gravação do resultado da simulação e seu posterior tratamento em softwares como o Microsoft® Excel, uma característica essencial para a análise do sistema modelado. [15]

Além do modelo básico de redes de Petri (Petri Lugar/Transição), ele permite ainda a simulação de redes de Petri Temporais e redes de Petri Estocásticas.

A diferença entre os três tipos de rede de Petri está nas *transições*. Nas redes de Petri Lugar/Transição, as *transições* são instantâneas e são disparadas assim que estiverem habilitadas, de acordo com a política de disparo do HPSim.

Nas redes de Petri temporais associa-se um intervalo de tempo a cada *transição*. Uma vez que a *transição* está habilitada deve-se aguardar este intervalo de tempo e em seguida ocorre o disparo. Se durante este intervalo ocorrer um evento que desabilite a *transição*, então o disparo não ocorre e, quando a *transição* se tornar novamente habilitada, inicia-se uma nova contagem do tempo.

Nas redes de Petri Estocásticas, o tempo associado a cada *transição* não é fixo, mas obedece a uma distribuição probabilística. O simulador HPSim permite a utilização de dois tipos de distribuição: exponencial e uniforme.

A distribuição exponencial é definida pela taxa média de disparo. O tempo médio de disparo de uma *transição* após a sua habilitação é então  $\mu = 1/\bar{e}$ .

A distribuição uniforme é definida por um limite inferior e um limite superior para o tempo de disparo da *transição*.

### 3. Projeto do sistema de controle de um CIP

O sistema de limpeza e desinfecção de tanques modelado *funcionalmente* é **dinâmico, não-linear, invariante no tempo**, de **Estado Discreto**, dirigido pelo **Tempo** e por **Eventos (Determinístico)**.

Após se apresentar a metodologia, um estudo de caso é utilizado para aplicar a teoria desenvolvida no projeto do sistema de controle de um CIP.

#### 3.1. Metodologia

A metodologia utilizada para orientar o projeto do sistema de controle de um CIP é uma adaptação simplificada da sugerida em. [13]

Primeiramente, define-se o ciclo de higienização para se ter uma visão geral do processo de limpeza e desinfecção.

Logo depois, é esboçada a planta do sistema visando estudar funcionalmente o ciclo de higienização proposto, e identificar o objeto (a própria planta) e os dispositivos (válvulas e bombas, entre outros) de controle.

A fim de se estudar a sequência a as variáveis (tempo e dispositivos) em cada etapa do ciclo de higienização é necessário à descrição do processo, assim desenvolve-se o fluxograma do processo com seu detalhamento.

Conhecendo-se o processo passo a passo modela-se o mesmo em redes de Petri para estudar as estratégias de controle, avaliar seu desempenho e auxiliar sua implementação de controle.

Implementa-se então o controle em LD.

A Figura 3.1 ilustra a sequência das etapas do projeto.

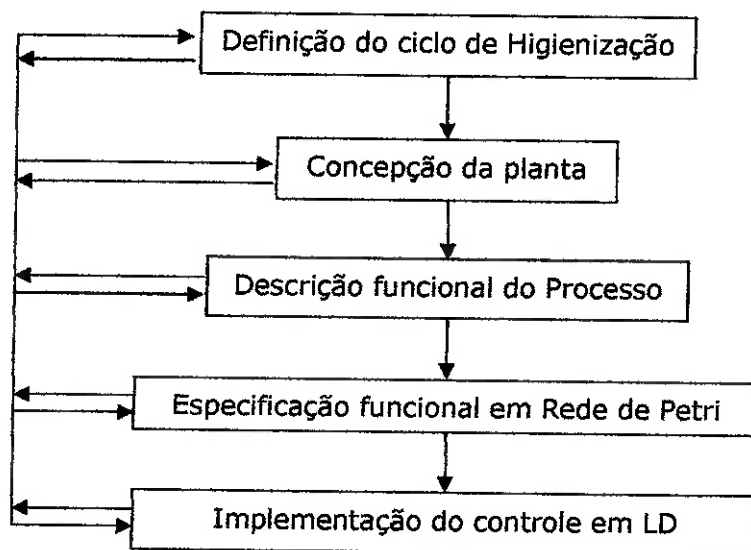


Figura 3.1 - Metodologia empregada.



### 3.2. Estudo de Caso

Foram levantadas algumas informações em uma indústria de laticínios de grande porte, onde se processam leites tipo C e UHT, creme de leite e leite condensado, entre outros, para o embasamento do estudo de caso. [2]

Como sistema considera-se o sistema CIP e um tanque (silo) a ser limpo representando a etapa de armazenamento do leite cru na indústria de laticínios.

#### 3.2.1. Ciclo de Higienização

Segue na Figura 3.2 a definição do ciclo de higienização. [2]

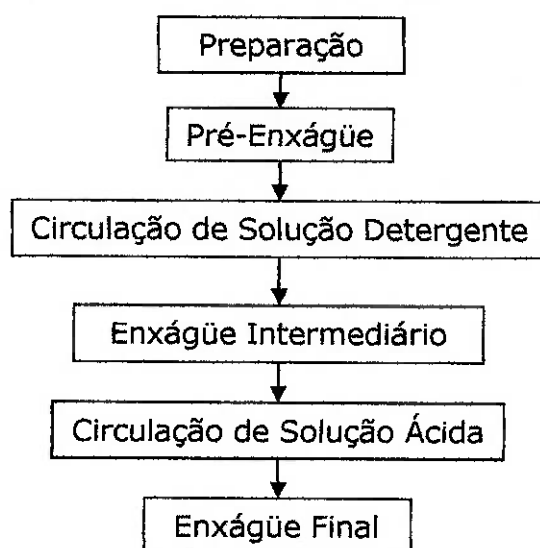


Figura 3.2 - Ciclo de Higienização.

#### 3.2.2. Planta

O processo de limpeza considerado neste caso é semi-automático, assim, o conjunto de válvulas, o trocador de calor e as bombas de avanço e de retorno são acionados manualmente; o controle de tempo também é feito manualmente. Considera-se que existem sensores de nível e temperatura, para auxiliar o controle do operador.

Para automatizar o processo é considerado também um sensor de condutividade (controle de concentração), além de atuadores para o acionamento das válvulas, das bombas e do trocador de calor; os outros sensores podem se comunicar com CLP, que deve executar o controle de tempo, temperatura, nível e concentração.

#### **Características da instalação CIP automatizada:**

- 1 Tanque de água recuperada: 10.000 litros
- 1 Tanque de solução detergente: 10.000 litros
- 1 Tanque de solução ácida: 10.000 litros

- 1 Trocador de calor
- 2 Equipamentos (bombas) dosadores de produtos
- 14 Válvulas
- 1 Bomba de avanço
- 1 Bomba de retorno
- 2 Sensores de nível para cada tanque do CIP
- 1 Sensor de temperatura (na linha do CIP)
- 1 Sensor de concentração (condutividade)

### **A. Definições**

Objeto de Controle:

- Tanques e linhas do sistema CIP e tanque e linhas da planta industrial.

Dispositivos de Controle:

- Elementos de Atuação: 14 válvulas solenóides, 2 bombas e 1 trocador de calor.
- Elementos de Detecção: 6 sensores de nível, 1 sensor de temperatura e 1 sensor de condutividade.

### **B. Modelo esquemático do sistema**

Na figura 3.3 encontra-se a concepção da planta do sistema em estudo.

Representa-se à esquerda o sistema CIP, e à direita o tanque de armazenamento de leite. A linha de envio de solução de limpeza (ou água) para o tanque a ser limpo encontra-se abaixo dos tanques, e a linha de retorno da solução de limpeza (ou água) ao CIP está acima dos tanques. Há ainda uma linha de alimentação de água para os tanques do sistema CIP e também para a linha de avanço.

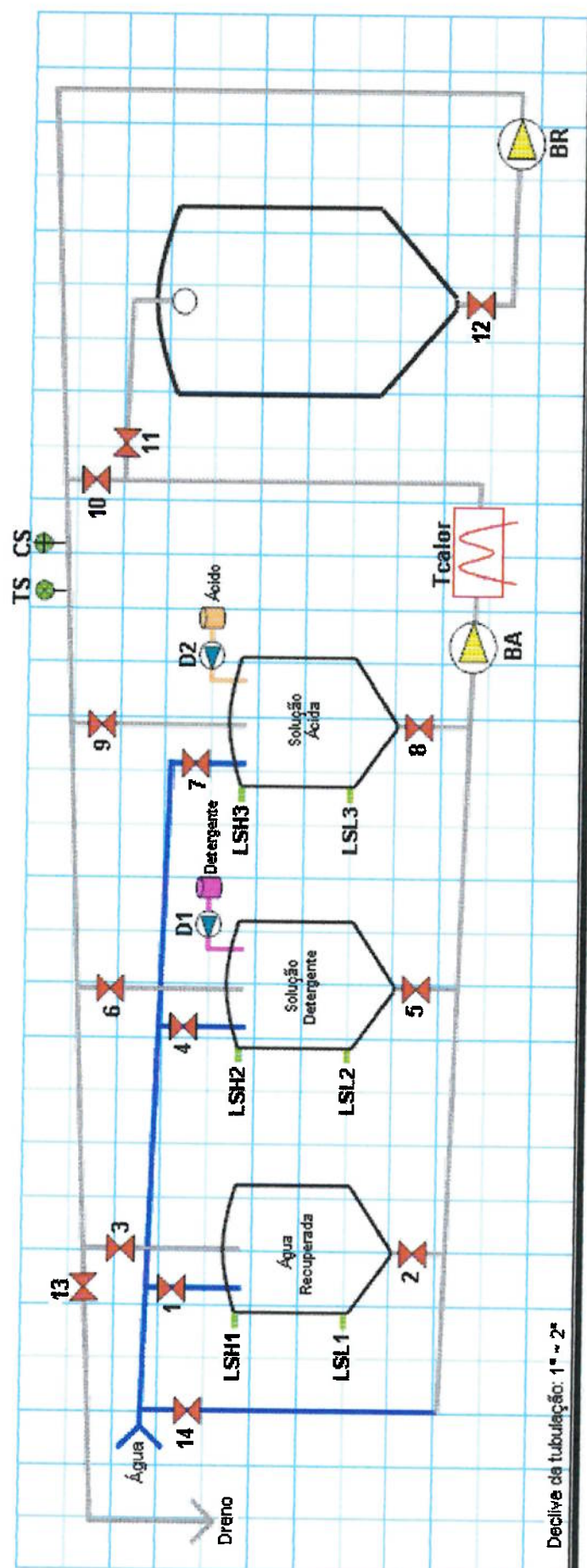


Figura 3.3 - Planta do sistema.

### 3.2.3. Descrição do Processo

A seguir o processo é apresentado passo a passo.

#### A. Identificação das variáveis

Lista das variáveis consideradas:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{pe} = \text{tempo de pré- enxágue} \\ T_{det} = \text{temperatura da solução detergente} \\ t_{det} = \text{tempo de circulação da solução detergente} \\ c_{det} = \text{concentração da solução detergente} \\ t_{ei} = \text{tempo de enxágue intermediário} \\ \left\{ \begin{array}{l} t_{dac} = \text{tempo de dosagem de ácido} \\ T_{ac} = \text{temperatura da solução ácida} \\ t_{ac} = \text{tempo de circulação da solução ácida} \end{array} \right. \\ t_{ef} = \text{tempo de enxágue final} \end{array} \right.$$

Os estados dos dispositivos de detecção e atuação estão listados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Legenda dos equipamentos

| Abreviação                          | Dispositivos   | Estado   |
|-------------------------------------|--|--|
| V                                   | Válvula  | 1 – aberta<br>0 – fechada  |
| BA<br>BR<br>D<br>T <sub>calor</sub> | Bomba de Avanço<br>Bomba de Retorno<br>Bomba Dosadora<br>Trocador de Calor | 1 – ligada<br>0 – desligada  |
| LSH<br>LSL                          | Sensor de Nível Alto<br>Sensor de Nível Baixo                              | 1 – ativado (nível acima do sensor)<br>0 – desativado (nível abaixo do sensor) |
| TS<br>CS                            | Medidor de Temperatura<br>Medidor de Concentração                          |  |

#### B. Processo

A seguir são apresentados os fluxogramas das seis etapas do ciclo de higienização, com as respectivas descrições.

##### Etapa 1 - Preparação dos Tanques

Esta etapa apenas completa com água o tanque de água recuperada, o tanque de solução detergente e o tanque de solução ácida (Figura 3.4).

Sequência de controle:

0. Todas as válvulas e bombas encontram-se fechadas e desligadas, respectivamente.
1. Verifica-se, através do sensor LSH<sub>1</sub>, se o nível do tanque de água recuperada se encontra abaixo do limite superior.

2. Se / Enquanto sim ( $LSH_1 = 0$ ), a válvula 1 é aberta ( $V_1 = 1$ ).
3. Se / Quando não ( $LSH_1 = 1$ ), a válvula 1 é fechada ( $V_1 = 0$ ).
4. Paralelamente, verifica-se através do sensor  $LSH_2$ , se o nível do tanque de solução detergente se encontra abaixo do limite superior.
5. Se / Enquanto sim ( $LSH_2 = 0$ ), a válvula 4 é aberta ( $V_4 = 1$ ).
6. Se / Quando não ( $LSH_2 = 1$ ), a válvula 4 é fechada ( $V_4 = 0$ ).
7. Paralelamente, verifica-se através do sensor  $LSH_3$ , se o nível do tanque de solução ácida se encontra abaixo do limite superior.
8. Se / Enquanto sim ( $LSH_3 = 0$ ), a válvula 7 é aberta ( $V_7 = 1$ ).
9. Se / Quando não ( $LSH_3 = 1$ ), a válvula 7 é fechada ( $V_7 = 0$ ).

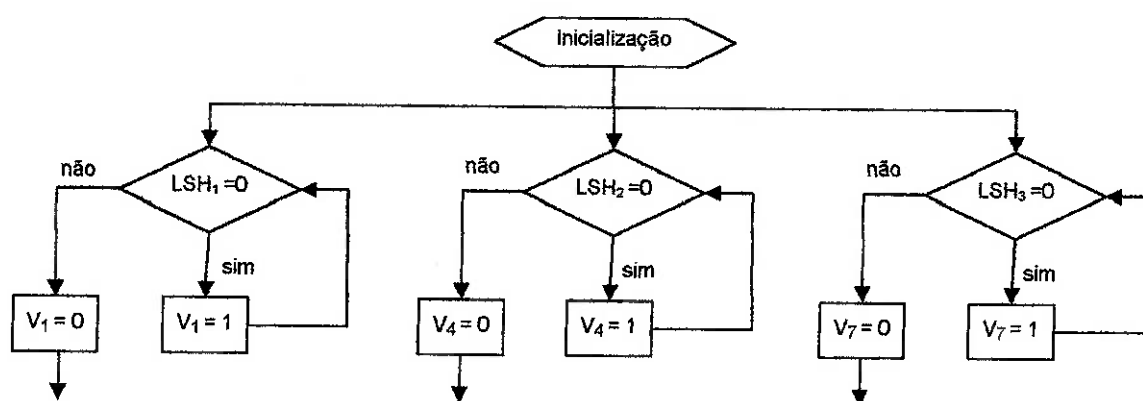


Figura 3.4 - Fluxograma da 1ª. etapa do ciclo de higienização

## Etapa 2 - Pré-Enxágüe

A circulação de água é feita por toda a planta durante o tempo de pré-enxágüe  $t_{pe}$  (Figura 3.5). Esta água é recuperada do processo anterior de enxágüe intermediário, portanto já contém uma certa concentração de detergente. Nesta etapa, macro-resíduos são removidos, o que torna as etapas seguintes de higienização com soluções mais eficientes. A água é descartada ao fim do processo.

Seqüência de controle:

0. Todas as válvulas e bombas encontram-se fechadas e desligadas, respectivamente.
1. As válvulas 2, 3, 11 e 12 são abertas ( $V_2, V_3, V_{11}, V_{12} = 1$ ) e as bombas de avanço e de retorno são ligadas ( $BA, BR = 1$ ).
2. Espera-se até que o tempo  $t_{pe}$  seja atingido.
3. A válvula 3 é fechada ( $V_3 = 0$ ) e a válvula 13 é aberta ( $V_{13} = 1$ ).
4. Espera-se até que o nível do tanque de água recuperada se encontre abaixo do limite inferior ( $LSL_1 = 0$ ).

5. As válvulas 2, 11, 12 e 13 são fechadas ( $V_2, V_{11}, V_{12}, V_{13} = 0$ ) e as bombas de avanço e de retorno são desligadas ( $BA, BR = 0$ ).

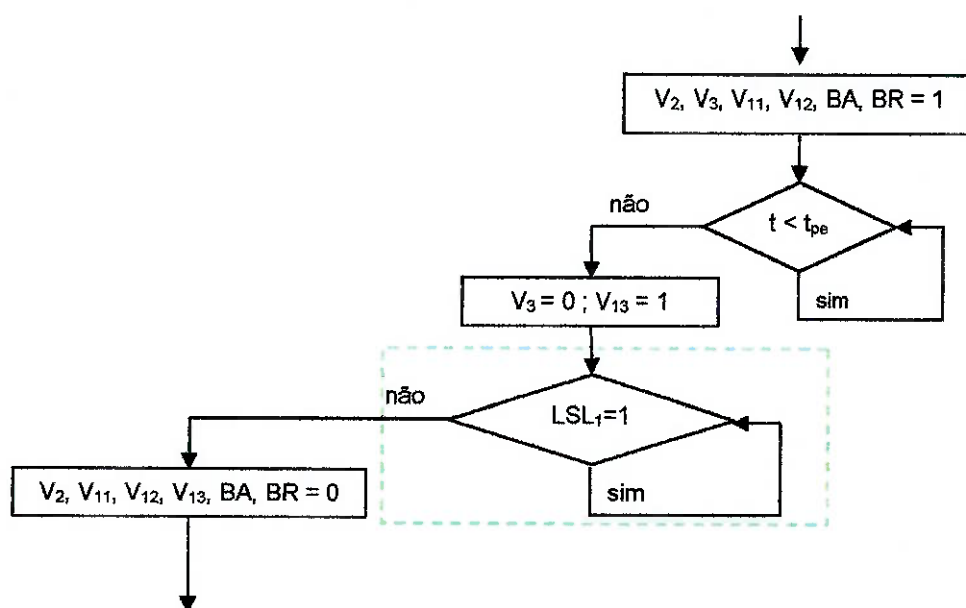


Figura 3.5 - Fluxograma da 2ª. etapa do ciclo de higienização

### Etapa 3 - Circulação de Solução Detergente

Inicialmente uma pequena circulação de detergente é feita para a correção da concentração para  $C_{det}$  e da temperatura para  $T_{det}$ . Em seguida a solução é posta para circular por toda a planta, tendo sua temperatura novamente corrigida. A contagem de tempo é iniciada, e a solução circula até atingir o instante  $t_{det}$  (Figura 3.6).

Seqüência de controle:

0. Todas as válvulas e bombas encontram-se fechadas e desligadas, respectivamente.
1. As válvulas 5, 6, e 10 são abertas ( $V_5, V_6, V_{10} = 1$ ) e a bomba de avanço é ligada ( $BA = 1$ ).
2. Verifica-se, através do sensor CS, se a concentração da solução de detergente se encontra abaixo do valor  $C_{det}$ .
3. Se / Enquanto sim ( $CS < C_{det}$ ), o dosador 1 é ligado ( $D_1 = 1$ ).
4. Se / Quando não ( $CS \geq C_{det}$ ), o dosador 1 é desligado ( $D_1 = 0$ ).
5. Paralelamente, o trocador de calor é ligado ( $T_{calor} = 1$ ) e aguarda-se até que a temperatura da solução de detergente atinja o valor  $T_{det}$  ( $TS \geq T_{det}$ ).
6. A válvula 10 é fechada ( $V_{10} = 0$ ), as válvulas 11 e 12 são abertas ( $V_{11}, V_{12} = 1$ ) e a bomba de retorno é ligada ( $BR = 1$ ).
7. Aguarda-se novamente até que a temperatura da solução de detergente atinja o valor  $T_{det}$  ( $TS \geq T_{det}$ ).
8. O trocador de calor é desligado ( $T_{calor} = 0$ ).
9. Espera-se até que o tempo  $t_{det}$  seja atingido.

10. As válvulas 5, 6, 11 e 12 são fechadas ( $V_5, V_6, V_{11}, V_{12} = 0$ ) e as bombas de avanço e de retorno são desligadas ( $BA, BR = 0$ ).

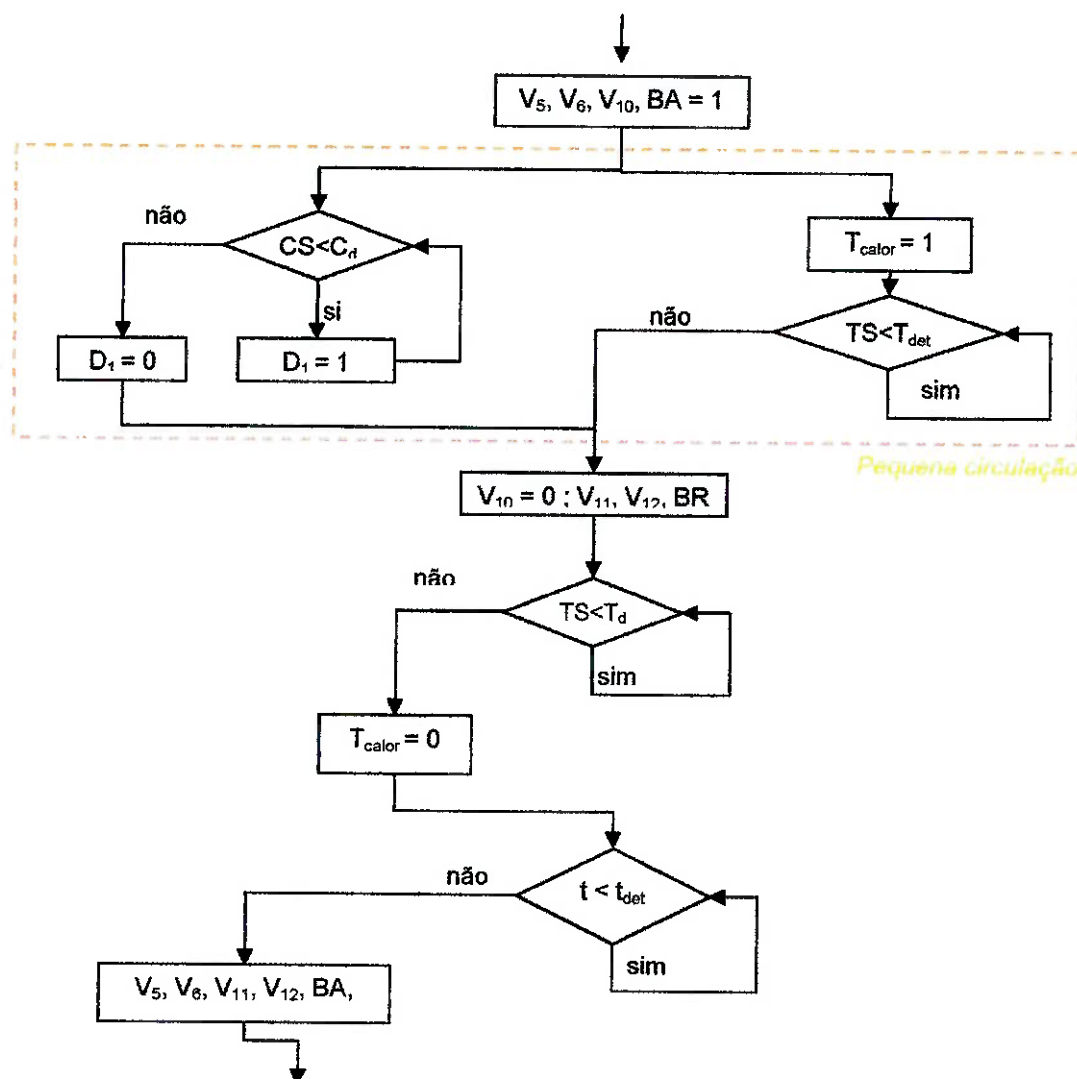


Figura 3.6 - Fluxograma da 3ª. etapa do ciclo de higienização

#### Etapa 4 - Enxágüe Intermediário

O tanque de água recuperada, vazio após o pré-enxágüe, tem seu nível completado. A água circula pela planta durante o tempo de enxágüe intermediário  $t_{ei}$ , ficando armazenada ao fim do processo para o pré-enxágüe do ciclo seguinte (Figura 3.7).

Seqüência de controle:

0. Todas as válvulas e bombas encontram-se fechadas e desligadas, respectivamente.
1. Verifica-se, através do sensor  $LSH_1$ , se o nível do tanque de água recuperada se encontra abaixo do limite superior.
2. Se / Enquanto sim ( $LSH_1 = 0$ ), a válvula 1 é aberta ( $V_1 = 1$ ).
3. Se / Quando não ( $LSH_1 = 1$ ), a válvula 1 é fechada ( $V_1 = 0$ ).

4. As válvulas 2, 3, 11 e 12 são abertas ( $V_2, V_3, V_{11}, V_{12} = 1$ ) e as bombas de avanço e de retorno são ligadas ( $BA, BR = 1$ ).
5. Espera-se até que o tempo  $t_{ei}$  seja atingido.
6. As válvulas 2, 3, 11 e 12 são fechadas ( $V_2, V_3, V_{11}, V_{12} = 0$ ) e as bombas de avanço e de retorno são desligadas ( $BA, BR = 0$ ).

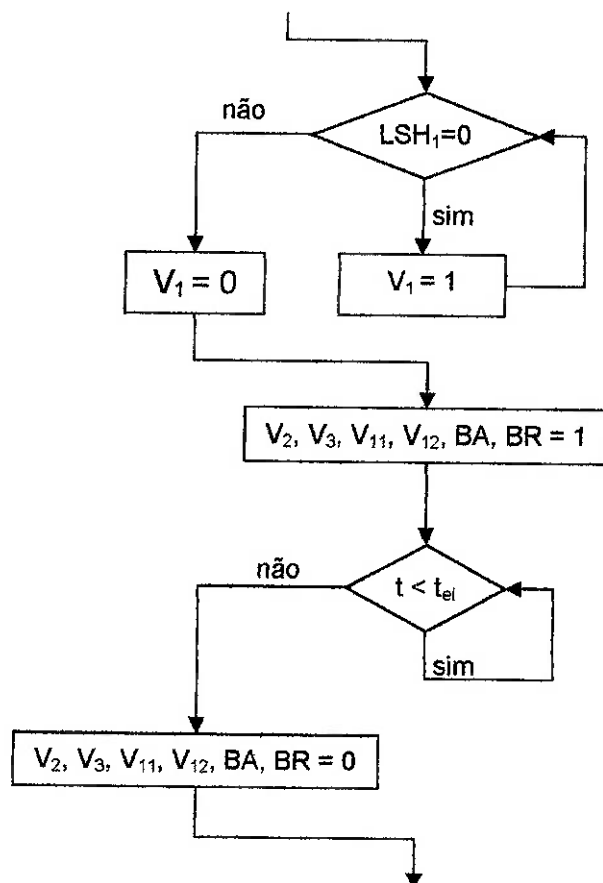


Figura 3.7 - Fluxograma da 4ª. etapa do ciclo de higienização

### Etapa 5 - Circulação de Solução Ácida

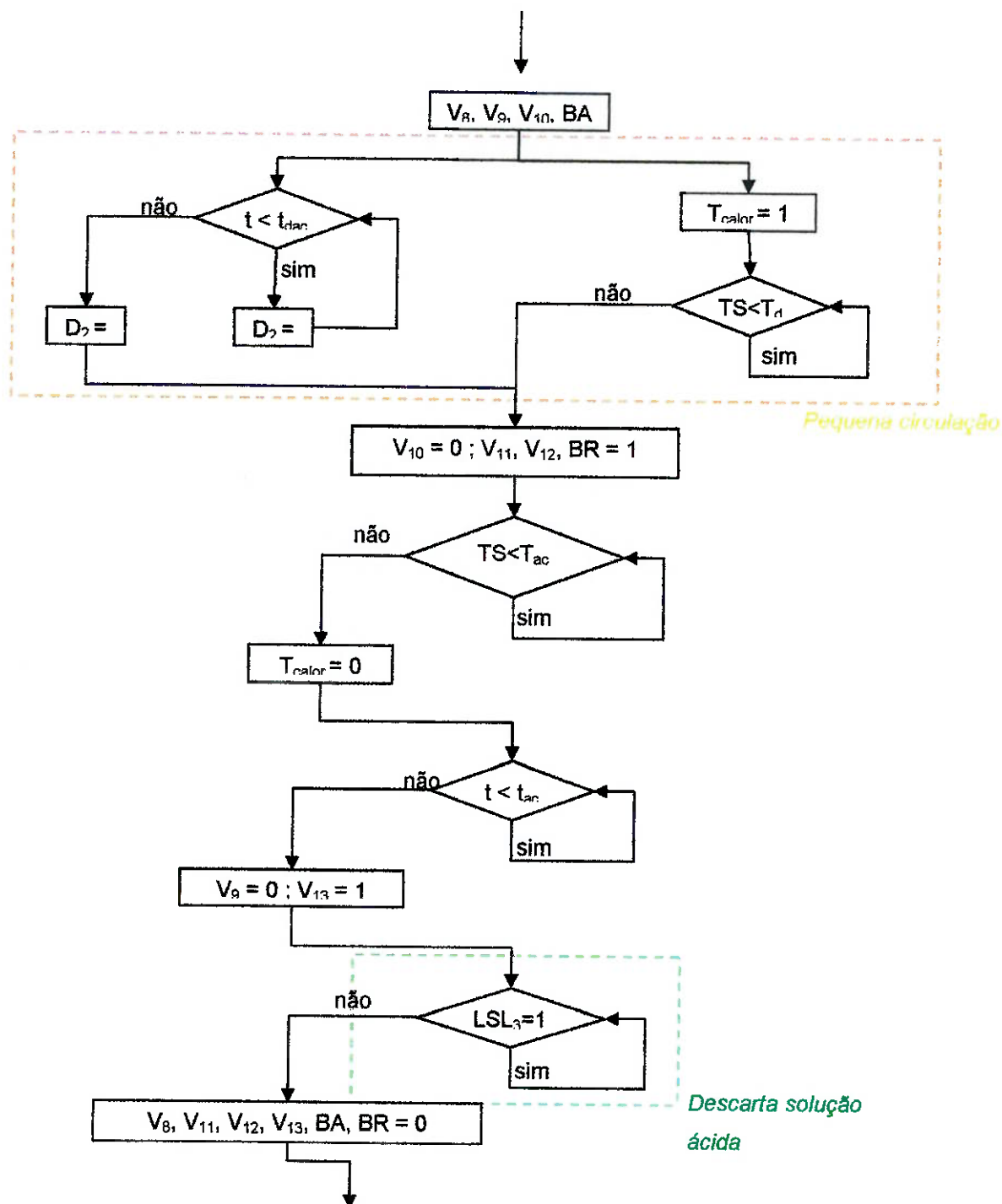
Inicialmente uma pequena circulação da solução ácida é feita para a correção da temperatura para  $T_{ac}$  e da concentração (através do tempo de dosagem  $t_{dac}$ , obtido das relações entre concentração desejada, volume do tanque e vazão da bomba dosadora ( $Q=1l/s$ ) (Figura 3.8). Em seguida a solução é posta para circular por toda a planta, tendo sua temperatura novamente corrigida. A contagem de tempo é iniciada, e a solução circula até atingir o instante  $t_{ac}$ . A solução é então descartada.

Seqüência de controle:

0. Todas as válvulas e bombas encontram-se fechadas e desligadas, respectivamente.
1. As válvulas 8, 9, e 10 são abertas ( $V_8, V_9, V_{10} = 1$ ) e a bomba de avanço é ligada ( $BA = 1$ ).
2. Verifica-se se a contagem do tempo se encontra abaixo do tempo de dosagem  $t_{dac}$ .
3. Se / Enquanto sim ( $t < t_{dac}$ ), o dosador 2 é ligado ( $D_2 = 1$ ).



4. Se / Quando não ( $t \geq t_{dac}$ ), o dosador 2 é desligado ( $D_2 = 0$ ).
5. Paralelamente, o trocador de calor é ligado ( $T_{calor} = 1$ ) e aguarda-se até que a temperatura da solução ácida atinja o valor  $T_{ac}$  ( $TS \geq T_{ac}$ ).
6. A válvula 10 é fechada ( $V_{10} = 0$ ), as válvulas 11 e 12 são abertas ( $V_{11}, V_{12} = 1$ ) e a bomba de retorno é ligada ( $BR = 1$ ).
7. Aguarda-se novamente até que a temperatura da solução de detergente atinja o valor  $T_{ac}$  ( $TS \geq T_{ac}$ ).
8. O trocador de calor é desligado ( $T_{calor} = 0$ ).
9. Espera-se até que o tempo  $t_{ac}$  seja atingido.
10. A válvula 9 é fechada ( $V_9 = 0$ ) e a válvula 13 é aberta ( $V_{13} = 1$ ).
11. Espera-se até que o nível do tanque de solução ácida se encontre abaixo do limite inferior ( $LSL_3 = 0$ ).
12. As válvulas 8, 11, 12 e 13 são fechadas ( $V_8, V_{11}, V_{12}, V_{13} = 0$ ) e as bombas de avanço e de retorno são desligadas ( $BA, BR = 0$ ).



**Figura 3.8 - Fluxograma da 5ª. etapa do ciclo de higienização**

## Etapa 6 – Enxágüe Final

A circulação de água é feita por toda a planta durante o tempo de enxágüe final  $t_{ef}$  (Figura 3.9). Esta água vem diretamente da linha (não passa por nenhum tanque) e é imediatamente descartada.

**Seqüência de controle:**

0. Todas as válvulas e bombas encontram-se fechadas e desligadas, respectivamente.

1. As válvulas 11, 12, 13 e 14 são abertas ( $V_{11}, V_{12}, V_{13}, V_{14} = 1$ ) e as bombas de avanço e de retorno são ligadas ( $BA, BR = 1$ ).
2. Espera-se até que o tempo  $t_{er}$  seja atingido.
3. As válvulas 11, 12, 13 e 14 são fechadas ( $V_{11}, V_{12}, V_{13}, V_{14} = 0$ ) e as bombas de avanço e de retorno são desligadas ( $BA, BR = 0$ ).

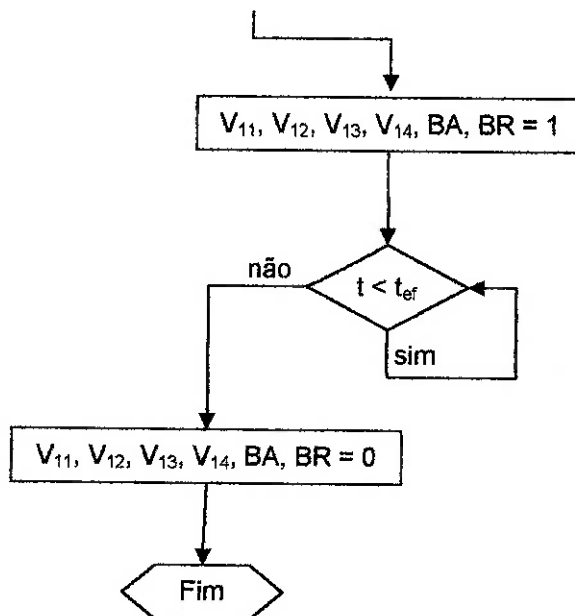


Figura 3.9 - Fluxograma da 6ª. etapa do ciclo de higienização

### 3.2.4. Redes de Petri

Com base na definição dos processos envolvidos é desenvolvida a rede de Petri do sistema. No presente estudo de caso a rede foi editada e simulada no software HPSim.

#### A. Simplificações

- Etapas particulares, como o descarte da solução detergente que ocorre cerca de duas vezes ao mês na indústria, não são apresentados.
- As válvulas, as bombas, o trocador de calor e os sensores são modelados como dispositivos ON/OFF.
- Para simulação da ativação dos sensores (LSL, LSH, CSC e TS) são estipulados tempos individuais para o disparo das transições.
- Os tempos de circulação tem como base dados de uma planta real.
- Para otimizar o tempo total de simulação os tempos de ativação de cada sensor e de cada etapa de circulação são reduzidos proporcionalmente ao tempo total de circulação estipulado.

## **B. Intertravamentos**

Os intertravamentos considerados são:

- Intertravamento de Partida:
  - Todas as válvulas e bombas devem estar fechadas e desligadas, respectivamente.
- Intertravamento de Funcionamento:
  - O processo produtivo deve estar parado durante todo o procedimento de limpeza.
- Intertravamento de sequência:
  - Existe uma ordem lógica para abrir e fechar as válvulas e ligar e desligar bombas a fim de evitar problemas, como a bomba operar em vazio e aumento de pressão na linha.
- Intertravamento de processo:
  - A cada transição no modelo em rede de Petri essas condições podem ser observadas.

## **C. Modelo em Rede de Petri**

O modelo encontra-se na Figura 3.10.

Na rede, o processo de higienização apresenta-se separado do controle dos dispositivos, a fim de apresentar as interconexões de válvulas e sensores com o processo; assim, após cada transição do processo, pode-se verificar o estado dos dispositivos.

Há um dispositivo ON/OFF em destaque que mostra o estado do processo de higienização (“ON” - funcionando; “OFF” - parado).

O processo encontra-se no centro e é destacado representando cada etapa do processo de higienização. A sequência da operação é apresentado de baixo para cima.

O controle de válvulas encontra-se à esquerda; o das bombas (de avanço e retorno) abaixo, à direita; e o do trocador de calor e o das bombas dosadoras acima, à direita. O controle dos sensores encontra-se no centro, à direita.

O *setup* inicia o processo inibindo a transição dos dispositivos de atuação para ON.

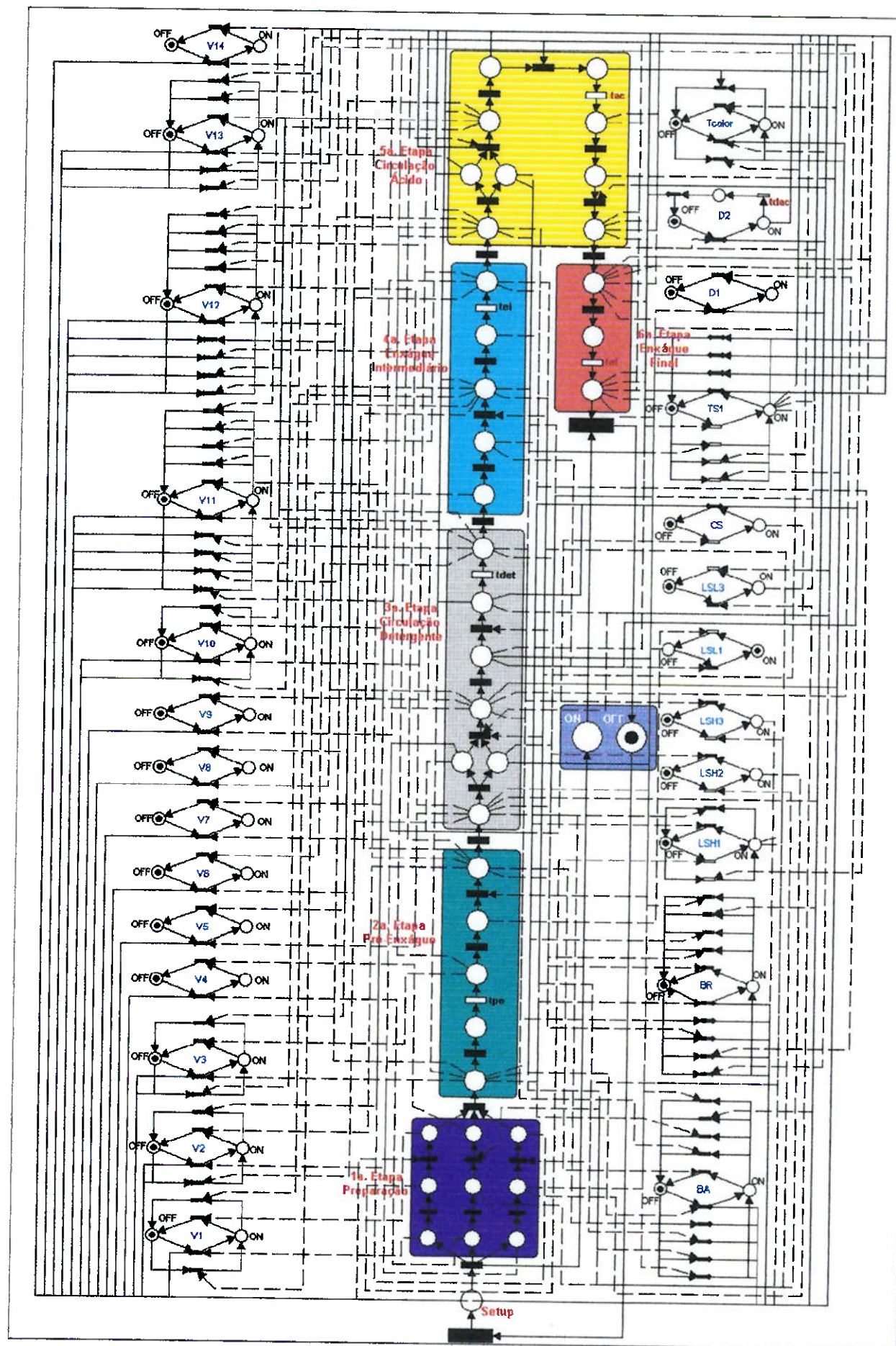


Figura 3.10 - Modelo em Rede de Petri do processo de higienização

## D. Simulação

A partir de informações tomadas na indústria de laticínios pesquisada considerou-se os dados da tabela 3.2 para as situações a serem simuladas no estudo de caso.

Tabela 3.2 - Parâmetros do processo de higienização na recepção

| ETAPA |                                  | TEMPO                              | CONCENTRAÇÃO (%) | TEMPERATURA (°C) |
|-------|----------------------------------|------------------------------------|------------------|------------------|
| 1     | Preparação                       |                                    |                  |                  |
| 2     | Pré-enxágüe                      | $t_{pe} = 3\text{min } 30\text{s}$ |                  |                  |
| 3     | Circulação de Solução Detergente | $t_{det} = 15\text{min}$           | $c_{det} = 1,10$ | $T_{det} = 80$   |
| 4     | Enxágüe Intermediário            | $t_{ei} = 4\text{min } 20\text{s}$ |                  |                  |
| 5     | Circulação de Solução Ácida      | $t_{ac} = 10\text{min}$            | 0,8              | $T_{ac} = 70$    |
| 6     | Enxágüe Final                    | $t_{ef} = 7\text{min } 30\text{s}$ |                  |                  |

### 3.2.5. Ladder Diagram

A partir da rede de Petri foi implementado o programa de controle em *LD*. Este diagrama pode ser visualizado na Figura 3.11.

Os fundamentos do diagrama Ladder estão explicados em detalhes no Anexo 2. O funcionamento do controlador lógico programável encontra-se igualmente detalhado no Anexo 3.

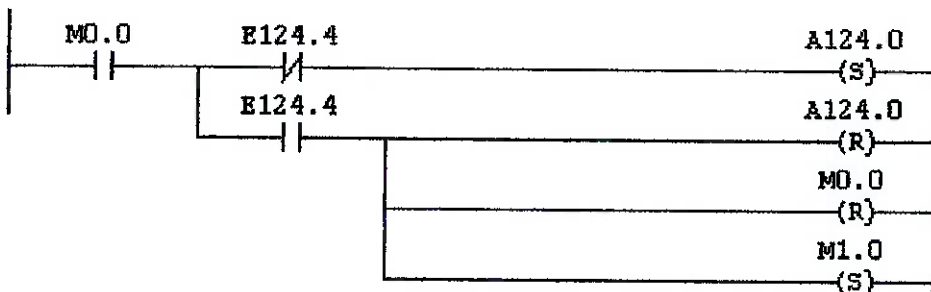
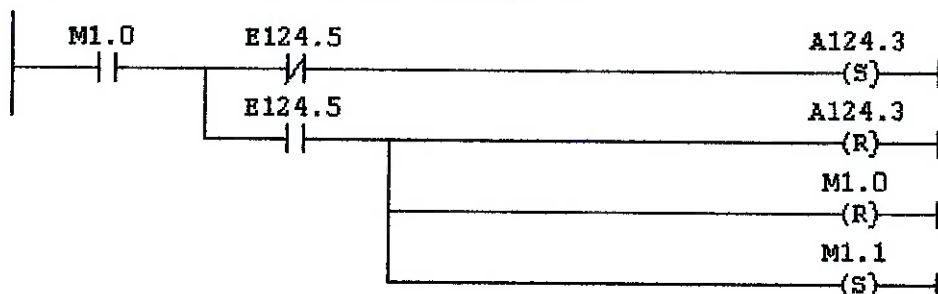
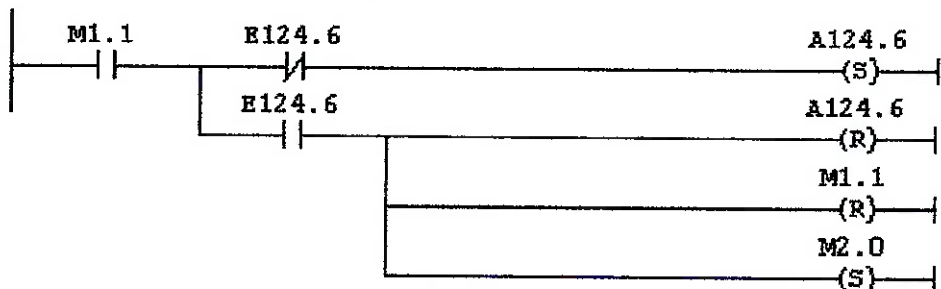
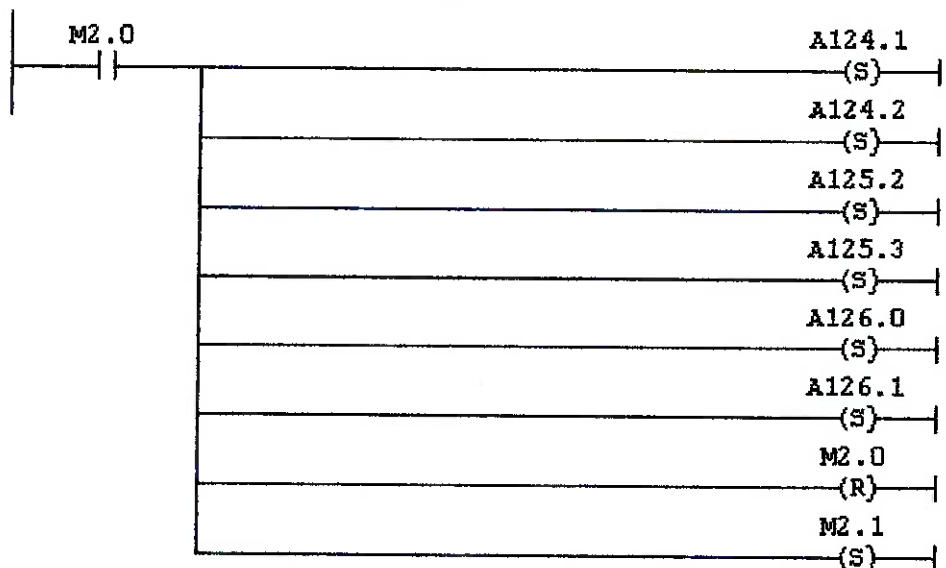
Para o processo de higienização em questão utilizou-se 33 *Networks*, onde cada *Network* representa um estado intermediário da planta, com seu conjunto de válvulas e bombas acionadas ou não. Estes estados intermediários são armazenados pelo CLP nos endereços de memória  $Mx.x$ , onde  $Mx.x$  pode variar de  $M0.0$  até  $M255.7$  para este CLP especificamente.

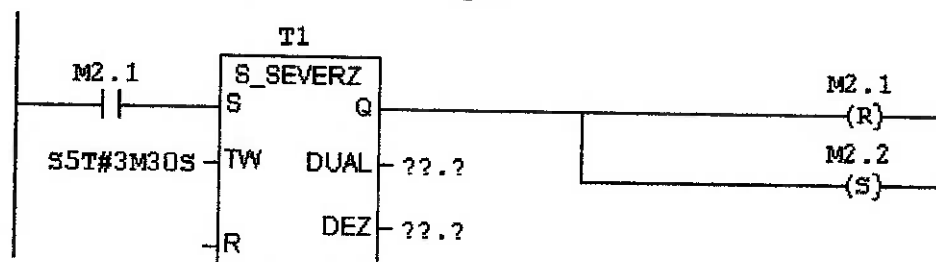
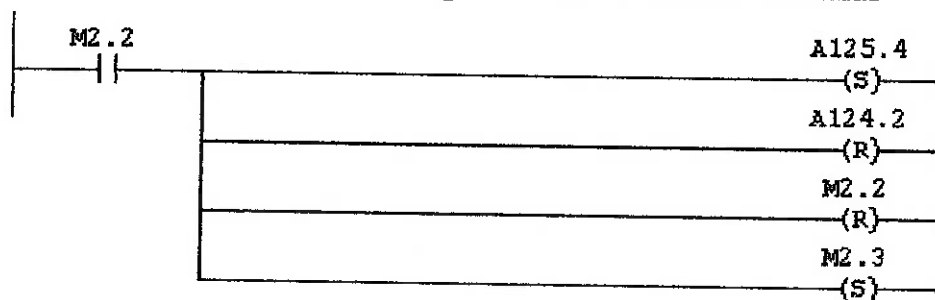
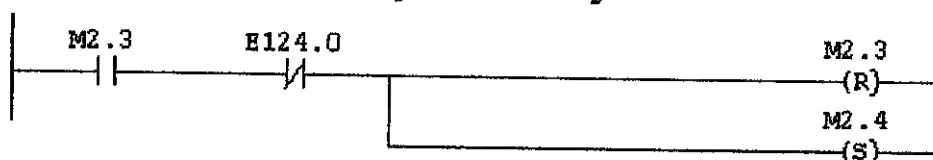
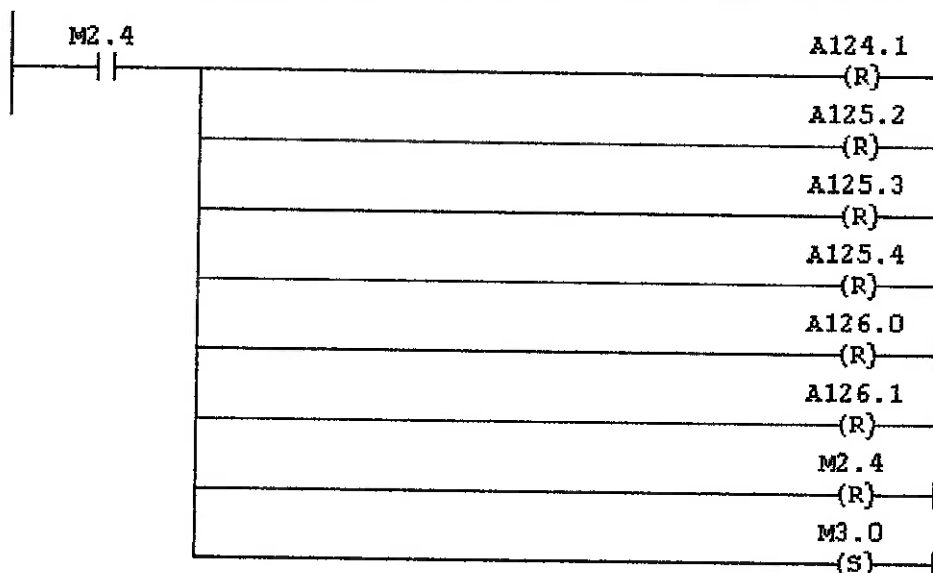
As entradas (sensores de nível, temperatura e concentração e botão início) são escritas como  $Ex.x$ , variando de  $E0.0$  até  $E127.7$  ("E" do alemão "Eingabe", que significa entrada).

Analogamente, as saídas (válvulas e bombas de avanço, retorno e dosadoras) são escritas como  $Ax.x$ , variando de  $A0.0$  até  $A127.7$  ("A" do alemão "Ausgabe", que significa saída).

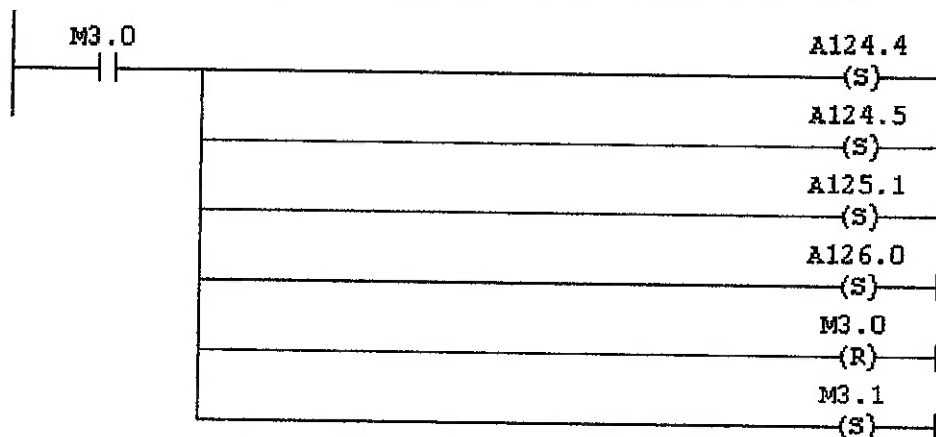
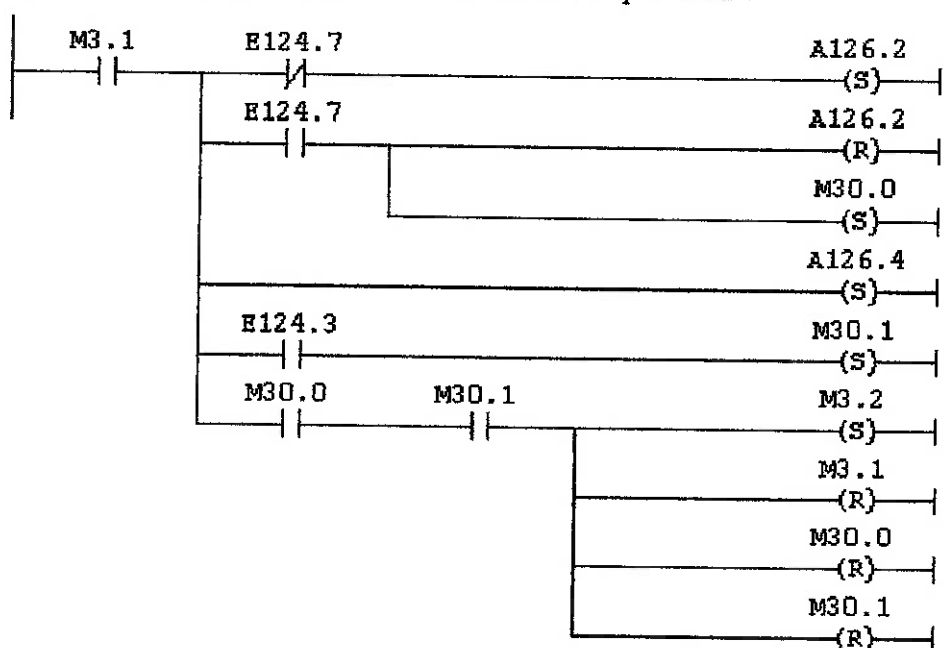
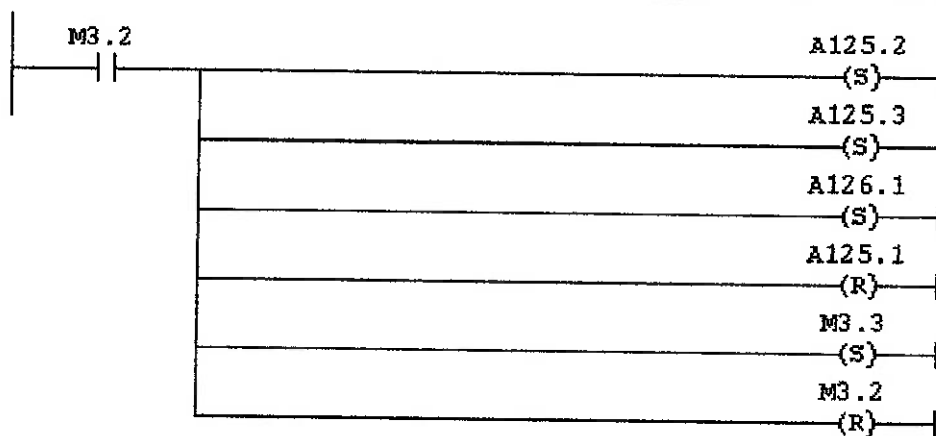
O temporizador  $S\_SEVERZ$  habilita a saída assim que a entrada for de nível alto e mantém a saída habilitada até que o tempo definido em  $TW$  tenha transcorrido, mesmo a entrada indo a "zero".  $TW$  é do formato  $S5T\#mmMssS$ , onde  $mm$  representa os minutos e  $ss$  os segundos.

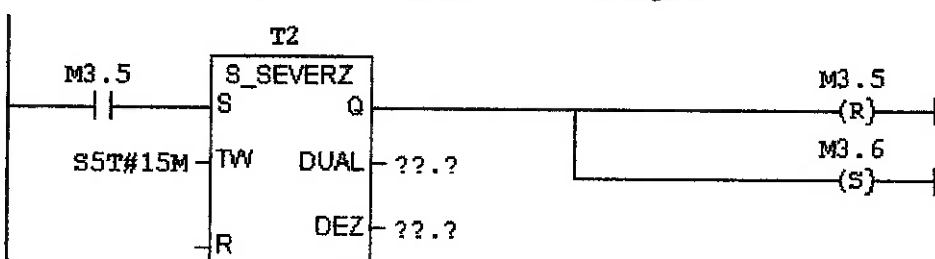
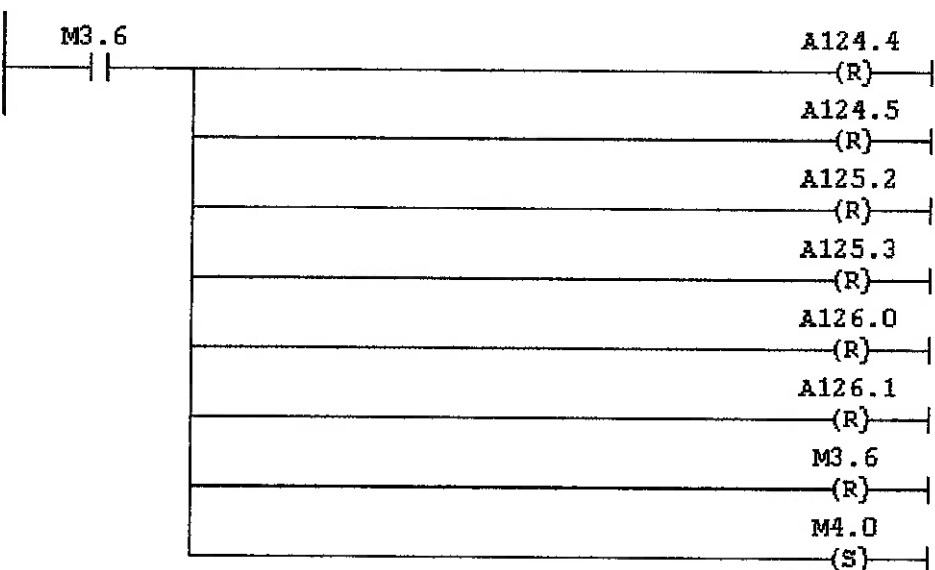
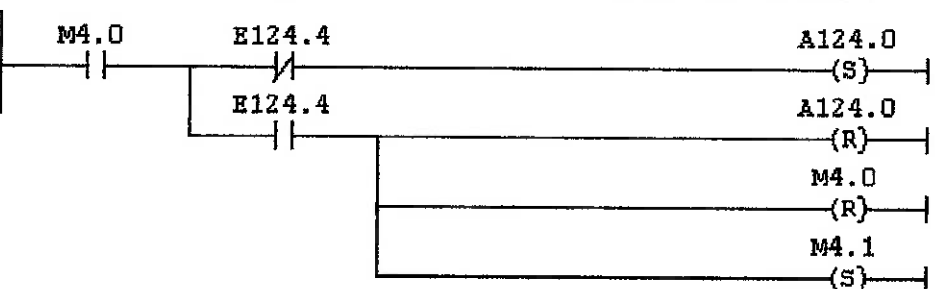
OB1 : CIP

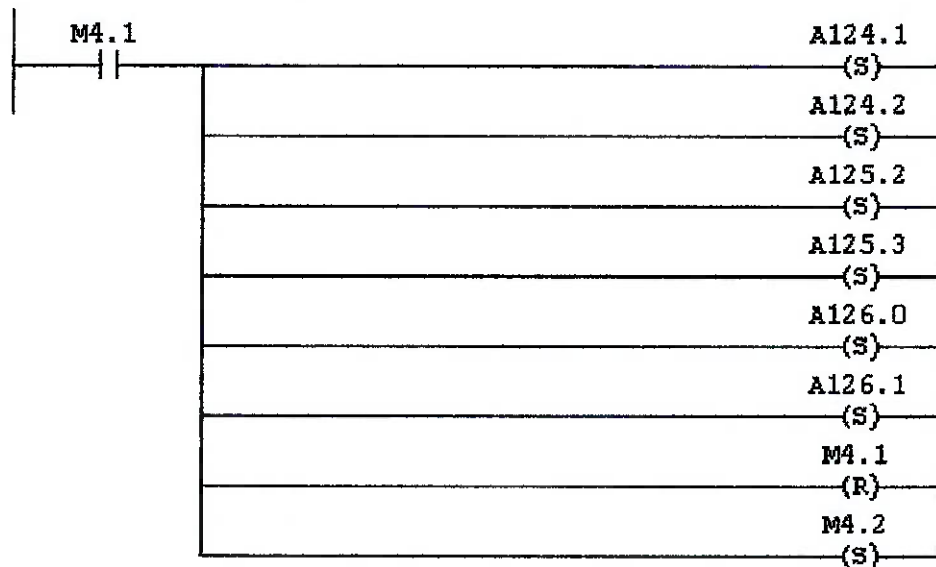
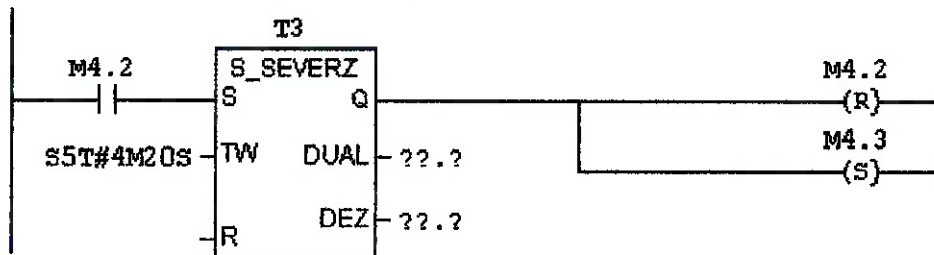
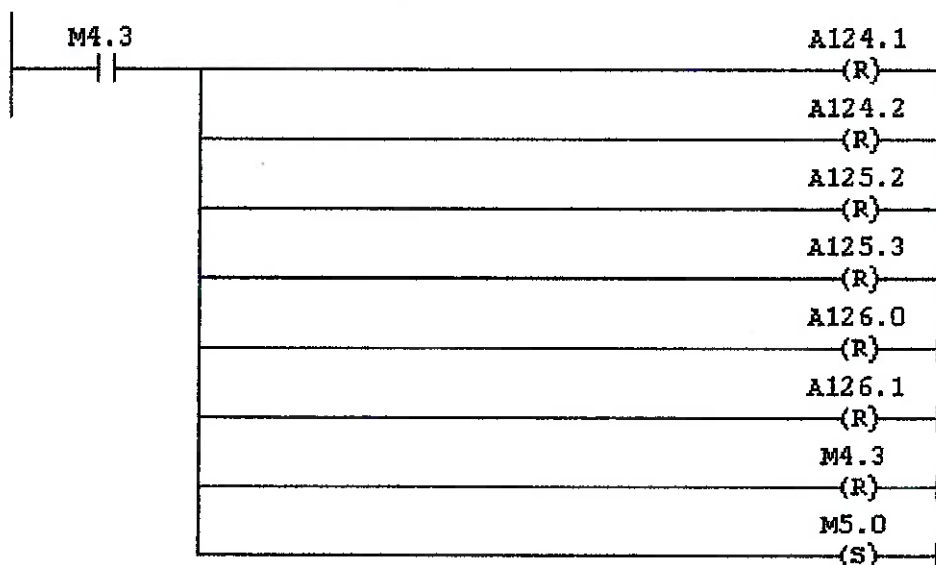
**Network 1** : Inicia**Network 2** : Enche Tanque Agua**Network 3** : Enche Tanque Detergente**Network 4** : Enche Tanque Acido**Network 5** : Ciclo Pre-Enxague - Abre Valvulas e Bomba

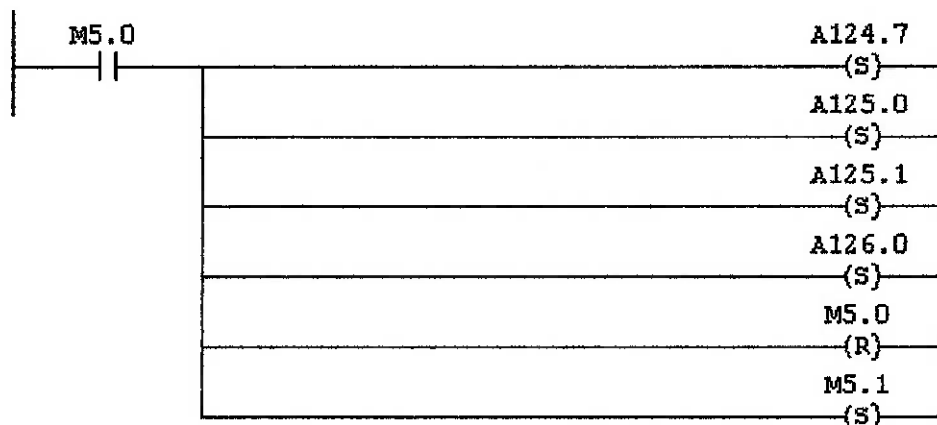
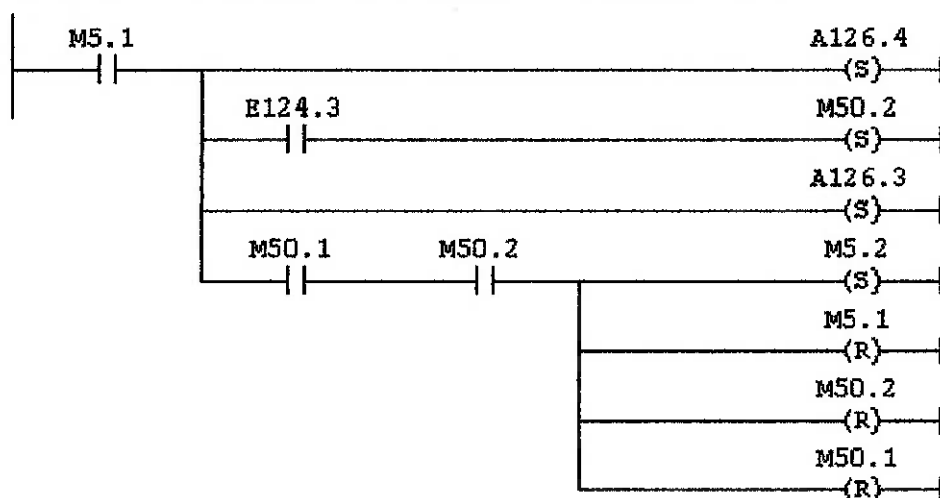
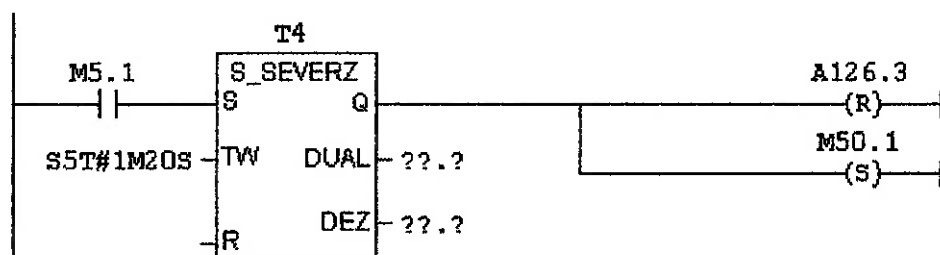
**Network 6 : Espera Pre-Enxague****Network 7 : Ciclo Pre-Enxague - Abre / Fecha Valvulas****Network 8 : Descarta Agua Pre-Enxague****Network 9 : Ciclo Pre-Enxague - Fecha Valvulas e Bombas**

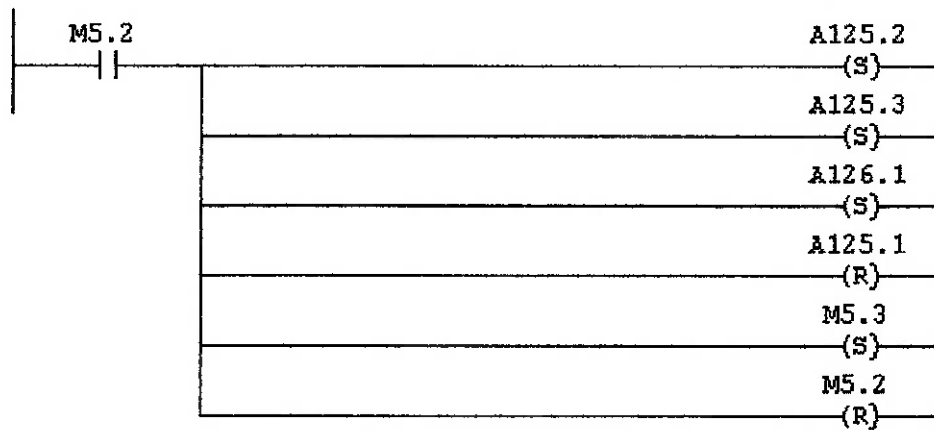
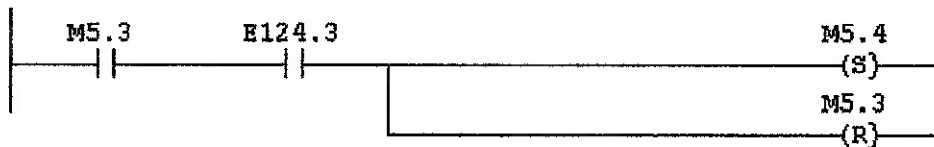
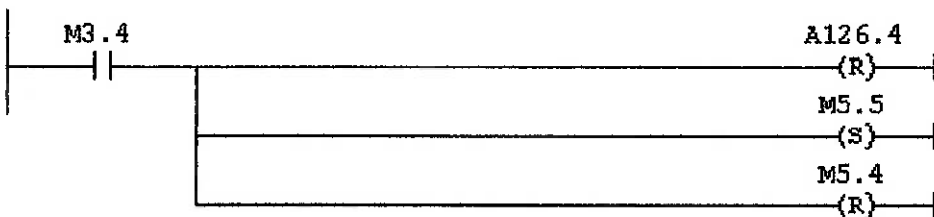
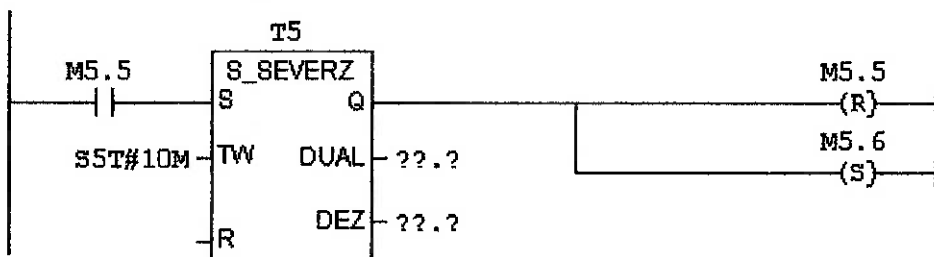
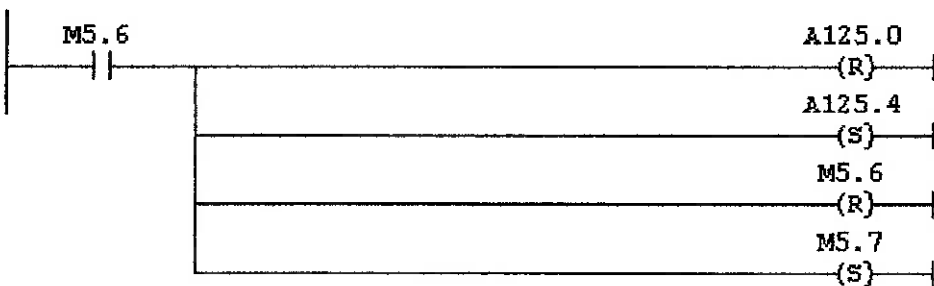


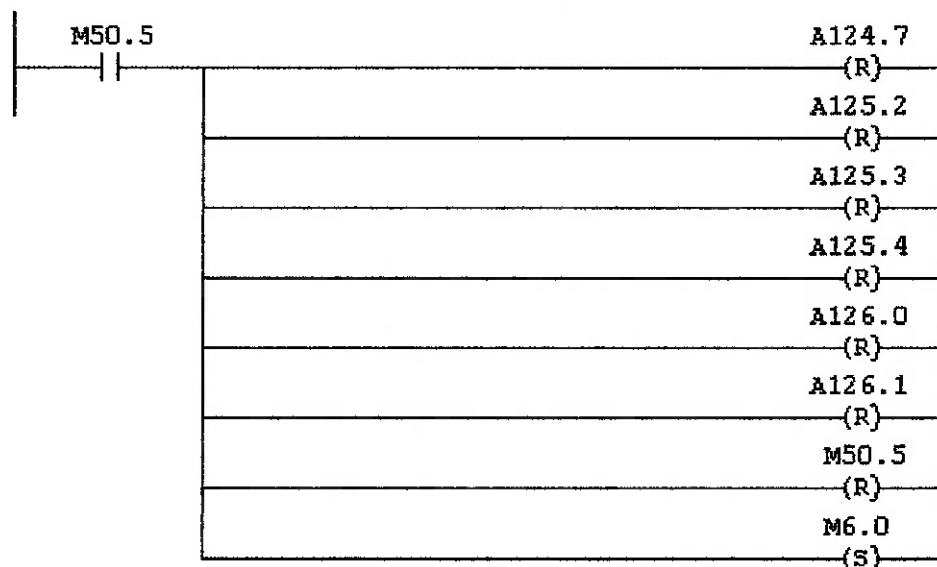
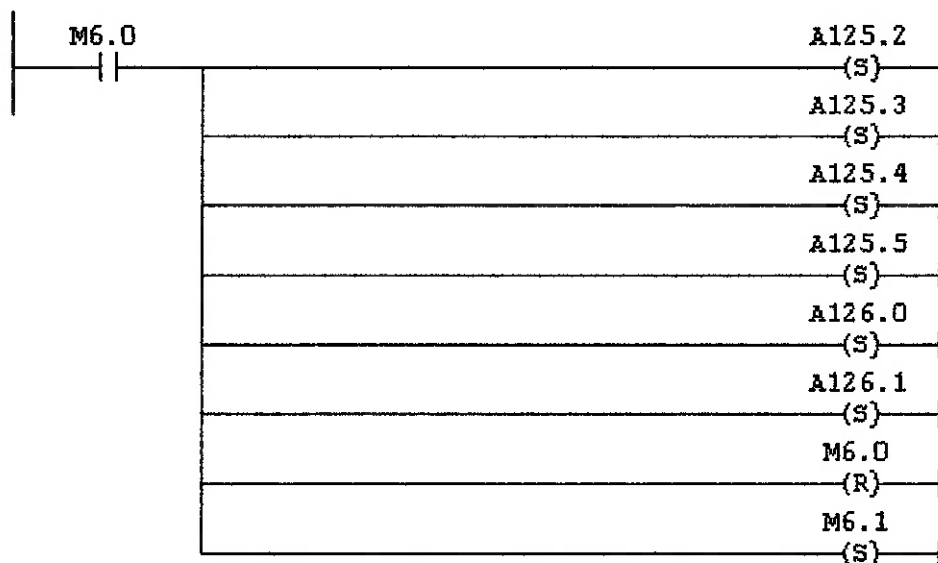
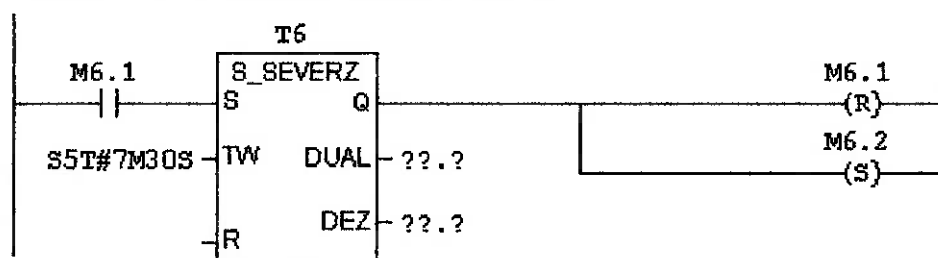
**Network 10 : Ciclo Detergente - Abre Valvulas e Bomba****Network 11 : Checa Concentracao e Temperatura****Network 12 : Ciclo Detergente - Abre / Fecha Valvulas e Bomba**

**Network 13 : Checa Temperatura Novamente****Network 14 : Desliga Trocador de Calor****Network 15 : Espera Circulacao de Detergente****Network 16 : Ciclo Detergente - Fecha Valvulas e Bombas****Network 17 : Enxague Intermediario - Enche Tanque Agua**

**Network 18 : Enxague Intermediario - Abre Valvulas e Bombas****Network 19 : Espera Enxague Intermediario****Network 20 : Ciclo Enxague Intermediario - Fecha Valvulas e Bombas**

**Network 21 : Ciclo Acido - Abre Valvulas e Bomba****Network 22 : Checa Concentracao e Temperatura 1****Network 23 : Checa Concentracao e Temperatura 2**

**Network 24 : Ciclo Acido - Abre / Fecha Valvulas e Bomba****Network 25 : Checa Temperatura Novamente****Network 26 : Desliga Trocador de Calor****Network 27 : Espera Circulacao de Acido****Network 28 : Ciclo Acido - Fecha Valvulas e Bombas**

**Network 29 : Descarta Agua Ciclo Acido****Network 30 : Ciclo Acido - Fecha Valvulas e Bombas****Network 31 : Ciclo Enxague Final - Abre Valvulas e Bombas****Network 32 : Espera Enxague Final**

Network 33 : Ciclo Enxague Final - Fecha Valvulas e Bombas

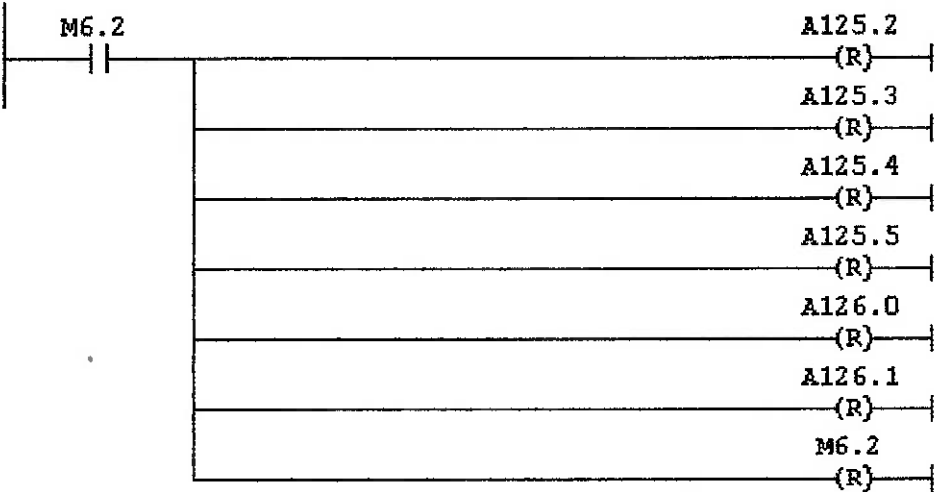


Figura 3.11 - Programa do controle em LD



## 4. Análises

A partir de um processo (sequencial) de higienização padrão do mercado (onde todas as soluções são preparadas e aquecidas antes de se iniciar o pré-enxágüe) [2] e utilizando a metodologia da figura 3.1, editou-se a primeira versão da rede de Petri. Esta então foi alterada, gerando outras versões visando a otimização do processo.

Na simulação destas versões, foi escolhido o modelo que representava o processo em menor tempo de execução total e que não acarretava em aumento de custos (devido à energia e aos dispositivos necessários) do projeto.

Já que o tempo de circulação das soluções e da água é requisito para uma higienização eficiente, o objetivo foi otimizar a preparação das soluções dos tanques do sistema CIP. Isso foi possível utilizando ações em paralelo e/ou transferindo a sua ocorrência no processo (por exemplo: completar os três tanques com água, no início; e aquecer e dosar os tanques de detergente e ácido somente antes de suas respectivas circulações).

No modelo escolhido (Figura 3.10) verifica-se que, além de tempo, houve redução dos custos devido ao menor tempo de aquecimento necessário para as soluções (não houve necessidade de alterar a instalação).

O controle foi implementado em *ladder* onde monitorou-se passo a passo o processo proposto. Nesta etapa não foi detectada nenhuma necessidade de alteração, finalizando, portanto, o projeto.

## 5. Comentários Finais

O levantamento realizado em [1] e [2] apresentou a situação da automação nas indústrias do Brasil, e a importância da higienização neste cenário, o que motivou o desenvolvimento do projeto.

A fundamentação teórica foi imprescindível para embasar a análise das necessidades em todas as etapas do estudo de caso, possibilitando, assim, a formulação de uma proposta viável para o seu controle, utilizando inclusive dados reais de uma indústria.

A adoção de uma metodologia guiou o desenvolvimento do estudo de caso de uma forma organizada e estruturada.

A modelagem em rede de Petri comprovou ser uma ferramenta eficiente que, durante a simulação, possibilitou a monitoração do sistema e do seu comportamento diante de eventos (sinal dos sensores) e da evolução no tempo, e ainda explicitou o estado dos dispositivos em todas as situações do processo. Assim, pode-se escolher o modelo mais adequado para o processo.

A rede também foi fundamental para a implementação racional do programa de controle em *LD*.

A implementação em *LD* representou a finalização da proposta, ou seja, a aplicação do estudo no mundo real.

## 6. Referências Bibliográficas

- [1] REVISTA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS, Ano 8, nº 44, mar/abr 2003.
- [2] JOHNSON DIVERSEY BRASIL, *Assessoria Técnica*, 2003.
- [3] KIRKLAND, W. M. "*Modern Dairy Technology*", Ed. by R. K. Robinson, Chapman & Hall, UK, v. 1, 477 p., 1994.
- [4] WALSTRA, P., GEURTS, T. J., NOOMEN, A., van BOEKEL, M. A. J. S. and JELLEMA, A. "*Dairy Technology*", Ed. Marcel Dekker, Inc., NY - Basel, 1999.
- [5] PROF. DR. SCHIMIDT, H. J. "*Limpeza e Desinfecção na Indústria*", CENATEC de Produtos Alimentares do SENAI - DR/RJ, 1997.
- [6] DIVERSEY LEVER, "*Treinamento CIP*", 1996.
- [7] UNILEVER, "*CD do Portfolio de Engenharia de Projetos da Unilever*", 2000.
- [8] SILVA, MANUEL, "*Las redes de Petri: en la automatica y la informatica*", Madrid: Editorial AC, 1985.
- [9] CASSANDRAS, CHRISTOS G. "*Discrete event systems : modeling and performance analysis*", Homewood, Ill.: Aksen: Irwin, 1993.
- [10] <http://www.estv.ipv.pt>, acesso: novembro 2003.
- [11] <http://www.cin.ufpe.br>, acesso: novembro 2003.
- [12] PETERSON, J. L., "*Petri Net Theory and the Modeling of Systems*", Prentice Hall Inc., 1981.
- [13] MIYAGI, PAULO EIGI. "*Controle Programável*", Editora Edgard Blücher Ltda., 1996.
- [14] Bennett, B. S., "*Simulation Fundamentals*", Prentice Hall Inc., 1995.
- [15] [http://home.t-online.de/home/henryk.a/petrimet/e/hpsim\\_e.htm](http://home.t-online.de/home/henryk.a/petrimet/e/hpsim_e.htm), acesso: outubro 2003.
- [16] SANTOS, SILVEIRA.. "*Automação e Controle Discreto*", Editora Érica. 1998.
- [17] RICHARDS JUNIOR, CARLOS. "*Apostila de Automação e Robótica, Controladores Lógico Programáveis*", 2001.
- [18] FESTO. "*Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis*", Editora FESTO, 1999.
- [19] SIEMENS. "*Simatic S7/M7/C7 Programmable Controllers*", Editora Siemens. 1996.
- [20] SIEMENS. "*Folder Técnico Simatic S7-300*", Editora Siemens AG. 1996.

## Anexo 1 – Intertravamento

Num processo podem existir condições restritivas como habilitação ou inibição de operação ou funcionamento de um equipamento. A essas funções que não permitem qualquer tipo de mudança de estado ou de ação até que outros estados ou ações estejam completados denomina-se *intertravamento* [13].

- **Intertravamento de Partida:**

São condições que devem estar satisfeitas no instante de partida e que não são consideradas durante o estado de funcionamento.

- **Intertravamento de Funcionamento:**

São condições que devem estar satisfeitas não somente na inicialização, mas também durante o funcionamento. Se tais condições não forem satisfeitas durante o funcionamento, deve-se passar para o estado de parada.

- **Intertravamento Temporizado:**

É quando deve-se considerar um intervalo de tempo entre o funcionamento de cada equipamento.

- **Intertravamento de sequência:**

Estabelece as condições de habilitação ou inibição de ações entre equipamentos interligados em série. Desta forma, não permite que nenhuma ação posterior ou evolução para o próximo estado ocorra enquanto o estado anterior não seja completado.

- **Intertravamento de processo:**

A transição de estado só deve ocorrer se todas as ações e condições das etapas anteriores forem completamente executadas e todos os preparativos para a próxima etapa estarem satisfeitos.

## Anexo 2 – Ladder Diagram

### A. Ladder Diagram (LD)

No diagrama elétrico de relés (do inglês *Ladder Diagram*) é possível uma representação detalhada com livre escolha de conexões para a representação e utilização conjunta de vários tipos de relés. Assim, o técnico em controle de SED geralmente considera como prioritário o fator econômico (custo dos dispositivos, espaço, etc.), preocupando-se em realizar o controle necessário e suficiente com o menor número de relés, explorando de todas as formas os limitados contactos disponíveis. [13]

O relê é acionado eletricamente e gera uma ação mecânica que tem como resultado o chaveamento (liga ou desliga) de um sinal elétrico. O relê é um tipo de dispositivo eletro-mecânico e, desta forma, na elaboração do projeto de controle, é necessário considerar aspectos como: tensão e corrente de acionamento, tensão e corrente de manutenção, tempo de operação, características transitórias no acionamento e desligamento, estratégia para falhas de contacto, etc. Elementos básicos do diagrama de relés: [13]

- **Contacto**

Existem os seguintes tipos de contactos: contato tipo “a” (make: normalmente aberto), contacto tipo “b” (break: normalmente fechado) e contacto detector de variação. A estes contactos são associadas entradas, saídas ou variáveis lógicas de memória. Os contactos do tipo “a” e tipo “b” possuem as seguintes características:

- Não existe limite para o número de contactos utilizados;
- Quando uma bobina  $x$  muda de estado devido a sua energização ou desenergização, o contacto  $x$  correspondente é acionado imediatamente;
- Os contactos são classificados de acordo com a variável associada (não existe a classificação contactos auxiliares, complementares, etc. que aparecem em circuitos elétricos de relés).

Esta simplicidade é que facilita o projeto dos processos de controle. O contacto detector de variação transmite para a saída à direita o sinal ON (durante um período do ciclo de controle do CP) quando ocorre uma mudança no estado da entrada do contacto.

- **Bobina**

Às bobinas são atribuídas variáveis lógicas e dependendo do tipo da bobina, sua ação difere. A bobina muda de estado de acordo com a energia aplicada. O processamento e atuação das bobinas é de cima para baixo e, depois deste processamento, a mudança de estado é instantânea (em conjunto com os contactos correspondentes)

Existem os seguintes tipos de bobinas:

- Bobina: é a bobina comum (normal); quando é energizada seu valor fica 1;
- Bobina inversa: é a bobina que corresponde ao contacto tipo “b”, isto é, quando é energizada seu valor fica 0;
- Bobina de set (ou reset): o valor da bobina de set fica 1 quando ela é energizada (o valor da bobina de reset fica em 0);
- Bobina com memória: mantém memorizado seu valor mesmo quando é desligada (a energia elétrica é cortada) e volta com este valor quando é ligada novamente; pode ser associada ainda à bobina de set ou de reset;
- Bobina detectora de variação positiva (ou negativa): é a bobina que corresponde aos contactos detectores de variação, isto é, o seu valor fica 1 durante 1 período de controle quando é detectada uma variação positiva na energização (borda de subida do sinal); analogamente, pode-se ter o tipo inverso.
- **Temporizador**

Nos sistemas reais de controle SED, nota-se a necessidade não somente de funções lógicas como AND ou OR, funções de auto-retenção ou memória, mas também de elementos temporizadores que introduzam atrasos nos sinais. No passado, os circuitos com relés eletromagnéticos utilizavam temporizadores baseados em circuitos RC (a temporização é obtida com descarga de condensadores), temporizadores pneumáticos ou temporizadores motorizados. Nos CP, através da contagem dos pulsos gerados pelo cristal oscilador (“relógio” interno), diversas temporizações podem ser implementadas por software. Com isso, pode-se obter maior flexibilidade em relação à variedade e quantidade de temporizadores

Um temporizador possui os seguintes componentes: entrada, saída, valor de ajuste (set-point) e valor atual. O valor de ajuste representa o valor do limite de tempo a ser considerado e, em geral são definidos em unidades de 1s, 0.1s ou 0.01s. O valor atual representa o tempo decorrido (passado) desde a ativação até o presente momento

- On-delay-timer: em geral são os temporizadores mais comuns e, nesse caso, a saída (sinal à direita) torna-se ON após decorrido o tempo de ajuste previamente definido da ativação do temporizador, isto é, após o sinal à esquerda (entrada) ter ficado em ON;
- Off-delay-timer: quando a entrada fica ON, a saída também fica ON imediatamente, e esta fica OFF após decorrido o tempo de ajuste previamente definido da desativação do temporizador, isto é, após a entrada ter ficado OFF;

- Pulse: quando a entrada fica ON, a saída também fica imediatamente ON mas, retorna para OFF após decorrido o tempo de ajuste previamente definido (pode-se também gerar um pulso utilizando-se os contactos detectores de variações mas, com este temporizador, o tempo de duração do pulso pode ser regulado).

As regras do diagrama de relés são: [13]

- Os contactos e bobinas devem ficar na intersecção das linhas e colunas de uma matriz e as bobinas devem ocupar somente a última coluna à direita;
- As linhas verticais das extremidades à direita e à esquerda chamam-se linhas mão; na da esquerda são conectados os contactos e na direita são conectadas somente as bobinas;
- Os contactos e as bobinas são conectados através de linhas horizontais e não é permitida mais de uma linha em uma única “linha” matriz; as linhas horizontais são interligadas através de linhas verticais e não se permitem várias linhas em uma única coluna; a intersecção entre uma linha horizontal e uma linha vertical pode ser uma conexão ou apenas um cruzamento sem conexão.
- A energia (força) flui através das linhas horizontais da esquerda para a direita e de acordo com os estados aberto/fechado dos contactos; executa-se a função lógica AND;

As regras para o fluxo e processamento de sinais são: [13]

- A energia flui através das linhas verticais de cima para baixo; a linha vertical executa a função lógica OR dos estados das linhas horizontais que estão à sua esquerda, transmitindo o resultado para a(s) linha(s) horizontal(is) à sua direita (isto é, se pelo menos uma das linhas à sua esquerda for ON, o sinal transmitido à sua direita será ON);
- O acionamento (análogo à energização elétrica) das bobinas depende da existência de fluxo de energia da linha horizontal à sua esquerda;
- O processamento do diagrama de relés é realizado de cima para baixo.



## Anexo 3 – Controladores Lógicos Programáveis

Durante a década de 50, os dispositivos eletromecânicos foram os recursos mais utilizados para efetuar controles lógicos e de intertravamento nas linhas de produção e em máquinas isoladas. Tais dispositivos, baseados principalmente em relés, tinham especial importância na indústria automobilística em que a complexidade dos processos produtivos envolvidos exigia instalações em painéis e cabines de controle com centenas de relés e, conseqüentemente, um número maior ainda de interconexões deles. [16]

Esses sistemas de controle apesar de funcionais apresentavam problemas que comprometiam o seu uso. Devido aos relés apresentarem certa dimensão física, os painéis ocupavam espaço, além de que precisavam estar protegidos contra umidade, gases inflamáveis, oxidações, poeira, sobretemperatura, etc. Além disto, a ocorrência de uma falha na instalação significava o comprometimento de várias horas ou dias pesquisando e corrigindo os componentes defeituosos. Como a programação lógica do processo controlado era realizada por interconexões elétricas com lógica fixa (hardwired), eventuais alterações na mesma exigiam interrupções no processo a fim de reconectar os elementos. Estas interrupções prejudicam o processo industrial, além do que se torna obrigatória a atualização das listas de fiação no sentido da manutenção da documentação do sistema.

Com o desenvolvimento de dispositivos transitorizados no final da década de 50 e com o surgimento dos componentes eletrônicos integrados em larga escala (LSI) foi dado um grande passo no desenvolvimento tecnológico da automação industrial.

O Controlador Lógico Programável (CLP) nasceu praticamente dentro da indústria automobilística americana, especificamente na Hydronic Division da General Motors, em 1968, devido à grande dificuldade para mudar a lógica de controle de painéis de comando a cada mudança na linha de montagem, pois tais mudanças implicavam em altos gastos de tempo e dinheiro. [17] Essa primeira geração de CLP recebeu sensíveis melhorias com o advento dos microcontroladores e microprocessadores ocorrido durante os anos 70.

Toda a lógica de acionamento em função das entradas pôde ser desenvolvida através de software, que determina ao controlador a seqüência de acionamento a ser desenvolvida, tornando o CLP um sistema flexível que se adapta a várias aplicações industriais. [17]

Atualmente o CLP é um sistema que vem sendo utilizado cada vez mais nas indústrias em geral, sendo bastante versátil e de fácil utilização, apresentando as seguintes características: [16]

- Exige pequeno espaço físico para instalação;
- É reprogramado facilmente, não interrompendo o processo;

- Apresenta baixo consumo de energia;
- Permite fácil diagnóstico de funcionamento e reparo de falhas que venham a ocorrer durante a sua operação;
- Necessita de reduzida equipe de manutenção;
- Não gera faiscamentos, operando com reduzido grau de proteção;
- Possui a capacidade de comunicação com outros equipamentos.

### **Conceitos e Definições**

Os controladores lógicos programáveis são componentes eletrônicos que permitem mudar a lógica de operação através de uma programação, acionando as suas saídas em função de suas entradas, tornando-os flexíveis e responsáveis por inúmeras aplicações dentro de um processo automatizado.

Podemos dividir o CLP em três partes: fonte de alimentação, CPU (unidade central de processamento) e interface de entradas e saídas (E/S). [18]

O princípio fundamental de funcionamento do CLP é a execução de um programa, realizando ciclicamente as ações de leitura das entradas, execução do programa de controle e atualização das saídas. O ciclo de varredura (ou scanning) nada mais é do que o tempo total para a execução dessas tarefas, dependendo na maioria das vezes da velocidade e características do processador utilizado, do tamanho do programa além da quantidade de entradas e saídas (E/S).

### **O Hardware do CLP**

#### **A. Fonte de Alimentação**

A maioria das fontes dos CLPs é do tipo chaveada, e apresenta uma única tensão de saída: 24Vcc, sendo alimentadas com tensão alternada (90V a 240V) ou contínua (18Vcc a 36Vcc). Essa tensão de saída alimenta os módulos de entrada e saída de dados (E/S) e CPU ao mesmo tempo. Como temos CPUs que operam com tensões mais baixas, essas possuem um regulador interno. Dependendo do consumo total de corrente dos módulos, é necessário o dimensionamento de uma nova fonte específica ao processo. [17]

Normalmente, os fabricantes de máquinas industriais adotam a fonte de 24Vcc, permitindo que o equipamento adquira maior imunidade a ruídos elétricos. [18]

#### **B. CPU**

A Unidade Central de Processamento é o "cérebro" do CLP, sendo constituída por um processador (responsável por gerenciar todo o sistema), pelas memórias (responsáveis pelo armazenamento das instruções (programa)) e um sistema de interligação (responsável pela troca de dados (barramento)). [16]

O processo consiste de uma rotina (programação) da CPU que executa uma leitura dos módulos de entrada e armazena seu conteúdo em uma tabela de dados, com esses dados armazenados continua executando a programação do usuário, armazenada em sua memória e, por fim atualiza os módulos de saída e reinicia a operação. Pode-se ainda implementar algumas subrotinas (rotinas de execução de emergência), estabilizando o sistema em determinada situação crítica do processo. [18]

As combinações de entradas e saídas são referenciadas a uma lógica de controle (programação) que é carregada na memória do componente, como por exemplo as memórias RAM, EPROM e EEPROM, através de um dispositivo de programação. Essa combinação lógica e sequencial, ciclicamente executada pela CPU numa ordem pré-determinada, denomina-se como varredura ou Scan.

### **C. Entradas e Saídas (E/S)**

Essas portas são responsáveis pela comunicação do meio externo com a unidade de processamento interna do controlador. Elas podem receber tanto dados na forma digital (bits) ou dados na forma analógica, convertidos em digitais internamente ao controlador. Suas entradas e saídas podem estar divididas em dois grupos: analógicas e digitais.

- **Entradas e Saídas Analógicas**

As entradas analógicas possuem o princípio de converter sinais analógicos em valores numéricos, trabalhando geralmente com os seguintes valores: 0 a 10 Vcc, -5 a 15 Vcc e -10 a 10 Vcc. No caso de entrada de corrente tem-se: 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA. No caso de entrada por tensão, sua corrente não deve exceder 50 mA. As saídas analógicas trabalham com o mesmo princípio, porém inversamente, convertendo valores numéricos em sinais elétricos variáveis da ordem de 0 a 10 Vcc e 4 a 20 mA em corrente contínua. [17]

- **Entradas e Saídas Digitais**

Os sinais digitais admitem apenas dois estados, ou seja, "0" ou "1". O nível 1 para os CLPs normalmente significa 24V. As entradas digitais podem ser de dois tipos: ativa baixa (ou tipo N) ou ativa alta (tipo P), isto é, para ativarmos uma entrada do tipo "P" devemos ligá-la em 24Vcc e para uma entrada "N" em 0Vcc. Analogamente às entradas, as saídas digitais apresentam dois estados: alto e baixo, que correspondem a 24 e 0Vcc, respectivamente.

### **Dimensionamento de um CLP**

Ao se dimensionar um CLP para uma dada aplicação, devemos observar certas especificações, como [19]:

- Número de Entradas e Saídas (E/S);
- Velocidade de processamento;

- Tipos de entradas (sensores);
- Tipos de saídas (atuadores);
- Linguagem de programação.

### **Programação do CLP**

A mais comum das linguagens de programação de CLP é a LADDER. Com esta linguagem é possível desenvolver lógicas combinatórias, seqüências e ambas utilizando os estados das entradas, saídas, auxiliares e registros numéricos. [17] O software varia de acordo com cada fabricante, onde cada um possui o seu específico.

### **CLP Siemens série SIMATIC S7-300**

Neste trabalho, estuda-se a automatização, através de CLP, de um processo industrial específico, o Sistema CIP de higienização de tanques, mostrando a atuação e praticidade do CLP dentro desse sistema.

O projeto necessita de 7 entradas digitais (botão Start, LSL1 até LSL3 e LSH1 até LSH3), 2 entradas analógicas (TS e CS) e 19 saídas digitais (V1 até V14, BA, BR, D1, D2 e Tcalor). O detalhamento destes componentes encontra-se no item 3.2.. Como fonte será utilizado o CLP da série SIMATIC S7-300 da fabricante alemã Siemens, com processador CPU 314 IFM, que atende perfeitamente a quantidade de entradas e saídas necessárias.

A série Simatic S7-300 apresenta as seguintes características [4 e 5]:

- Micro CLP com funções integradas;
- Totalmente compacto com fonte de alimentação, CPU e entradas e saídas integradas em um único dispositivo;
- Software baseado em Windows 95.

Para a CPU 314 IFM, especificamente, tem-se as seguintes características:

- 40 kBytes RAM
- 24 kBytes de memória de trabalho
- velocidade de processamento de 0,3 ms para 1000 instruções binárias
- 512 entradas e saídas digitais
- 64 entradas e saídas analógicas
- 2048 marcadores (M0.0 até M255.7)
- 64 contadores (Z0 até Z63)
- 128 temporizadores (T0 até T127)
- faixa de processamento:
  - entradas digitais: E0.0 até E127.7
  - saídas digitais: A0.0 até A127.7

