

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCAR
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA - CCET
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - DEQ**

BIANCA SANTOS FERREIRA – R.A.: 744772

**MÉTODOS DE LIMPEZA DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS: DESTAQUE
PARA O SISTEMA CIP**

SÃO CARLOS -SP
2023

BIANCA SANTOS FERREIRA

**MÉTODOS DE LIMPEZA DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS: DESTAQUE
PARA O SISTEMA CIP**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Vádila Giovana Guerra Béttega

São Carlos-SP
2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à minha família, minha mãe, meu pai, meu irmão e minha tia, e meus amigos que sempre estiveram presente nessa longa caminhada até o momento deste trabalho, desde amigos de longa data quanto os que construí laços durante a graduação: Fernanda, Juliana, Tayrini, Thifany, Alessandro, Bruno, Diana, Felipe, Jéssica, Leonardo, Matheus, Mayara, Nathalia, Pedro, Vitória, Vinícius e Yuri. Depois agradecer meu namorado Gustavo que me incentivou e nunca deixou desistir deste trabalho, além dos incentivos com as disciplinas da graduação em si, uma contribuição muito importante para eu chegar até aqui.

Importante mencionar meus agradecimentos também aos projetos dos quais fiz parte e às pessoas por quem cruzei por conta deles. A Operação Natal e um carinho especial pela Semana de Engenharia Química, onde construí grandes amizades e passei por ótimas experiências.

Por último, agradecer a todos os professores do Departamento de Engenharia Química da UFSCAR, grandes responsáveis em formar profissionais, mas em especial à minha orientadora Prof^a Vádila Guerra. Além disso, a todos que cruzaram meu caminho e de alguma forma marcou minha vida, meu sincero obrigada.

RESUMO

Nos últimos anos, as exigências sanitárias para com o processo de produção e com o produto final, tanto por parte governamental, quanto por parte dos consumidores, vem crescendo cada vez mais. Um dos requisitos, que torna a produção e, conseqüentemente, o produto final seguro, é a forma como a higienização dos equipamentos desse processo é feita. Com isso, está ocorrendo um aumento no número de indústrias que visam padronizar seus respectivos processos de limpeza. Isso porque, atualmente, há muitas indústrias que possuem a higienização feita por operários de modo manual, não há quantidade padrão de uso de agentes de limpeza, um tempo estipulado padrão e, quando há a existência de algum dispositivo de limpeza instalado, muitas vezes sua eficiência não é garantida e frequentemente a higienização precisa ser complementada por um operário. A tendência é que esse sistema para limpeza se torne o mais automatizado possível, através do uso de dispositivos de limpeza que garantem eficiência máxima necessária e não haja demanda para mais nenhuma intervenção. Além disso, juntamente com essa padronização do tempo e da quantidade desses agentes utilizados e programas de limpeza pré-definidos, é possível diminuir custos de operação, o impacto ambiental, a necessidade de desmontagem de equipamentos, além de garantir a qualidade na limpeza deles e, por consequência, de forma simplificada, a qualidade do produto final. Por isso, o procedimento mais utilizado de limpeza, e que aplica os critérios mencionados, é o sistema CIP (*cleaning in place*), o qual pode ser implementado em plantas automatizadas ou semiautomatizadas. Geralmente, essa implementação é feita e exigida pelas indústrias de alimentos e bebidas, farmacêuticas e cosméticos, as quais precisam obter um nível alto de higiene. As mais comuns são as indústrias alimentícias, em destaque para as de laticínios. O sistema CIP consiste em circular agentes de limpeza, tanto alcalinos, quanto ácidos, fazer o devido enxágue, sem a necessidade de desmontar nenhum equipamento e, dessa forma, eliminar qualquer chance de contaminação. Diante do exposto, o presente trabalho de graduação teve por objetivo realizar um levantamento bibliográfico dos principais métodos de limpeza de equipamentos industriais disponíveis atualmente no mercado, dando destaque aos métodos de sistemas CIP, principalmente em relação a sua eficiência funcional.

Palavras-chave: CIP. Limpeza. Higienização.

ABSTRACT

In recent years, sanitary demands to the production process and the final product, both by government and by consumers, have been growing more and more. One of the requirements, which makes the production and, consequently, the final product safe, is the way in which the equipment hygiene for this process is accomplished. Therefore, it is happening an increase in the number of industries that aim to apply a standard process to their respective cleaning system. This is because, currently, there are many industries that still have the sanitation done by operators, with manual work, there isn't a pattern use quantity of cleaning agents, a standard condition time and, when there is some cleaning device installed, many times its efficiency isn't guaranteed and often the sanitation needs to be complemented by an operator (TAMIME, 2008). The trend is the cleaning system to become as automated as possible, through the use of cleaning devices that assure the maximum efficiency needed and no existing demand to use any other intervention at the sanitation process for complement. Besides that, along with the standardization of time and the quantity used of cleaning agents and predefined cleaning programs, it is possible to decrease the operation costs, environmental impact, the need to disassemble equipment, in addition to assure its cleaning quality and, consequently, in a simple way, the final product quality. Because of that, the cleaning procedure most used, and that applies the criteria mentioned above, is the CIP (cleaning in place) system, which it can be implemented in automated plants or semiautomated. Usually, this implementation is done and required for food and beverage industries, pharmaceuticals and cosmetics, which need to accomplish a high sanitation level. The most common industries to use this system is the food and beverage industry, highlighted for the dairies. The CIP system consists of cycle around cleaning agents, as alkaline as acids, do properly rinse and no need to disassemble any equipment and, therefore, can guarantee that won't be any chance for contamination. In view of the above, the current graduation work aimed to carry out a bibliographical survey of the main cleaning industrial equipments methods that are available currently on the market, highlighting the CIP systems, mainly because of its functional efficiency.

Keywords: CIP. Cleaning. Sanitation.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1 IMPORTÂNCIA DA LIMPEZA EM UM PROCESSO INDUSTRIAL ALIMENTÍCIO	3
1.2 COMO A HIGIENIZAÇÃO ERA FEITA ANTES DA ERA TECNOLÓGICA ..	3
1.3 ETAPAS DO PROCESSO DE LIMPEZA.....	4
1.3.1 Remoção da Camada mais Grosseira de Resíduo	6
1.3.2 Pré-lavagem.....	6
1.3.3 Circulação de Detergente	7
1.3.4 Lavagem intermediária.....	7
1.3.5 Segunda lavagem intermediária	7
1.3.6 Desinfecção	8
1.3.7 Enxágue final.....	8
1.4 TIPOS DE AGENTES DE LIMPEZA	9
1.4.1 Para a etapa de lavagem	9
1.4.2 Para a etapa de desinfecção	12
1.5 CICLO DE SINER.....	15
1.5.1 Detergente	16
1.5.2 Temperatura	17
1.5.3 Força mecânica.....	19
1.5.4 Tempo de limpeza	19
1.6 MÉTODOS DE LIMPEZA	20
2. ADENTRANDO NO SISTEMA CIP	23
2.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE UM PROCESSO DE LIMPEZA COM SISTEMA CIP	26
2.1.1 Vantagens	26

2.1.2 Desvantagens.....	27
2.2 TIPOS DE SISTEMAS CIP	28
2.2.1 Sistema CIP de caminho único.....	28
2.2.2 Sistema CIP de uso único.....	30
2.2.3 Sistema CIP de recuperação (sistema centralizado).....	31
2.2.4 Sistema CIP satélite (sistema descentralizado).....	33
2.3 DISPOSITIVOS DE LIMPEZA UTILIZADOS EM SISTEMAS CIP.....	34
2.3.1 <i>Spray Ball</i> Estático	34
2.3.2 <i>Spray Ball</i> Rotativo	38
2.3.3 Cabeçote Rotativo	41
3. PESQUISAS CIENTÍFICAS RELACIONADAS AO TEMA	46
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Remoção e acúmulo de resíduo. (a) Remoção de resíduos em função do tempo de limpeza (b) Acúmulo de resíduos em função do número de limpeza periódicas.	6
Figura 2: Processo ilustrativo de remoção de resíduo da parede de um equipamento	8
Figura 3: Representação dos quatro parâmetros do ciclo de Sinner.....	16
Figura 4: Ponto ótimo de concentração do NaOH como detergente em um processo de limpeza de incrustação de leite	17
Figura 5: Influência da temperatura no tempo de limpeza de resíduos contendo proteína ou amido	18
Figura 6: A influência dos diferentes parâmetros de limpeza em a) vazão em tubo, b) limpeza de um espaço morto e c) zonas de limpeza com vazão rodopiantes	20
Figura 7: Movimentação de um fluido em um espaço morto.....	22
Figura 8: Exemplos de designs que podem prejudicar a higienização da planta	23
Figura 9: As relações entre os fatores que afetam a limpeza de uma planta de processos alimentícios.....	24
Figura 10: Sistema CIP de caminho único	29
Figura 11: Sistema CIP de uso único com um tanque adicional para recuperar água de enxágue.....	31
Figura 12: Sistema CIP de reuso comum	33
Figura 13: Uma unidade CIP com várias estações CIP satélite e uma estação CIP completamente descentralizada	34
Figura 14: Ilustração de um spray ball estático	35
Figura 15: Fluxo do fluido de limpeza em um spray ball estático em funcionamento... ..	36
Figura 16: Distribuição dos parâmetros no processo de limpeza utilizando um spray ball estático	37
Figura 17: Padrão de jato de "ventilador" do spray ball rotativo	40
Figura 18: Padrão de jato de "ventilador" do spray ball rotativo	40
Figura 19: Distribuição dos parâmetros no processo de limpeza utilizando um spray ball rotativo.....	41
Figura 20: Modelo de um spray ball cabeçote rotativo	43
Figura 21: Como se dá a vazão do fluido de limpeza pelos bocais do cabeçote rotativo	43
Figura 22: Distribuição dos parâmetros no processo de limpeza utilizando um cabeçote rotativo.....	44

Figura 23: Esquema visual da vazão versus impacto no tanque através de um dispositivo de limpeza..... 45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Típicas sequências de limpeza.....	5
Tabela 2: pH como função da concentração de dois detergentes alcalinos.....	10
Tabela 3: Características de solubilidade e procedimentos de limpeza recomendados para alguns tipos de resíduos	11
Tabela 4: Resumo dos detergentes usados em um processo de limpeza de equipamento	12
Tabela 5: Características dos principais desinfetantes utilizados no processo de higienização em um processo alimentício	15
Tabela 6: Função e eficácia de alguns detergentes.....	17
Tabela 7: Temperaturas de limpeza para equipamentos na indústria de laticínio	18
Tabela 8: Capacidade de bombas recomendadas para garantir uma vazão de limpeza de 1,5m/s	19
Tabela 9: Um exemplo de sistema CIP de uma produção de leite branco a ambiente ...	24
Tabela 10: Um exemplo de sistema CIP de uma produção de leite branco refrigerado.	25
Tabela 11: Um exemplo de sistema CIP de uma produção de leite fermentado refrigerado	25
Tabela 12: Um exemplo de sistema CIP de uma produção de suco de laranja	26
Tabela 13: Os dois tipos de sistema CIP	28
Tabela 14: Comparação entre os três tipos de spray balls.....	44

LISTA DE SIGLAS

CIP – *cleaning in place*

COP – *cleaning out of place*

EDTA - ácido etilendiamino tetra-acético

QAC – sal quaternário de amônio

NTA – ácido nitrilotriacético

IDS – ácido imido-disuccínico

UHT – *ultra heat treatment*

PLC – *programmable logic controller*

INTRODUÇÃO

Com o surgimento da pandemia causada pela Covid-19, surgiu uma necessidade global de aumentar ainda mais os cuidados quanto à higienização, sobretudo no setor alimentício, já que muitas vezes o alimento é manuseado diretamente por um operador. E mesmo não tendo comprovações científicas de que é possível transmitir o vírus SARS-COV-2 através de alimentos, as exigências sanitárias foram atualizadas e se tornaram mais rigorosas, ao exigir um aumento de atenção na questão higiênica (ANVISA, 2020).

Dessa forma, se tornou ainda mais necessária a implementação de sistemas para limpeza que garantam a higienização dos equipamentos de um processo produtivo na indústria alimentícia, a fim de assegurar a segurança dos alimentos, os quais podem ser contaminados por agentes químicos, físicos e/ou microbiológicos, evento esse que pode ocorrer desde o processo produtivo até o consumo. A higienização não só certifica a segurança dos alimentos, mas também auxilia em uma melhor garantia de qualidade final para esses produtos, viabiliza os custos e atende as legislações (ANDRADE, 2008). Além disso, implementar novas tecnologias dentro do processo produtivo se tornou um parâmetro para a indústria global de alimentos, auxiliando na credibilidade desse mercado, pois cria uma organização e uma padronização para toda a cadeia relacionada à essa indústria (fornecedores, distribuidores e consumidores) (MODERN MATERIALS HANDLING – SUPPLY CHAIN, 2014).

Antes de detalhar quais são os tipos de higienização mais comuns em um processo produtivo de alimentos, é preciso destacar o que é higienização: é o processo que retorna as condições iniciais dos equipamentos, antes do início da produção, uma condição higiênica adequada. Essa condição consiste em eliminar ou reduzir a contaminação e disseminação dos possíveis agentes químicos, físicos e/ou microbiológicos, a partir de práticas como limpeza e desinfecção desses equipamentos (GERMANO, 2001).

Quanto aos principais tipos de método de limpeza em um equipamento na indústria de alimentos, tem-se: manual, imersão do equipamento, *cleaning in place* (CIP) e *cleaning out of place* (COP) (TAMIME, 2008) (LELIEVELD et. al., 2005).

O sistema CIP por ser um método em que é possível fazer sua automatização por completo, exigir pouco ou quase nenhum trabalho manual, não precisar abrir ou desmontar equipamentos, ele é o método mais utilizado hoje pelas indústrias de

alimentos, globalmente. Dessa forma, foram desenvolvidas tecnologias que permitem aplicar o sistema CIP nos processos de modo prático: dispositivos de limpeza, mais conhecidos como *spray balls*, e que põem em prática, de forma simplificada, os parâmetros do ciclo de Sinner (TAMIME, 2008) (MOERMAN; RIZOULIÈRES; MAJOOR, 2014).

Para ocorrer uma padronização do processo de limpeza e a melhor aplicabilidade possível da limpeza no processo, são levados em consideração quatro parâmetros: tempo, temperatura, força mecânica e concentração e composição dos agentes químicos. Esses parâmetros foram propostos por Dr. Herbert Sinner, em que resultou no que hoje é conhecido como o ciclo de Sinner: o entendimento da importância, distribuição e controle desses parâmetros e seus respectivos efeitos em assegurar que o equipamento foi limpo no padrão requerido. O ciclo de Sinner é considerado como uma fórmula de como qualquer limpeza deve seguir, em que se faz a combinação personalizada desses parâmetros conforme o tipo de rejeito, superfície ou método a ser utilizado na limpeza (TAMIME, 2008).

Tendo isso em vista, o objetivo deste presente trabalho é expor esses diferentes métodos de limpeza de equipamentos industriais existentes, com foco e análise no sistema CIP, suas possibilidades de aplicação e eficiência funcional.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 IMPORTÂNCIA DA LIMPEZA EM UM PROCESSO INDUSTRIAL ALIMENTÍCIO

É de suma importância que os alimentos estejam com garantia de higienização, salubridade e que sejam sanitários, desde a etapa de plantio ou criação do animal até a etapa de produção desses alimentos, dessa forma, garantindo segurança para o consumidor final. Isso porque os alimentos podem ser contaminados em qualquer parte da cadeia e assim podendo causar doenças de origem alimentar. Além disso, alimento seguro é considerado um aspecto relacionado ao desenvolvimento social (GERMANO, 2015).

Ter acesso a alimentos de qualidade apropriada está totalmente ligado ao poder aquisitivo de uma pessoa e/ou uma família. Um exemplo claro disso é o significado que o leite possui para as crianças, o qual representa uma fonte de proteína fácil e simples de ser ingerida e adquirida, com um valor nutricional essencial para o desenvolvimento das crianças. Porém, para isso se concretizar, essa qualidade nutricional irá depender de como as vacas forem criadas e da própria nutrição do animal antes da coleta do leite (GERMANO, 2015). Ou seja, comprar comida com atestado de qualidade significa desembolsar mais, e nem sempre isso é possível em regiões mais carentes, pois às vezes nem é possível ter acesso a esses tipos de alimentos. Isso falando da parte que antecede a produção do alimento na indústria. O risco à perda de qualidade está presente em todas as etapas da cadeia alimentícia.

Alimentos de origem animal, por exemplo, se não forem garantidas a segurança deles em toda essa cadeia, podem vir a causar doenças como tuberculose, cisticercose, toxoplasmose, entre outras. Por isso, investir em segurança é de extrema importância. Uma parte dessa segurança na indústria significa assegurar a higienização dos equipamentos para que a produção seja a de maior qualidade possível. Essa e qualidade está atrelada à segurança do alimento (GERMANO, 2015).

1.2 COMO A HIGIENIZAÇÃO ERA FEITA ANTES DA ERA TECNOLÓGICA

A vigilância sanitária surgiu no primeiro grande crescimento populacional no século XVIII, o qual acarretou o surgimento das primeiras grandes cidades. Esses

aglomerados populacionais provocaram a propagação de doenças e, por isso, passou-se a identificar a importância do saneamento e da higienização de forma mais rígida. Isso porque a higiene alimentar como parte da vida do ser humano data desde a idade média (GERMANO, 2015).

Inicialmente, a fiscalização era feita apenas em embarcações comerciais de alimentos e cemitérios. Outros setores de igual importância eram deixados de lado nesse começo, como as indústrias de alimentos e medicamentos, mercados e o transporte desses produtos. Com o avanço da medicina e da tecnologia, no fim do século XIX, conseguiu-se identificar microrganismos e bactérias que podem estar presentes em alimentos mal higienizados e sem um controle sanitário adequado. E esses patógenos são responsáveis por causar doenças ou no mínimo uma intoxicação alimentar. Assim, iniciou-se uma série de melhorias na cadeia alimentícia para tentar prevenir a contaminação dos alimentos (LELIEVELD et. al., 2005).

O primeiro processo higiênico aplicado na indústria alimentícia foi o tratamento com calor dos alimentos. Um exemplo prático de aplicação de calor em um processo é a pasteurização do leite. Enright *et. al.* (1956, 1957) criou um critério de performance envolvendo a pasteurização que previne, em um nível apropriado de segurança, contra alguns agentes patógenos (LELIEVELD et. al., 2005).

Mais à frente que foi identificado a importância da higienização nas instalações e equipamentos de uma indústria. Mesmo assim, antes da inserção de tecnologia no processo de limpeza das instalações e equipamentos, ele era feito com limpeza manual através dos operadores. Hoje em dia a limpeza manual é normalmente utilizada apenas em produções de pequena escala. Para utilizar de limpeza manual, é essencial que a atenção ao processo seja meticulosa ao extremo, tanto para o bem da saúde quanto para a segurança do operador, por isso, o ideal é utilizar de soluções químicas, detergentes e desinfetantes menos potentes, do que se utilizaria em um processo mecanizado e automatizado (TAMIME, 2008).

1.3 ETAPAS DO PROCESSO DE LIMPEZA

As etapas de um processo de limpeza, seja manual ou automatizado (como o CIP, por exemplo), tanto em indústrias alimentícias (como de laticínios, por exemplo) ou de outros setores, tendem a seguir princípios, ciclos e estágios similares:

- Remoção da camada mais grosseira de resíduo
- Pré-lavagem

- Circulação de detergente
- Enxágue intermediário
- Segundo enxágue intermediário
- Desinfecção
- Enxágue final

A Tabela 1 ilustra uma sequência típica de processo de limpeza, principalmente CIP, e seu respectivo propósito (SVENSSON, 2008).

Tabela 1: Típicas sequências de limpeza

Etapa do processo de limpeza	Propósito
Pré-lavagem com água	Remover o resíduo mais grosso
Limpeza com solução alcalina	Remover resíduo grudado às paredes (nessa etapa, principalmente proteínas e gorduras)
Enxágue intermediário com água	Remover os agentes químicos de limpeza e dissolver os resíduos
Limpeza com solução ácida	Remover resíduo grudado às paredes (nessa etapa, principalmente minerais)
Enxágue	Remover agentes químicos de limpeza
Desinfecção	Reduzir a carga microbiana a um nível seguro
Enxágue final	Remover desinfetante

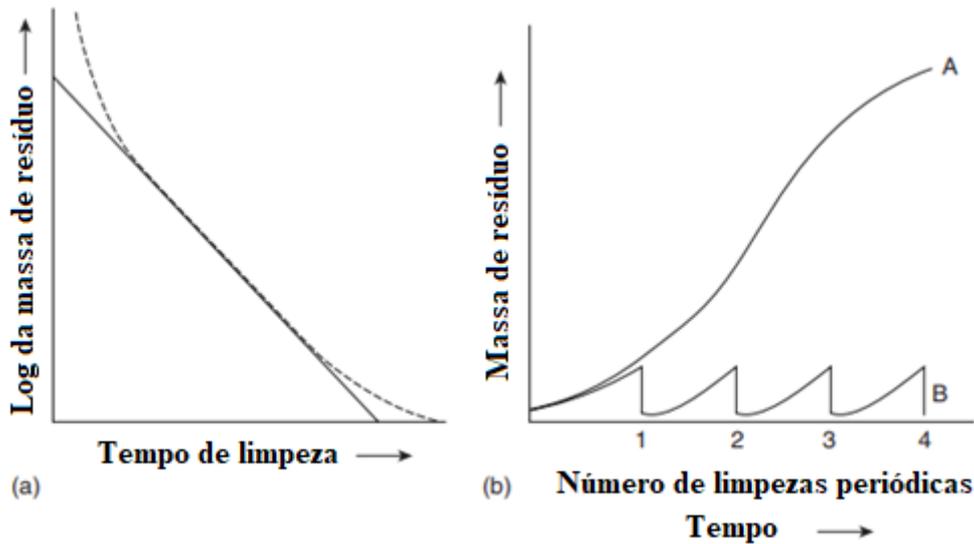
Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, nessas etapas do processo de limpeza, há quatro fatores envolvidos na aplicação: energia mecânica ou cinética, energia química, temperatura e tempo. Esses aspectos estão totalmente associados, dependendo da quantidade e/ou do parâmetro desses fatores utilizados no processo, irá impactar diretamente na eficiência da limpeza, ou seja, há um equilíbrio entre eles para cada aplicação (LELIEVELD et. al., 2014).

Por isso é importante ter limpezas de rotinas, para que o acúmulo de resíduo na superfície seja em um nível aceitável, a qual é atingida aumentando o tempo de limpeza e/ou energia, como por exemplo, fazendo uso de maiores temperaturas, uso de diferentes agentes químicos ou esfregando manualmente. A Figura 1 mostra que quanto maior o acúmulo de resíduo, menor a eficiência de limpeza. A Figura 1 (a) indica a remoção de resíduo versus tempo de limpeza. A linha constante é a remoção teórica de resíduo. A linha pontilhada é a representação da limpeza na prática. A Figura 1 (b)

mostra o acúmulo de resíduo e microrganismos versus número de limpezas periódicas, sendo a linha A sem a limpeza periódica e a linha B com limpeza periódica.

Figura 1: Remoção e acúmulo de resíduo. (a) Remoção de resíduos em função do tempo de limpeza (b) Acúmulo de resíduos em função do número de limpeza periódicas.



Fonte: Adaptado de LELIEVELD et. al. (2014).

1.3.1 Remoção da Camada mais Grosseira de Resíduo

Em um processo manual de limpeza, essa etapa é realizada para remover o produto residual, o qual é feito através de ações mecânicas pelo operador, antes do enxágue. Já em aplicações com sistema CIP, a remoção de produto residual envolve, de forma geral, drenar o produto pela ação da gravidade ou através de outros métodos, como: ar comprimido ou água. Esse estágio prévio é normalmente feito de forma incorporada ao ciclo de pré-lavagem (descrito a seguir), utilizando um sistema de válvula de desvio, a qual facilita a recuperação de produto diretamente para um vaso. O controle dessa etapa é feito comumente por um temporizador e uma válvula automatizada. Outras formas com uma tecnologia mais refinada e com mais acurácia, mas também mais caras, é fazer uso de sensores como o turbidímetro ou condutivímetro (TAMIME, 2008). Detalhes sobre o funcionamento do sistema CIP estão detalhados no tópico 1.7.

1.3.2 Pré-lavagem

A etapa de pré-lavagem é importante para o processo de limpeza, pois não é

desejável que seja introduzido uma quantidade de resíduo excessivo no tanque de detergente diluído. Essa parte do processo faz uso de água recuperada, que normalmente vem do estágio de lavagem intermediária, dessa forma, é possível reduzir o consumo de água total no processo de limpeza, gerar menos efluente a ser tratado posteriormente e aproveitar de uma possível solução de detergente residual que foi para o tanque de recuperação após a lavagem intermediária. O estágio de pré-lavagem é controlado via temporizador (TAMIME, 2008).

1.3.3 Circulação de Detergente

Do processo como um todo, a circulação de detergente é a parte principal. É nesse momento que o resíduo é retirado da superfície dos equipamentos, ficando suspenso ou dissolvido em uma solução de detergente. Um atributo importante de um detergente para essa etapa é ele ser capaz de prevenir que qualquer resíduo possa ser redepositado na recirculação. Outro ponto é a formação de espuma, que pode acontecer dependendo da formulação do detergente e que pode ser crítico, pois pode causar contaminação de produto. Esse estágio também é controlado via temporizador (TAMIME, 2008).

1.3.4 Lavagem intermediária

A lavagem intermediária serve para remover qualquer traço de detergente e resíduo possivelmente arrastado do equipamento sendo limpo, fazendo uso de água potável. Além disso, é a etapa em que é feita a recuperação da maior quantidade possível de detergente, retornando-a para o tanque de solução de detergente diluído. Como descrito anteriormente, o que foi recuperado nessa etapa é comumente reutilizado na etapa de pré-lavagem no próximo ciclo de limpeza (TAMIME, 2008) (SABESP).

1.3.5 Segunda lavagem intermediária

A segunda lavagem também é feita com água potável e gelada. A qualidade da água utilizada é um ponto crítico, caso não haja o estágio de desinfecção como próxima etapa, por isso a água é tratada com dióxido de cloro. O dióxido de cloro age como oxidante de matéria orgânica, é capaz de penetrar em membranas celulares e inativar microrganismos. (TAMIME, 2008).

1.3.6 Desinfecção

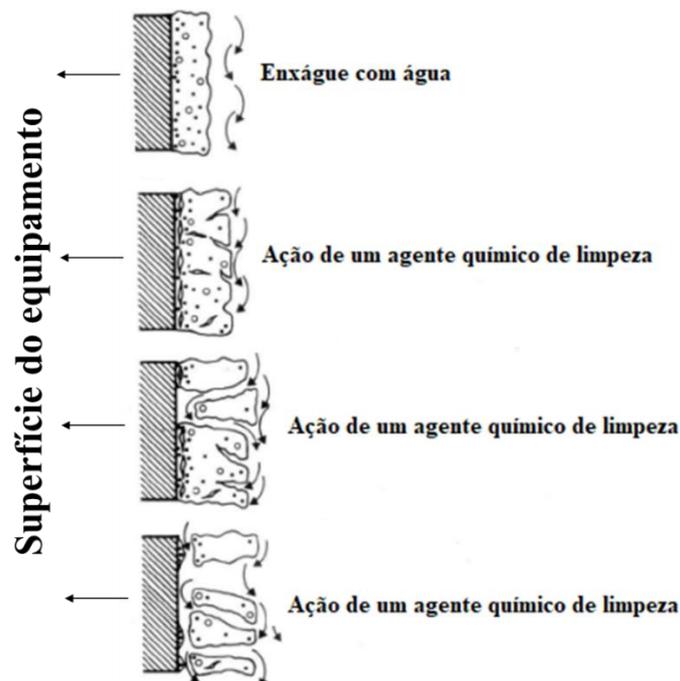
O estágio de desinfecção como parte do processo de higienização de um equipamento é realizado a frio, faz uso de biocida oxidante (como hipoclorito de sódio ou solução de ácido peracético – mistura de equilíbrio de ácido acético e peróxido de hidrogênio). Em vez de utilizar algum agente químico, também há a possibilidade de usar água quente para o processo de desinfecção, possui uma ótima eficiência, a única desvantagem é que exige uma grande quantidade energética, podendo tornar mais custoso o processo (TAMIME, 2008). A escolha dos agentes químicos para a desinfecção é também de extrema importância, pois é importante garantir a remoção dos microrganismos. O processo de lavagem com detergente também contribui para a remoção de microrganismos (LELIEVELD et. al., 2014).

1.3.7 Enxágue final

O enxágue final é realizado a frio com água potável gelada. Aqui a qualidade da água também é crítica, pois pode levar a uma contaminação pós-desinfecção e causar deterioração do produto (TAMIME, 2008) (LELIEVELD et. al., 2014).

Dessa forma, a Figura 2 ilustra o processo de remoção dos resíduos pelos agentes químicos, que começam a ocorrer após a pré-lavagem.

Figura 2: Processo ilustrativo de remoção de resíduo da parede de um equipamento



Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

1.4 TIPOS DE AGENTES DE LIMPEZA

Antes de fazer a escolha dos agentes de limpeza e desinfecção, muitas indústrias focam no custo que esses agentes irão ter para o orçamento mensal/anual, porque os agentes de limpeza são os únicos produtos que passam por uma etapa de compra antes de usá-lo no processo. Outros produtos como água, mão de obra e energia também geram custos, mas estes estão intrínsecos junto a outras partes que uma planta também utiliza, dessa forma, o custo deles fica fracionado e visualmente não é tão impactante. Porém, o gasto com os agentes de desinfecção representa em torno de 5% apenas da higienização. Por isso, a economia com os agentes de limpeza não proporcionará diminuição significativa no custo do processo de higienização. Dessa forma, é importante fazer a compra de agentes químicos de formulação com uma boa qualidade para limpeza e desinfecção, por mais que pareça custoso inicialmente, esses custos são facilmente cobertos com o aumento do padrão e eficiência de limpeza no processo (LELIEVELD et. al., 2014).

1.4.1 Para a etapa de lavagem

Para processos de limpeza “molhados” sempre é feito o uso de água, em que deve ser potável de extrema qualidade, principalmente em relação a níveis de microrganismos. A água é a opção mais barata; um meio de transporte para enxágue e dispersão de resíduos; poderes de dissolução para remover compostos iônicos, como sal e açúcar; ajuda a solubilizar proteínas abaixo do seu ponto de coagulação; emulsifica gordura a temperaturas acima de seu ponto de fusão; e em altas pressões de limpeza, pode ser usado como agente abrasivo. Para resíduos não iônicos, a água é um agente “molhador” pobre, pois não consegue dissolvê-los (LELIEVELD et. al., 2014).

Por conta de a água ser um agente “molhador” pobre em compostos não iônicos, é feito o uso de surfactantes orgânicos, o qual possui parte de sua cadeia com caráter polar (hidrofílica) e outra com caráter apolar (hidrofóbica). Os surfactantes agem reduzindo a tensão da água na superfície e emulsificando as gorduras. Dessa forma, aumentam a molhabilidade, levando a melhores penetrações nos resíduos e nas irregularidades das superfícies, ocasionando um aumento da ação de limpeza (LELIEVELD et. al., 2014).

Compostos alcalinos e ácidos também podem ser usados na etapa de lavagem, eles agem quimicamente com os resíduos alimentícios. Os alcalinos são agentes de limpeza bastante úteis devido ao seu baixo custo, quebram as proteínas através da ação

de íons hidroxilas, saponifica gorduras e a altas concentrações podem apresentar caráter bactericida. Alcalinos fortes, normalmente hidróxido de sódio ou soda cáustica, apresentam um alto nível de saponificação de gordura a quebra de proteínas. A fim de reduzir o tempo de limpeza, o pH de soluções alcalinas devem ser entre 12 e 13. Por outro lado, são compostos corrosivos e perigosos para o uso dos operadores. Já alcalinos fracos são menos perigosos, porém são menos efetivos (LELIEVELD et. al., 2014) (SVENSSON, 2008). Daí a importância do uso de equipamentos para performar a limpeza nos equipamentos.

As principais desvantagens do uso de agentes alcalinos como agentes de limpeza são seu alto potencial de precipitar íons fortes da água (dureza da água), formação de espumas com o sabão e sua pobre capacidade de oferecer um enxágue adequado (LELIEVELD et. al., 2014). A Tabela 2 mostra o pH como uma função da concentração para dois detergentes alcalinos.

Tabela 2: pH como função da concentração de dois detergentes alcalinos

Concentração	0,25	0,5	1,0	2,0
NaOH	12,5	12,8	13,0	13,3
Na ₂ CO ₃	11,3	11,4	11,6	11,7

Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

Para os ácidos como agentes de limpeza, principalmente o ácido nítrico, possuem característica de baixa detergência. Porém, são bastante úteis em solubilizar carbonatos, compostos minerais, sais fortes de água e resíduos proteicos. Similar aos compostos alcalinos, quanto mais forte o ácido mais efetivo é o processo de limpeza e mais corrosivo e perigoso é para os operadores. (LELIEVELD et. al., 2014).

Outro tipo de detergente seriam os agentes sequestrantes, os quais são usados para prevenir íons minerais de precipitarem através da formação de complexos solúveis com esses íons. Mas, seu uso principal é para controlar os íons fortes de água, por isso que os agentes sequestrantes são normalmente adicionados aos surfactantes a fim de ajudar na sua capacidade de enxágue. O agente sequestrante mais comum é o ácido etilendiamino tetra-acético (EDTA), porém tem um alto custo. (LELIEVELD et. al., 2014) (SVENSSON, 2008). Há outros agentes sequestrantes como opção, como por exemplo, os polifosfatos, porém não são boas escolhas do ponto de vista ambiental, isso porque são compostos que aumentam a eutrofização de corpos d'água, como rios e

lagos, aumentando, por exemplo, a mortalidade de peixes (CETESB, 2023).

De forma geral, o propósito do detergente é conter um alcalino forte para saponificar as gorduras, surfactantes para melhorar a molhabilidade e agentes sequestrantes para ajudar no enxágue e no controle dos íons fortes de água. O detergente deve ser seguro, não-contaminante, não-corrosivo, estável, ecologicamente correto e barato. Tendo isso em vista, pode-se escolher o detergente mais adequado como agente de limpeza. Assim, a escolha irá depender do resíduo a ser removido e das suas características de solubilidade. Essas possibilidades estão resumidas na Tabela 3, para alguns tipos de resíduos (LELIEVELD et. al., 2014) (ELLIOT, 1980).

Tabela 3: Características de solubilidade e procedimentos de limpeza recomendados para alguns tipos de resíduos

Tipo de resíduo	Características de solubilidade	Agente de limpeza recomendado
Açúcares, ácidos orgânicos, sais	Solúvel em água	Detergente levemente alcalino
Alimentos com muita proteína (carne, aves, peixes)	Solúvel em água Solúvel em alcalinos Muito pouco solúvel em ácidos	Detergente alcalino clorado
Comida com amido, tomate, frutas	Parcialmente solúvel em água Solúvel em alcalinos	Detergente levemente alcalino
Comidas gordurosas (manteiga, margarina, óleos)	Solúvel em água Solúvel em alcalinos	Detergente levemente alcalino, se ineficaz, usar um alcalino forte
Dureza da água antecipada pelo calor, pedra de leite	Insolúvel em água Insolúvel em alcalinos Solúvel em ácido	Agente ácido como limpeza

Fonte: Adaptado de Elliot (1980).

Além disso, a Tabela 4 mostra um resumo dos diferentes detergentes usados na limpeza de equipamentos alimentícios.

Tabela 4: Resumo dos detergentes usados em um processo de limpeza de equipamento

Alcalinos	Ácidos	Agentes sequestrantes
NaOH		EDTA - ácido etilendiamino tetra-
KOH	HNO ₃	acético
Na ₂ CO ₃	H ₃ PO ₄	NTA - ácido nitrilotriacético
		IDS - ácido imido-disuccínico
		Gluconato

Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

Mesmo escolhendo o detergente adequado para o processo de limpeza e outros aspectos importantes para o processo já terem sido colocados em prática, pode acontecer da limpeza falhar e, nesse caso, a reação natural é querer aumentar a concentração do detergente. Porém, isso pode ser contra produtivo. Muitos experimentos e muitas investigações indicam que há um ótimo de concentração de detergente e que aumentar leva à uma eficácia menor de limpeza (esse ótimo irá depender do tipo de detergente). Isso se explica porque aumentar a concentração do detergente não necessariamente aumenta a taxa de limpeza e excesso de concentração de detergente pode causar uma superfície vítrea no resíduo, impedindo a solução de limpeza de penetrar (SVENSSON, 2008).

Dessa forma, a solução pode não ser aumentar a concentração de detergente quando há algum problema no processo de limpeza, deve-se considerar mexer em outros parâmetros, como a vazão, temperatura e/ou tempo de limpeza (SVENSSON, 2008). Adiante é exposto o Ciclo de Sinner que ilustra a interdependência que os parâmetros de limpeza apresentam.

1.4.2 Para a etapa de desinfecção

Mesmo com a maioria dos microrganismos sendo removidos pela etapa de limpeza, é totalmente possível que alguns ainda tenham permanecido na superfície, que leva a obrigação de se ter a etapa de desinfecção. Por isso, o objetivo da desinfecção é reduzir a população duradoura de microrganismos na superfície dos equipamentos, através da remoção ou destruição e/ou prevenir crescimento microbiológico nas superfícies durante o período entre produção (LELIEVELD et. al., 2014)

O uso de temperaturas elevadas é a melhor opção de desinfetante, pois penetra nas superfícies, é não-corrosiva, não é seletiva microbiologicamente, é facilmente medida e controlada e não deixa nenhum resíduo (JENNING, 1965). Porém, utilizar

essa opção nas superfícies de equipamentos na indústria não é viável, pois o uso de água quente, vapor ou chamas não é econômico, difícil de se aplicar por conta das altas temperaturas, pode fazer com que o resíduo pegue fogo e é perigoso para os operadores. Por isso, é utilizado biocidas químicos. Assim, é recomendado que o desinfetante utilizado no processo de higienização tenha as seguintes características (LELIEVELD et. al., 2014):

- Propriedades de destruição microbiana com atividade uniforme e que possua um amplo espectro de combate a morte de vírus, bactérias vegetativas, leveduras e mofo;
- Resistir a ambientes na presença de matéria orgânica, detergente, sabão, ação da água e pH diferentes;
- Boas propriedades de limpeza;
- Propriedades não tóxicas e não irritantes;
- Solúvel em água;
- Não-contaminante;
- Estabilidade em diluição concentrada;
- Baixo custo;
- Fácil de usar;
- Disponibilidade de ser usado prontamente;
- Fácil de ser medido em solução.

Os produtos químicos mais comumente usados como desinfetantes são:

- Químicos que liberam cloro;
- Sal quaternário de amônio (QAC);
- Compostos anfóteros;
- Alcoois;
- Ácido peracético.

O cloro é o desinfetante mais barato e está disponível como hipoclorito (ou não muito usualmente, como gás cloro). Ácido hipocloroso é produzido quando uma dessas fontes é adicionada à água. Ele possui atividade em vários microrganismos, como os esporos e é pouco custoso, mas ele tem sua atividade desinfetante rapidamente reduzida por matéria orgânica, pois ela consome parte de sua quantidade. Além disso, compostos de cloro na forma não diluída são corrosivos aos equipamentos, podem ser perigosos à saúde dos operadores, sendo preciso ser manuseados com cuidado e sempre nas

concentrações corretas (LELIEVELD et. al., 2014).

Os QAC's possuem caráter polar e apolar e são detergentes catiônicos. Mesmo tendo pouco efeito em esporos, por exemplo, são ambos ambientalmente corretos e seguros para os operadores. Porém, alguns compostos alcalinos (agentes aniônicos com capacidade de molhabilidade) podem reduzir a ação bacteriana dos QAC's. Outras características relevantes dos QAC's (LELIEVELD et. al., 2014):

- São compostos estáveis na forma concentrada e possuem uma validade longa;
- São mais seguros de manusear na sua forma concentrada do que as soluções de hipoclorito e são pouco corrosivos em metais;
- Bastante espuma pode ser produzida durante a recirculação por conta de possuir uma alta atividade na superfície. QAC's também são difíceis de serem enxaguados.

Os compostos anfóteros possuem uma atividade e os benefícios de forma bem similar com os QAC's. Possuem boas propriedades esterilizantes e desinfetantes. Por outro lado, devido sua característica de formar bastante espuma, não é um composto recomendado para sistemas CIP. Esses compostos são normalmente utilizados em limpezas manuais, já que não são corrosivos e irritantes para a pele, sendo um agente químico seguro para os operadores (LELIEVELD et. al., 2014).

No setor alimentício, é bastante comum o uso de compostos à base de álcool. Etanol e álcool isopropílico possuem propriedade bactericidas e virucidas (porém não tem propriedade esporicida) (HUGO E RUSSEL, 1999). Só que esses compostos só possuem atividade em ambientes sem matéria orgânica, isto é, as superfícies precisam estar limpas. São normalmente utilizados em diluição entre 60-70% onde possuem uma maior efetividade, isso porque, nessa concentração, há quantidade suficiente de água, a qual ajuda na entrada do álcool para dentro das bactérias e vírus, causando uma desnaturação mais eficiente. Além disso, são seguros de se manusear pelos operadores (LELIEVELD et. al., 2014).

O ácido peracético proporciona rapidez e um amplo espectro de eliminação de esporos, é um composto bastante efetivo em sua ação, porém perigoso para uso. (LELIEVELD et. al., 2014).

Para controlar a eficiência do processo de desinfecção são considerados cinco fatores, além da escolha da formulação do desinfetante: presença de matéria orgânica, pH, temperatura, concentração e tempo de contato (LELIEVELD et. al., 2014).

Levando os fatores em conta, na Tabela 5 é possível ver os desinfetantes mais comuns sendo comparados. A Tabela 5 basicamente confirma que os QCA's, anfóteros e álcoois são os usados predominantemente em processos de higienização em plantas de processos alimentícios, porque eles combinam propriedades antibacterianas e são seguros tanto para o operador, como para o meio ambiente (LELIEVELD et. al., 2014).

Tabela 5: Características dos principais desinfetantes utilizados no processo de higienização em um processo alimentício

Propriedade	Cloro	QAC	Anfótero	Álcool	Ácido peracético
Gram positivo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Gram negativo	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Verde
Esporo	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Verde
Levedura	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Verde
Resistência microbiana desenvolvida	Vermelho	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho
Inativação por matéria orgânica	Verde	Amarelo	Amarelo	Verde	Amarelo
Propriedades de detergência	Vermelho	Verde	Amarelo	Vermelho	Vermelho
Atividade de superfície	Vermelho	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Potencial de formação de espuma	Vermelho	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Corrosão	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Potencial impacto ambiental	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Custo	Vermelho	Verde	Verde	Verde	Amarelo

Fonte: Adaptado de Lelieveld et. al. (2014).

Vermelho: sem efeito ou problema; Amarelo: efeito; Verde: bastante efeito

1.5 CICLO DE SINER

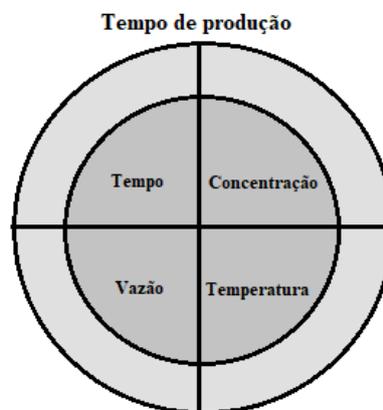
Em 1960, Dr. Herbert Sinner propôs que a energia necessária para remover os resíduos da superfície dos equipamentos de processo pode ser dividido em quatro fatores (TAMIME, 2008):

- Fator químico, ou seja, a composição do detergente;
- Aplicação de calor, ou seja, a temperatura utilizada;
- Força mecânica usada, ou seja, impactos e tensão de cisalhamento;

- Tempo de contato do detergente, de acordo com sua concentração.

Esses fatores podem ser expressos em gráfico de pizza, conforme a Figura 3. O papel de cada fator pode ser entendido como o tamanho de cada fatia do gráfico. Dessa forma, o ciclo de Sinner é amplamente usado para descrever e entender as influências individuais de cada um desses parâmetros, tanto para o processo quanto para economia operacional (TAMIME, 2008). Por isso, saber qual desses quatro parâmetros é o mais importante, já que a redução de custo e consumo de energia é importante para otimizar o processo de limpeza.

Figura 3: Representação dos quatro parâmetros do ciclo de Sinner



Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

1.5.1 Detergente

A efetividade do detergente está totalmente ligada à sua atividade química, composição, concentração e propriedade de tensão superficial. O detergente deve se dissolver rapidamente e completamente em água, agir no resíduo e remover proteína, gordura, mofo etc. O detergente deve ser fácil de ser removido com água, não deve formar espuma e ser compatível com outros materiais utilizados na planta, como por exemplo, as matérias-primas e os produtos. (LELIEVELD et. al., 2005). A Tabela 6 mostra a eficácia de vários compostos de limpeza, classificados de 1 a 5, sendo 1 a menor eficácia e 5 a maior.

A Figura 4 ilustra um exemplo de experimento para incrustação de leite no intervalo de temperatura da pasteurização utilizando NaOH para limpeza. Esse gráfico mostra o ponto ótimo de concentração para o hidróxido de sódio para se ter o menor tempo de limpeza. O intervalo de concentração na indústria geralmente é maior que 0,5-

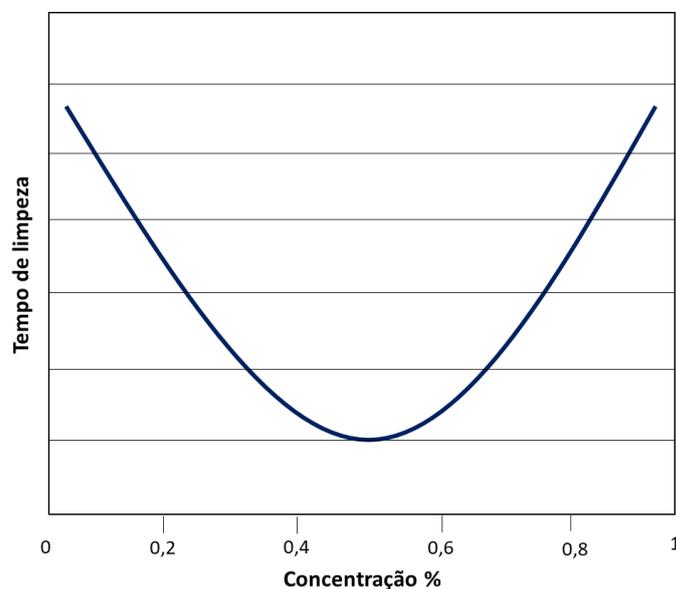
1% (m/m). Na Figura 4 pode-se constatar que nem sempre aumentar a concentração é o ideal para melhorar a eficiência do processo de limpeza caso venha a ter um problema. Os parâmetros são interdependentes, todos tem seu ponto de equilíbrio.

Tabela 6: Função e eficácia de alguns detergentes

Função de limpeza	Alcalino forte	Alcalino fraco	Polifosfastos (agentes sequestrantes)	Ácido fraco	Ácido forte	Surfactante
Quelação	1	2	5	1	1	1
Saponificação	5	4	4	4	4	2
Molhar	2	3	2	2	1	5
Emulsificação	2	3	3	1	1	5
Dispersão	3	4	2	4	1	4
Enxágue	4	4	3	2	1	5
Corrosão	5	3	1	3	5	1

Fonte: Adaptado de Lelieveld et. al. (2014).

Figura 4: Ponto ótimo de concentração do NaOH como detergente em um processo de limpeza de incrustação de leite



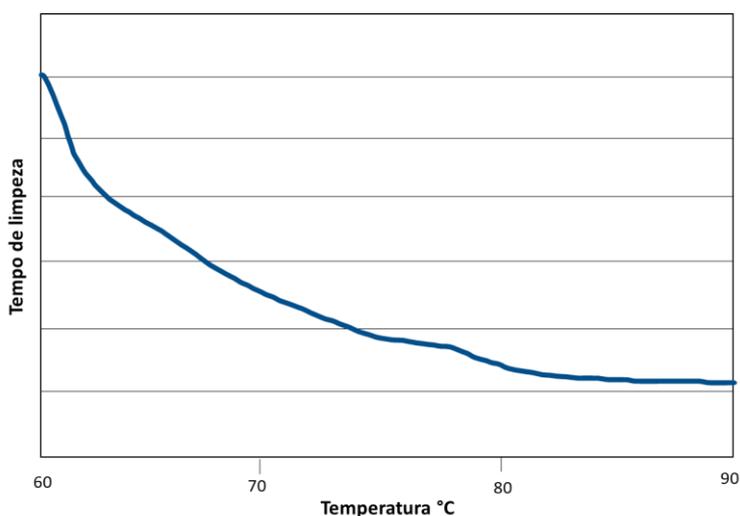
Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

1.5.2 Temperatura

A temperatura influencia diretamente a efetividade do detergente e o tempo de limpeza e a temperatura ótima para sistemas CIP é determinada pelo detergente usado

no processo de limpeza. Por exemplo, a etapa de pré-lavagem acima de 40°C não é recomendada para processos que gerem resíduos contendo proteína ou amido, pois irão sofrer ações químicas nessa temperatura, se desnaturando, e, dessa forma, impedindo as etapas de lavagem em sequência (LELIEVELD et. al., 2005). A Figura 5 ilustra a influência da temperatura no tempo de limpeza de resíduos contendo proteína ou amido.

Figura 5: Influência da temperatura no tempo de limpeza de resíduos contendo proteína ou amido



Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

Já a Tabela 7 mostra alguns “guias genéricos” para escolher o intervalo de temperaturas de limpeza para alguns equipamentos em um processo de laticínio.

Tabela 7: Temperaturas de limpeza para equipamentos na indústria de laticínio

Tipo de detergente	Temperatura (°C)	Equipamento a ser limpo
HNO ₃	60-65	Tanques, tubos, pasteurizadores
	80-85	Plantas UHT
NaOH	60-80	Caminhões tanque de coleta de leite, tanques de leite, tanques de creme, tanques de iogurte
	70-90	Pasteurizadores
	90-130	Plantas UHT, esterilizadores para pudins e sobremesas

Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

1.5.3 Força mecânica

A força mecânica influencia diretamente a vazão do detergente através do sistema. Ou seja, dependendo da vazão que o detergente chega dos tubos, essa será a força que será aplicada nas superfícies dos equipamentos. Por exemplo, quando dispositivos rotativos de limpeza de tanque são utilizados com vazão alta e pressão baixa, o impacto da força mecânica é um resultado do fluxo em cascata do detergente sobre a superfície do tanque. Ou seja, dispositivos rotativos de limpeza utilizam a energia da vazão dos detergentes para aumentar o impacto na parede do tanque. E quanto maior a força mecânica, a influência de outros parâmetros pode ser diminuída (TAMIME, 2008).

Por exemplo, a literatura diz que para um processo de limpeza com sistema CIP a vazão deve exceder, no mínimo, 1,5m/s para obter bons resultados de limpeza. A Tabela 8 dá a vazão recomendada para uma faixa de diâmetros de tubo a qual garante uma vazão mínima de limpeza de 1,5m/s (SVENSSON, 2008).

Tabela 8: Capacidade de bombas recomendadas para garantir uma vazão de limpeza de 1,5m/s

Diâmetro externo do tubo mm/polegadas	Diâmetro interno do tubo mm	Vazão (L/h)
38 / 1,5	35,6	5.400
51 / 2	48,6	10.000
63,5 / 2,5	60,3	15.400
76 / 3	72,8	22.500

Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

1.5.4 Tempo de limpeza

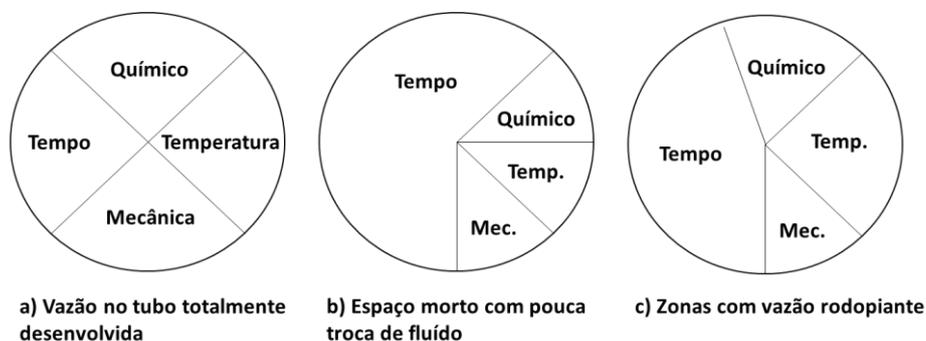
O tempo de limpeza do processo de higienização está relacionado com o tempo total do processo, o qual deve ser suficiente para que todo o resíduo tenha sido dissolvido, “molhado”, a gordura saponificada e o enxágue realizado. O tempo de reação é o tempo total que leva até a última camada de resíduo na superfície ser removida por um detergente, na correta concentração e na correta temperatura. Já o tempo total do processo de limpeza inclui desde o pré-lavagem até o enxágue final (LELIEVELD et. al., 2005).

A Figura 6 ilustra possíveis diferentes combinações/pesos que os parâmetros do ciclo de Sinner podem ter. Tem-se três casos: vazão totalmente desenvolvida no

tubo, espaço morto com pouca troca de fluido e zonas com vazão rodopiante. Deve-se considerar esses casos apenas como um guia e não algo exato (SVENSSON, 2008):

- 1º caso – vazão totalmente desenvolvida no tubo (a): os quatro parâmetros trabalham muito bem juntos para eliminar o resíduo da superfície. O tempo de contato do detergente é o suficiente para enfraquecer as ligações químicas entre o resíduo e a superfície e o resíduo possa ser removido pela vazão.
- 2º caso – espaço morto (b): nesse caso o tempo de limpeza deve ser prolongado para garantir que a solução de detergente alcance a superfície com resíduo e remova esse resíduo dissolvido. A falta de energia mecânica faz a remoção do resíduo ser muito mais difícil e aumentar a concentração de detergente terá efeitos limitado.
- 3º caso – zonas com vazão rodopiante (c): quando ocorrem zonas com vazão rodopiante, o transporte e troca de solução de limpeza é maior do que a vazão no tubo. Contudo, uma vez que a tensão de cisalhamento na parede é menor, o tempo de limpeza será maior do que no caso da vazão no tubo totalmente desenvolvida.

Figura 6: A influência dos diferentes parâmetros de limpeza em a) vazão em tubo, b) limpeza de um espaço morto e c) zonas de limpeza com vazão rodopiantes



Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

1.6 MÉTODOS DE LIMPEZA

As opções existentes de métodos de limpeza a ser aplicado numa indústria, seja de pequeno ou grande porte, são manual, imersão de equipamento, CIP (*cleaning in place*) e COP (*cleaning out of place*) (TAMIME, 2008) (LELIEVELD et. al., 2005).

- O método de limpeza manual consiste em usar de um operador para fazer a limpeza do equipamento, o qual normalmente é um tanque. Para melhorar a eficiência desse método, é necessário que o operador use da força mecânica para esfregar todo o

resíduo presente dentro do equipamento, já que agentes de limpeza mais agressivos não podem ser usados neste caso, a fim de não colocar a saúde em risco. Por isso, o que é normalmente usado para a higienização, acaba sendo água quente.

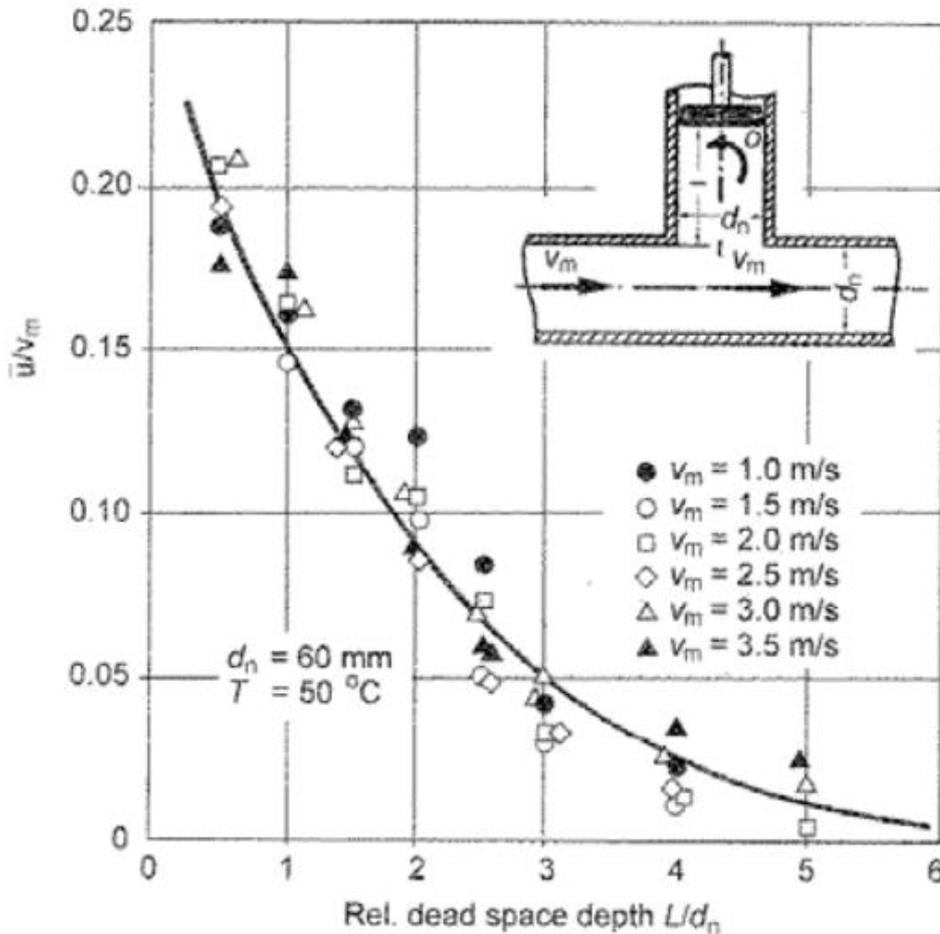
- A imersão do equipamento é quando ele é mergulhado em uma solução de limpeza, deixando-o um longo período imerso para que a performance da limpeza seja alcançada. Para melhorar a eficiência desse método pode-se introduzir um agitador no processo.

- O método *cleaning out of place*, mais conhecido como COP, consiste em desmontar os equipamentos do setor de produção e os levar para uma área a qual é designada apenas à limpeza desses equipamentos. Nesse momento é feita uma limpeza semelhante ao CIP (*cleaning in place*). O processo de desmontagem dos equipamentos é totalmente operacional. Por isso, é um processo que possui bastante riscos envolvidos, como por exemplo: possível perda de tempo de vida do equipamento e perda econômica associada e falha na limpeza dos equipamentos que pode resultar em surtos de doença causado por alimento. Esses riscos existem por conta da troca de local dos equipamentos, dificultando as condições de contorno para controle do processo. Por conta disso que procedimentos através de COP são geralmente classificados como não sendo possível atingir os níveis de exigência de higienização existentes.

- O método *cleaning in place*, mais conhecido como CIP, consiste em um sistema fechado que utiliza de alta agitação mecânica, agentes químicos agressivos, altas temperaturas e um tempo determinado para realizar a limpeza do equipamento, tornando o sistema para a limpeza do processo mais padronizado. Além disso, há a vantagem de que toda a limpeza feita é sem desmontar nenhum equipamento e sem nenhuma intervenção operacional, ou seja, um método com uso menos intensivo de mão de obra humana, o que ocasiona em ciclos de limpeza mais curtos e com menos erros, além de manter a segurança e saúde dos operadores. Um ponto a se atentar para o sistema CIP é o design da instalação a fim de evitar a presença de poços, fendas, frestas, arestas vivas, fios e/ou becos sem saída, pois se isso não for considerado o tempo de limpeza aumenta consideravelmente e ainda pode haver um risco de contaminação. Instalações inadequadas e imprecisas e superfícies porosas ou ásperas podem facilitar a proliferação bacteriana. Um exemplo de instalação inadequada pode vir a ser o acessório de tubulação em formato de “T”, pois seu formato diminui drasticamente a eficiência da limpeza, já que há uma diminuição de velocidade nesse tipo de acessório e se ele estiver localizado em uma parte do processo em que há a chance de proliferação

bacteriana, aumenta-se a possibilidade de contaminação. A Figura 7 ilustra a velocidade do fluido que entra numa zona “T” como função da profundidade do espaço morto gerado devido à geometria do acessório.

Figura 7: Movimentação de um fluido em um espaço morto

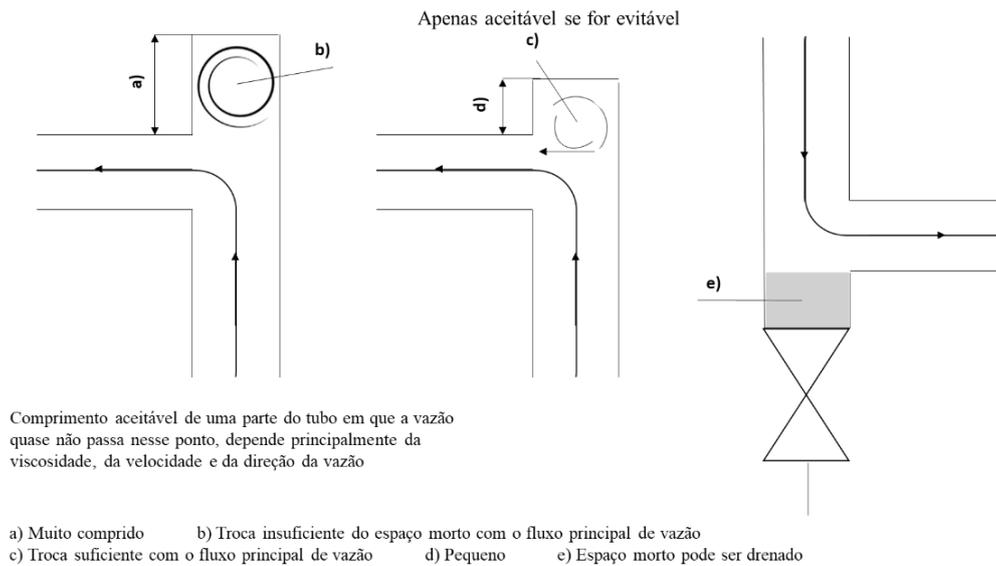


Fonte: Autorizado por Tetra Pak.

A Figura 8 mostra mais alguns exemplos de possíveis designs que coloca a higienização da planta em risco.

Por isso, é bom salientar que fazer o design e o gerenciamento do processo de limpeza é extremamente importante, mas antes de tudo, os equipamentos de processos devem ter um design feito para a higienização (SVENSSON, 2008).

Figura 8: Exemplos de designs que podem prejudicar a higienização da planta



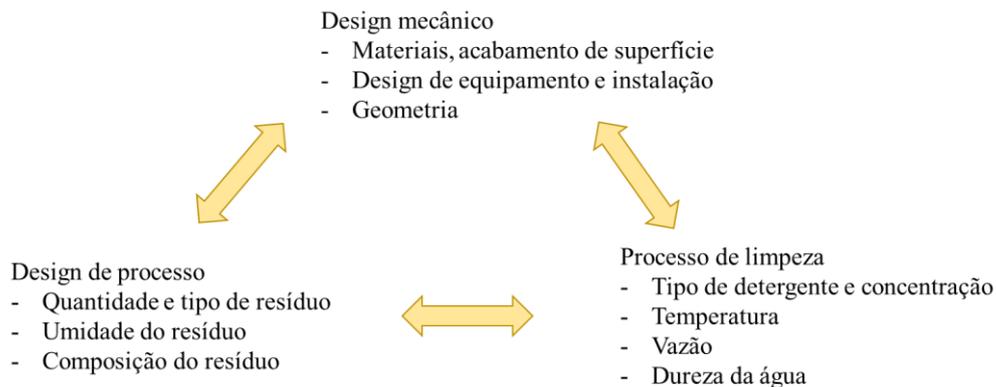
Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

2. ADENTRANDO NO SISTEMA CIP

De forma geral, a etapa de limpeza de um equipamento é necessária para todos os produtores de alimentos. O processo de limpeza com sistema CIP deve ser planejado de uma forma que interfira o menos possível no tempo de produção. Por isso, para diminuir o tempo do CIP é importante considerar o processo como um todo. A limpeza não deve ser considerada como um evento isolado.

Dito isso, há fatores que influenciam na limpeza das plantas industriais, como: design mecânico, design de processo e o processo de limpeza. A Figura 9 ilustra como se dá essa interdependência. Nela, pode ser visto como o design de processo está relacionado com o processo de limpeza através do tipo de resíduo na superfície do equipamento. O tipo e a concentração do detergente devem ser escolhidos de forma que seja apropriado para o resíduo. O design mecânico “governa” ambos, o processo de limpeza e o design de processo. Como falado anteriormente: projetar e gerenciar o processo de limpeza é de extrema importância, mas, antes de tudo, o equipamento deve ter sido projetado para a higienização (SVENSSON, 2008).

Figura 9: As relações entre os fatores que afetam a limpeza de uma planta de processos alimentícios



Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

Sobre o sistema CIP em si, ele segue o processo padrão já explicado anteriormente: remoção da camada mais grosseira de resíduo, pré-lavagem, circulação de detergente, enxágue intermediário, segundo enxágue intermediário, desinfecção e enxágue final (LELIEVELD et. al., 2014). Dessa forma, é importante falar porque o CIP é o sistema mais amplamente utilizado na indústria de alimentos, especialmente laticínio, abordando suas vantagens e desvantagens. Ou seja, a ideia é mostrar como é mais vantajoso do que desvantajoso. Assim, abaixo tem-se as Tabelas 9, 10, 11 e 12 mostrando alguns exemplos de CIP em alguns tipos de produção.

Tabela 9: Um exemplo de sistema CIP de uma produção de leite branco a temperatura ambiente

Limpeza diária de superfícies não-aquecidas (por exemplo, tanques e tubos)	
Etapa de limpeza	Temperatura (°C)
Enxágue com água	>10
Circulação de NaOH (1,5%)	60-80
Enxágue com água	50
Circulação de ácido (0,8%)	60-65
Enxágue com água	Fria

Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

Tabela 10: Um exemplo de sistema CIP de uma produção de leite branco refrigerado

Etapa de limpeza	Temperatura (°C)	Duração (min)
Limpeza diária de superfícies não-aquecidas (por exemplo, tanques e tubos)		
Enxágue com água	>10	
Circulação de NaOH (1,5%)	60-80	
Enxágue com água	50	
Circulação de ácido (0,8%)	60-65	
Enxágue com água	Fria	
Limpeza diária de superfícies aquecidas (por exemplo, pasteurizadores)		
Enxágue com água	>10	10
Circulação de NaOH (1,5-2%)	75-95	30
Enxágue com água	Fria ou aquecida	5-10
Circulação de ácido (1-2%)	65	20
Enxágue com água	Fria	10

Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

Tabela 11: Um exemplo de sistema CIP de uma produção de leite fermentado refrigerado

Etapa de limpeza	Temperatura (°C)	Duração (min)
Limpeza diária de superfícies não-aquecidas (por exemplo, tanques e tubos)		
Enxágue com água	>10	
Circulação de NaOH (1,5%)	60-80	
Enxágue com água	50	
Circulação de ácido (0,8%)	60-65	
Enxágue com água	Fria	
Limpeza diária de superfícies aquecidas (por exemplo, pasteurizadores)		
Enxágue com água	>10	10
Circulação de NaOH (1,5-2%)	95	30
Enxágue com água	Fria ou aquecida	5-10
Circulação de ácido (1-2%)	65	20
Enxágue com água	Fria	10

Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

Tabela 12: Um exemplo de sistema CIP de uma produção de suco de laranja

Etapa de limpeza	Temperatura (°C)	Duração (min)
Limpeza diária de superfícies não-aquecidas (por exemplo, tanques e tubos)		
Enxágue com água	>10	3-5
Circulação de NaOH (1,5%)	70	10
Enxágue com água	Fria	5
Limpeza diária de superfícies aquecidas (por exemplo, trocadores de calor)		
Enxágue com água	>10	3-5
Circulação de NaOH (1,5%)	70	20
Enxágue com água	Fria	10

Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

2.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE UM PROCESSO DE LIMPEZA COM SISTEMA CIP

2.1.1 Vantagens (SVENSSON, 2008)

- Sistema adequado para limpar uma ampla seleção de equipamentos: limpeza de tanques, tubos, bombas, válvulas, trocadores de calor, centrífugas, homogeneizadores etc.;
- Esforço manual mínimo: operações manuais são reduzidas ou eliminadas por completo a depender do grau de automação existente na planta;
- Facilmente automatizada: limpeza de alta qualidade reproduzível, a qual resulta em menos contaminação cruzada entre lotes de produtos e produtos fora de especificação, já que há uma padronização no processo de limpeza, cada limpeza é igual à anterior;
- Melhora da higiene: Em um sistema fechado de CIP sem nenhum contato humano, maiores temperaturas e detergentes mais fortes podem ser usados em circulação na linha. E, além disso, muitas vezes uma maior vazão e turbulência são aplicadas. Os fluídos podem ser distribuídos mais uniformemente ou mais soluções podem ser aplicadas em áreas maiores com resíduos enquanto menores áreas de resíduo podem ser tratada menos agressivamente. E, como a integridade física do equipamento é mantida durante o CIP, re-contaminação é menos provável;
- Rastreabilidade das operações de limpeza: sistemas automatizados de CIP podem armazenar sequências de limpezas e parâmetros chave (tempo, temperatura, químicos e ação mecânica), promovendo um monitoramento,

documentação e rastreabilidade;

- Aumento do tempo de disponibilidade da planta: com o sistema CIP é possível diminuir o tempo de inatividade da planta para o processo de limpeza, fazendo com que haja mais tempo de produção. Isso acontece porque os tanques e os tubos podem ser limpos assim que ficam vazios, após o término da produção, e vice-versa, esses equipamentos já podem ser enchidos novamente após a limpeza. Não é preciso gastar nenhum tempo em desmontar e montar os equipamentos;

- Redução de desgastes e danos pela montagem e desmontagem dos equipamentos: a alta frequência de montagem e desmontagem dos componentes dos equipamentos comumente limpos no processo de higienização pode causar danos irreversíveis às suas superfícies usinadas. Como não é o caso de um sistema CIP, há menos custos com manutenção e reparos;

- Menor impacto ambiental: devido à recuperação parcial ou até total das soluções de limpeza e água utilizada no enxágue para alguns tipos de sistemas CIP, economias significantes com água, detergente e consumo de energia são resultados em uma planta. Além disso, a quantidade de efluente e carga de poluição é bastante menor. Outro ponto, mesmo em sistemas CIP que não possuem etapas de recuperação de solução de limpeza e água, a quantidade usada é menor que um método de limpeza manual, pois independente do sistema CIP existente na planta, se faz o uso de dispositivo de limpeza no equipamento a ser limpo, o que por si só já diminui a quantidade de químicos e água utilizados na limpeza.

- Custo consideravelmente menor: as economias de água, detergente, desinfetantes, energia, tratamento de efluente, carga horária e retrabalhos causados por produtos fora de especificação entram como diminuição de custo;

- Maior segurança para os operadores: o sistema CIP reduz a exposição dos operadores às atmosferas e condições de limpeza perigosas, como altas temperaturas, agentes de limpeza agressivos e desinfetantes. O uso de escadas ou suportes para a entrada em tanques, que podem vir a escorregar e o risco de quedas também são eliminadas.

2.1.2 Desvantagens (SVENSSON, 2008)

- Alto custo inicial: o investimento para implementar o sistema CIP em uma nova planta ou adaptar em uma já existente é bastante alto, especialmente porque a

maioria dos sistemas CIP são feitas de forma customizadas. A complexidade de hardware e software para controlar e monitorar um sistema CIP aumentam ainda mais as despesas de capital inicial. Por outro lado, o *payback* de investimento é normalmente em menos de um ano, por conta da diminuição de uso de carga horária com os operadores, agentes químicos e custo de energia;

- O CIP não é adequado para remover resíduos pesados e insolúveis: o sistema CIP falta efetividade na remoção de resíduos pesados na indústria de carne e aves, por exemplo;
- Aumento de manutenção: equipamentos mais sofisticados requerem um custo maior com manutenção.

2.2 TIPOS DE SISTEMAS CIP

Há dois principais sistemas CIP's: sistema de uso único, em que as soluções CIP usadas no processo de higienização são descartadas depois, e sistema de reuso, em que as soluções CIP usadas no processo de higienização são armazenadas em tanques e os químicos são adicionados à medida em que é preciso. Sistemas CIP de uso único são divididos ainda em mais duas categorias: caminho único e uso único. Sistemas CIP de reuso também são divididos em mais duas categorias: recuperação CIP (sistema centralizado) e satélite CIP (sistema descentralizado). A Tabela 13 resume como se dá a classificação (SVENSSON, 2008).

Tabela 13: Os dois tipos de sistema CIP

Sistemas de uso único		Sistemas de reuso	
Sistema de caminho único	Sistema de uso único	Sistema de recuperação	Sistema satélite

Fonte: Adaptado de Svensson (2008).

2.2.1 Sistema CIP de caminho único

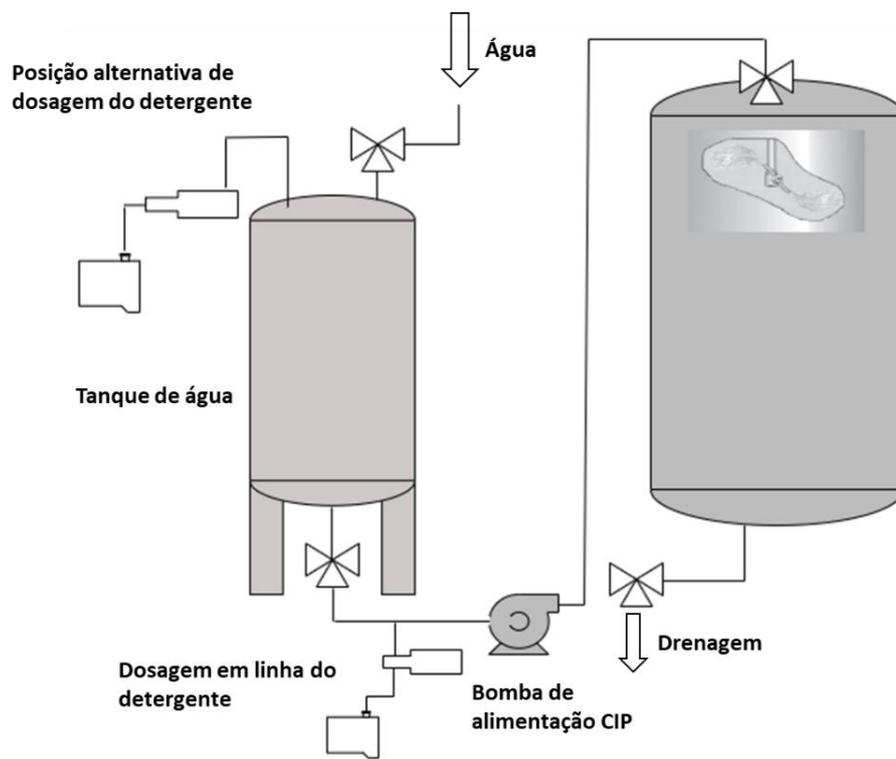
Em um sistema de caminho único, uma solução de limpeza recém preparada é fornecida de um tanque cheio de água, em que os agentes químicos foram adicionados no tanque ou em linha. Não há nenhuma circulação de resíduo no processo de limpeza; água e soluções enxaguadas são retornadas para o tanque inicial da instalação CIP e a solução de limpeza é drenada. Dessa forma, é possível prevenir resíduo de se espalhar para outras partes do processo. Dificilmente é preciso algum investimento adicional em

equipamento para esse sistema. A Figura 10 mostra um sistema CIP de caminho único (LELIEVELD et. al., 2014).

A principal desvantagem do sistema é que os fluídos de limpeza são utilizados uma única vez, ou seja, são descartados no fim do ciclo de limpeza. Assim, os custos de funcionamento desse sistema CIP podem ser altos com detergentes, desinfetantes, energia e água. Além do mais, grandes quantidades de efluentes são produzidos, aumentando o tratamento de água e o custo de disposição dessa água. O tempo de limpeza para esse sistema também tende a ser alto, pois para todo ciclo uma nova batelada de solução de limpeza deve ser preparada (LELIEVELD et. al., 2014).

Por isso, esse método é apenas recomendado para plantas relativamente pequenas e com bastante resíduos ou para equipamentos especializados. É um método também apropriado e comum de ser usado quando o risco de contaminação cruzada é alto (LELIEVELD et. al., 2014).

Figura 10: Sistema CIP de caminho único



Fonte: Adaptado de Lelieveld et. al. (2014).

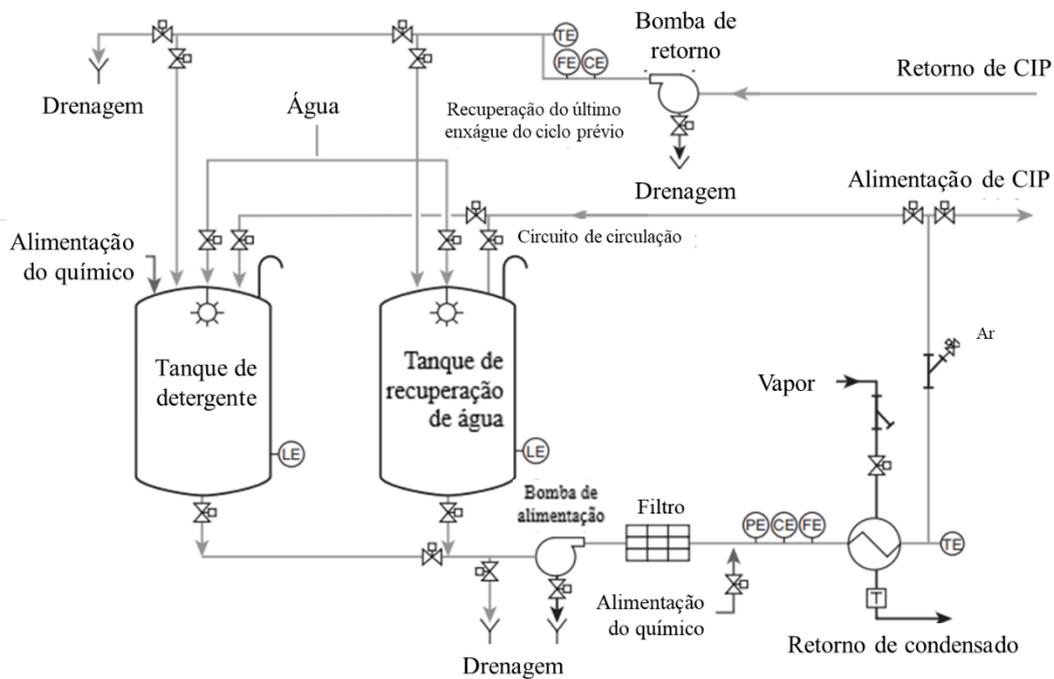
2.2.2 Sistema CIP de uso único

Os sistemas CIP de uso único utilizam volumes menores de solução, ajustados automaticamente à concentração requerida e a temperatura, com uma preparação para o ciclo em questão. Esse sistema, como mostra a Figura 11, são normalmente pequenas unidades “empacotadas”, *skids*, com um tanque, tubos, bombas centrífugas, válvulas e algumas bombas de dosagem. Dessa forma, a solução pode ser aquecida por um trocador de calor externo, uma jaqueta em tanque ou dispositivo que injeta vapor diretamente. Esses sistemas utilizam a solução apenas uma vez, na menor concentração possível, para que possa ser descartada no esgoto no fim de cada ciclo (LELIEVELD et. al., 2005).

O tanque deve ter uma capacidade grande o suficiente para o equipamento de processo e tubos a serem limpos. A fim de reduzir as perdas com a etapa de enxágue intermediário e as descargas do processo de limpeza, os caminhos de entrada e saída do sistema devem ser curtos, assim, acaba exigindo que o sistema CIP esteja localizado adjacente aos equipamentos a serem higienizados. Com isso, o consumo com soluções de limpeza pode ser minimizado e as taxas de efluentes reduzidas. Para ajudar ainda mais nessa diminuição, um tanque adicional de água pode ser instalado dentro do sistema CIP a fim de reter o volume do último enxágue de água, que pode ser usado posteriormente no próximo ciclo de limpeza para a etapa de pré-lavagem, sendo a principal diferença entre o sistema CIP de uso único e o sistema CIP de caminho único, a existência de um tanque de recuperação de água (LELIEVELD et. al., 2014).

Os sistemas de uso único são geralmente pequenos em tamanho, simples no design, pequeno investimento inicial e flexível nas aplicações. São geralmente utilizados para equipamentos relativamente pequenos, mas bastante sujos ou para processos com contaminação cruzada estritamente proibida de acontecer (LELIEVELD et. al., 2014).

Figura 11: Sistema CIP de uso único com um tanque adicional para recuperar água de enxágue



TE = temperatura, FE = vazão, LE = nível, PE = pressão, CE = condutividade

Fonte: Adaptado de Lelieveld et. al. (2014).

2.2.3 Sistema CIP de recuperação (sistema centralizado)

Um sistema CIP centralizado é normalmente utilizado em plantas pequenas onde a distância entre a estação de CIP e os equipamentos a serem limpos é relativamente curta (LELIEVELD et. al., 2014).

Na Figura 12 mostra um típico sistema CIP de reuso, em que consiste em um tanque cáustico, tanque ácido, tanque de recuperação de água (água de recuperação do último enxágue do ciclo anterior de limpeza, o qual é reusado como pré-lavagem no ciclo seguinte) e um tanque contendo água para o enxágue final. Todos os tanques são interconectados por tubos, com válvulas e *manifolds* e bombas de retorno (LELIEVELD et. al., 2014).

O circuito de recirculação também é equipado com um trocador de placas ou tubos para esquentar as soluções e mantê-las na temperatura desejada. A recirculação acontece até a solução de limpeza esteja com uma concentração e temperatura adequada para iniciar o sistema CIP (LELIEVELD et. al., 2014).

Quando a solução está pronta, a válvula do tanque de recirculação se fecha e a válvula de alimentação do CIP se abre, permitindo a solução de limpeza entrar na linha do CIP. No retorno de CIP, as soluções de limpeza podem ser encaminhadas de volta para o sistema CIP, usando uma baixa velocidade com a bomba de retorno (LELIEVELD et. al., 2014).

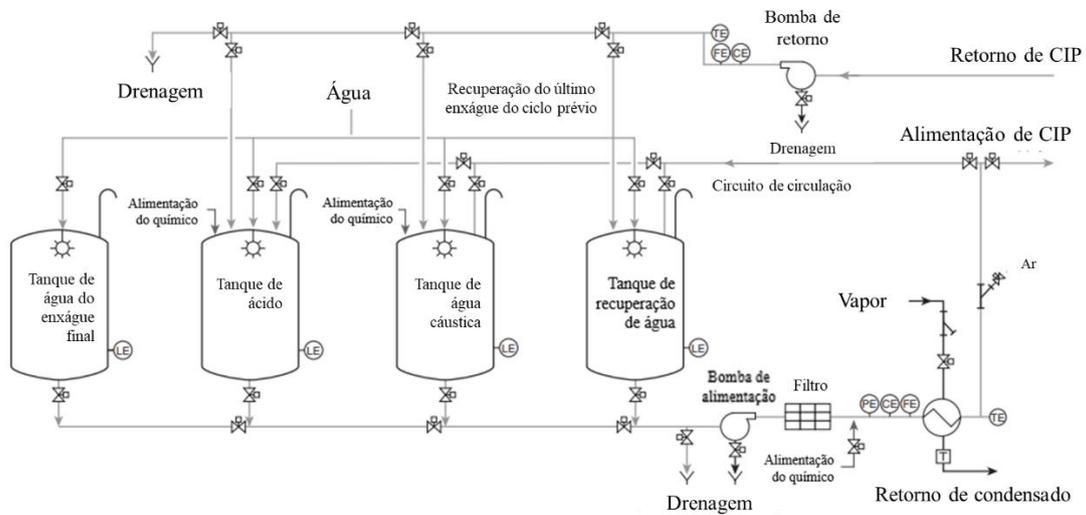
Ao retornar ao sistema CIP, a solução pode ser mantida em um dos tanques ou ser direcionada para drenar. Sistemas CIP de reuso são geralmente programados para descartar uma pequena parte da solução ao final do ciclo de limpeza a fim de remover continuamente a solução contendo resíduo do processo. Uma nova água é então adicionada para deixar a solução do tanque em um nível normal de operação (LELIEVELD et. al., 2014).

A separação e a reciclagem das soluções são controladas por um sensor de condutividade que é instalado ao final de cada linha de retorno CIP em uma estação CIP. Quando o sensor detecta que a condutividade da solução é maior que um valor pré-determinado, a solução CIP é retornada para o tanque de detergente correspondente. Geralmente, a sequência CIP inteira é automatizada, permitindo que o sistema CIP possa parar regularmente em momentos específicos. Essa separação das soluções só é eficiente se há uma mistura mínima entre as soluções de limpeza e as fases da água. Além disso, o consumo de água em um sistema de reuso pode ser otimizado ao fornecer uma instalação de recirculação para água quente com um tanque adicional (LELIEVELD et. al., 2014).

A maior desvantagem de estações CIP centralizadas é o custo. As soluções de limpeza e enxágues de água devem ser transportados por longas distâncias, podendo haver maior perda de calor e exigência de maiores volumes de água e detergentes. Por outro lado, os detergentes e as soluções são armazenados ou preparados em um local apenas, o que é benéfico para a segurança dos operadores, porque menos espaço é exigido e nenhum tanque, bomba ou válvula adicional ficam localizados em outras áreas do processo, diminuindo o comprometimento da higiene do espaço (LELIEVELD et. al., 2014).

Assim, pode-se concluir que sistema de reuso são mais complexos do que sistemas de uso único, fazendo com que o custo de investimento adicional seja maior. Porém, o período de *payback* é curto, por conta das economias com água, detergentes e energia (LELIEVELD et. al., 2014).

Figura 12: Sistema CIP de reuso comum



Fonte: Adaptado de Lelieveld et. al. (2014).

2.2.4 Sistema CIP satélite (sistema descentralizado)

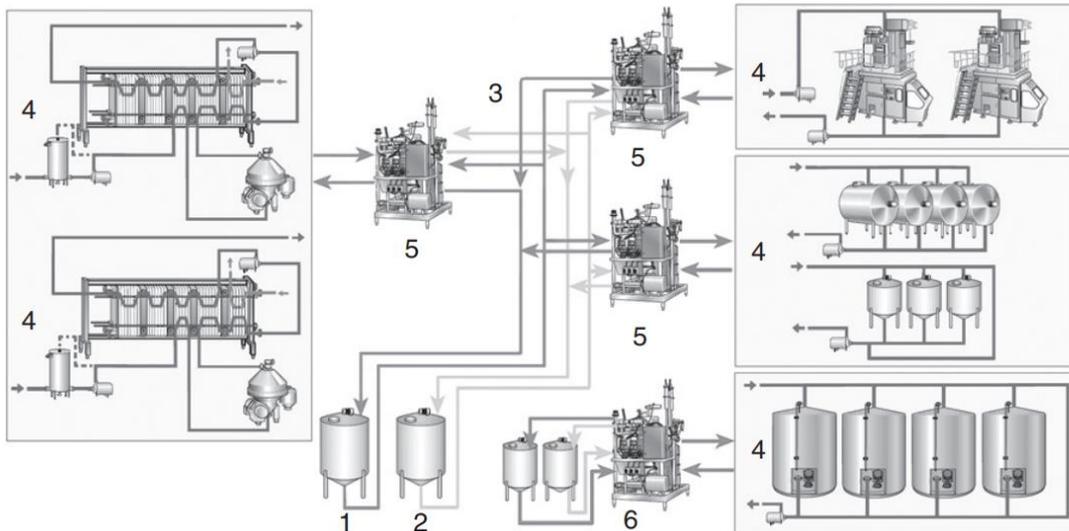
Nesse conceito de sistema, a principal estação é substituída por um número de pequenas estações CIP, em que cada uma delas faz a limpeza de equipamentos específicos do processo ou grupos de equipamentos de um determinado setor da fábrica. De acordo com esse conceito, cada estação CIP é localizada adjacente à(s) linha(s) relevante(s) do processo. A Figura 13 mostra uma planta que contém estações CIP centralizadas e descentralizadas (LELIEVELD et. al., 2005).

Sistemas CIP descentralizados são recomendados para plantas grandes onde a distância entre o local da estação CIP central e os circuitos CIP periféricos seriam extremamente grandes. Esse conceito permite as soluções e os enxágues de água de serem transportados em trajetórias de tubos bem menores, reduzindo as perdas de calor e o volume de água necessário para encher todo o sistema de tubulação. Por conta de menos água que contém no processo de enxágue, resíduos do primeiro enxágue são obtidos em uma forma mais concentrada, reduzindo o desperdício de água residual (LELIEVELD et. al., 2005).

A principal vantagem de uma unidade CIP pequena é que o consumo de soluções de limpeza e água é mantido no mínimo. Consumo de vapor também é minimizado. A água branca produzida durante o pré-enxágue é mais concentrada e, por conta disso, é mais barato e mais fácil de lidar e evaporar. Como resultado, o

desperdício de água é menor do que em sistemas centralizados (LELIEVELD et. al., 2005).

Figura 13: Uma unidade CIP com várias estações CIP satélite e uma estação CIP completamente descentralizada



Fonte: Adaptado de Lelieveld et. al. (2014).

1: tanque de armazenamento de solução alcalina; 2: tanque de armazenamento de solução ácida; 3: alimentação do CIP e retorno dos tubos; 4: equipamentos a serem limpos; 5: unidades satélites CIP; sistemas CIP descentralizado com seu próprio tanque para detergente

2.3 DISPOSITIVOS DE LIMPEZA UTILIZADOS EM SISTEMAS CIP

Os *spray balls*, dispositivos de limpeza, são para limpar as superfícies internas de tanques. O seu uso foi primeiramente introduzido na indústria de alimentos quase um século atrás e tem sido consideravelmente melhorado desde então. Soluções de limpeza com *spray balls* fornecem um jeito simples e de baixo custo de distribuir os fluídos de limpeza para as superfícies internas do tanque e estão disponíveis através de diferentes fabricantes e diferentes formas, tamanhos e capacidades (TAMIME, 2008).

Há três tipos de *spray balls*: estático, rotativo e o cabeçote rotativo. Entre esses tipos há diversos modelos também, que variam de acordo com o fabricante.

2.3.1 *Spray Ball* Estático

O *spray ball* estático, mostrado na Figura 14, é em formato de bola esférica com um conector para tubo para alimentar o fluído de limpeza, o qual é distribuído através dos buracos perfurados para a superfície em um padrão específico (TAMIME,

2008).

Figura 14: Ilustração de um *spray ball* estático

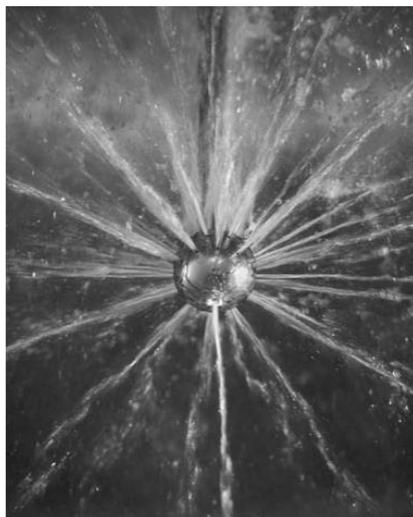


Fonte: Autorizado por Tetra Pak.

O padrão de perfuração é descrito como 360°, 180° para baixo ou 180° para cima. Porém, o padrão de perfuração também pode ser direcional em alguns casos em que o objetivo é assegurar uma cobertura direta de uma certa parte, componente ou conexão do tanque. Os *spray balls* estáticos são feitos de duas metades de uma esfera soldados juntos, depois de perfurados. Eles também estão disponíveis sem os buracos perfurados. O processo envolvido em determinar onde os buracos têm que ser perfurados para assegurar a cobertura completa de todas as partes do tanque, componente ou conexão, pode ser um trabalho bastante intensivo e demorado (TAMIME, 2008).

O design do *spray ball* estático limpa as superfícies do tanque como resultado dos pequenos jatos que saem de cada buraco na bola perfurada, sempre batendo nas superfícies internas do tanque lugar ao longo do ciclo de limpeza, como mostra a Figura 15. A distância entre os jatos podem ser até 10 mm na bola, pois ao longo do tempo que o jato viaja através do interior do tanque, o padrão do jato se abre para mais de 100 mm. Para a superfície do tanque entre esses pontos de impacto, a limpeza é confiada exclusivamente na vazão em cascata a fim de assegurar o requisito de cobertura e agitação (TAMIME, 2008).

Figura 15: Fluxo do fluído de limpeza em um *spray ball* estático em funcionamento

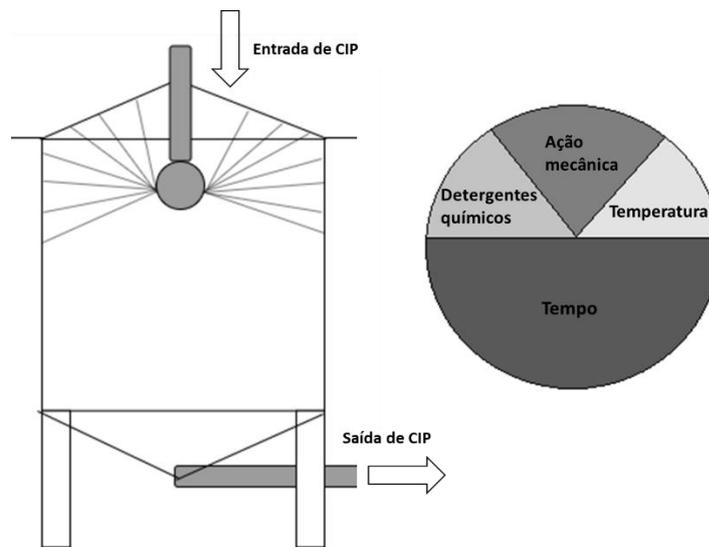


Fonte: Autorizado por Tetra Pak.

Dessa forma, isso significa que o efeito de limpeza desejado pode ser alcançado apenas usando um grande volume de fluído de limpeza, altas concentrações dos químicos, altas temperaturas e tempo de limpeza longo, ou no mínimo uma combinação desses quatro parâmetros adequada. Ou seja, não se garante com a força mecânica do dispositivo (TAMIME, 2008). A força mecânica que acontece no processo de limpeza com esse *spray ball* é através da dispersão pela gravidade e a vazão em cascata para as partes mais baixas do tanque (LELIEVELD et. al., 2014). A taxa que atinge a parede é apenas 10%, o resto é feito pela cascata (SVENSSON, 2008). A Figura 16 ilustra essa distribuição dos parâmetros para esse *spray ball*, onde pode-se ver que o parâmetro que esse *spray ball* se baseia para entregar uma boa eficiência de limpeza é o tempo, e a contribuição dos outros parâmetros é menor.

Além disso, infelizmente, qualquer partícula que circula no fluído de limpeza pode acumular no *spray ball* estático. Isso pode resultar em bloqueios, gerando áreas com sombras na superfície do tanque. Assim, uma pré-filtração das soluções de limpeza reciclada é necessário. Os buracos também devem ser regularmente inspecionados para verificar se há bloqueios (TAMIME, 2008).

Figura 16: Distribuição dos parâmetros no processo de limpeza utilizando um *spray ball* estático



Fonte: Elaborado pelo autor.

O *spray ball* estático é usado mais frequentemente em tanques com produtos com baixa viscosidade. Em tanques que são mais difíceis de limpar, outros tipos de dispositivos de limpeza são normalmente usados, por conta das limitações do *spray ball* estático, ou seja, o padrão de limpeza exigido é inalcançável (TAMIME, 2008).

A respeito da performance de limpeza de sistemas CIP e o aumento do uso de dispositivos de limpeza, mais estudos e experiências na prática em indústrias mostram que as ditas vantagens do *spray ball* estático não são aplicáveis no “mundo real” das plantas (TAMIME, 2008).

Foi evidenciado que um *spray ball* estático não fornece cobertura 360° ou impacto com cobertura tridimensional. Isso foi identificado pois esse dispositivo é incapaz de remover biofilme das superfícies dos tanques e prevenir novamente o crescimento desse biofilme, sem ter que usar detergente, temperatura e tempo adicional no processo de limpeza. Mesmo assim, o *spray ball* estático tem suas vantagens (TAMIME, 2008):

- Sem partes móveis;
- Custo baixo com manutenção;
- Preço baixo inicial para adquirir;

No geral, as desvantagens são (TAMIME, 2008):

- Custo de investimento em instalação, incluindo as conexões, podem ser

altos, especialmente em instalações com muitas unidades, requerem um volume alto de água e/ou concentrações altas de químicos, além da necessidade de longos ciclos para obter o efeito de limpeza desejado;

- Partículas do fluido de limpeza tendem a acumular dentro do *spray ball*, e esses casos são difíceis de prever e monitorar;
- Oferece flexibilidade limitada em relação aos tipos de produtos a serem limpos;
- Os custos de operação são altos;
- Não possui capacidade de se auto limpar.

2.3.2 *Spray Ball Rotativo*

Os *spray balls* rotativos fornecem uma solução de limpeza para o tanque que é significativamente diferente do convencional *spray ball* estático. Esse dispositivo aplica o fluido de limpeza em um padrão “ventilador” que é determinado pelo design do cabeçote. Isso significa que o *spray* do fluido de limpeza bate em toda superfície do tanque de uma forma controlada e consistente. É a combinação desse padrão e do impacto físico dos jatos do fluido de limpeza que remove qualquer resíduo no tanque e faz esse processo de forma mais rápida, com menos água e químicos, se comparado com o *spray ball* estático (TAMIME, 2008).

Diferente dos 10% de taxa de acerto nas paredes do tanque do *spray ball* estático, o *spray ball* rotativo atinge 70% da superfície do tanque. Além disso esse dispositivo permite diminuir de 25 a 30% do consumo de água e de tempo do processo de limpeza (SVENSSON, 2008). As Figuras 17 e 18 mostram o padrão de jato do *spray ball* rotativo. A Figura 19 mostra a combinação de parâmetros para o uso desse *spray ball*, onde pode-se perceber que, se comparado com a Figura 16 do *spray ball* estático, há um aumento da contribuição da força mecânica e um menor tempo de limpeza e mantendo o peso dos outros dois parâmetros, detergente e a temperatura como constante para uma melhor comparação. Ou seja, é um ganho de um *spray ball* para o outro (estático para o rotativo), usar da força mecânica do dispositivo para aumentar a eficiência de limpeza, sem ter que usar maiores concentrações de detergente e uma maior temperatura, mas diminuir o tempo de limpeza, o que faz com que diminua o custo, indiretamente, já que aumenta a disponibilidade de produção.

Há vários designs e parâmetros de construção para os cabeçotes do *spray ball*

rotativo, os quais afetam a habilidade de *spray* do dispositivo em assegurar a limpeza do tanque. A seguir alguns exemplos (TAMIME, 2008):

- O padrão de *spray* deve permitir uma cobertura completa das superfícies do tanque quando está se fazendo o design do dispositivo;
- Os materiais usados na construção devem ter compatibilidade com as exigências tanto do processo alimentício quanto do CIP;
- O design deve cumprir com os padrões de design higiênicos;
- A parte interna e externa do dispositivo de limpeza devem ser auto limpáveis.

Os *spray balls* rotativos são frequentemente usados em aplicações onde o produto é relativamente fácil de se limpar dentro de um tanque (TAMIME, 2008).

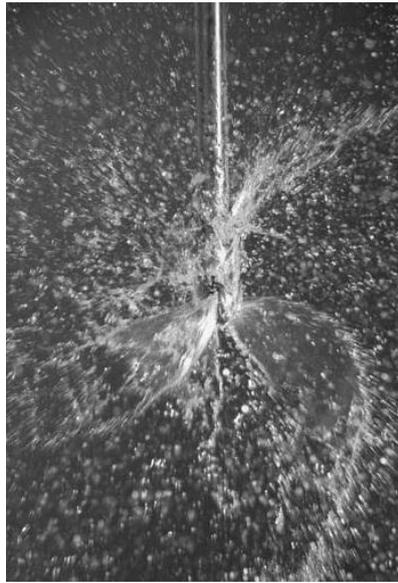
Abaixo seguem algumas vantagens dos *spray balls* rotativos (TAMIME, 2008):

- Uma menor vazão se comparado com o *spray ball* estático;
- Tempo de limpeza reduzido;
- Consumo reduzido de água, agentes químicos e energia;
- Custos operacionais menores;
- A performance pode ser monitorada medindo a vazão e a pressão;
- Performance de limpeza melhorada;
- Melhor qualidade garantida para os produtos a serem processados.

Por outro lado, a seguir seguem algumas desvantagens (TAMIME, 2008):

- Design inadequado prejudica a rotação do dispositivo de limpeza e limita a cobertura fornecida;
- Um design ruim reduz o impacto e o efeito de limpeza da solução de detergente.

Figura 17: Padrão de jato de "ventilador" do *spray ball* rotativo



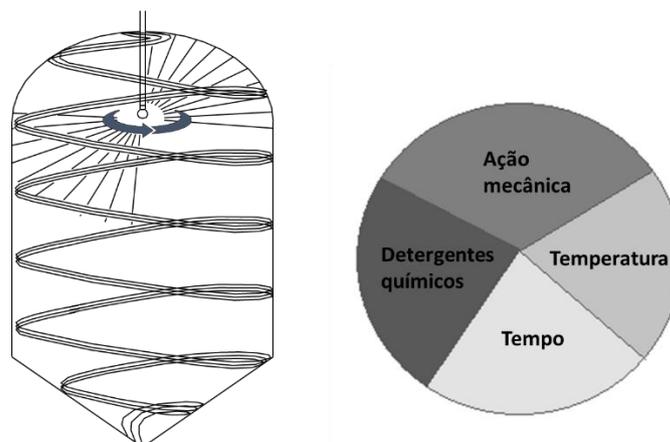
Fonte: Autorizado por Tetra Pak.

Figura 18: Padrão de jato de "ventilador" do *spray ball* rotativo



Fonte: Autorizado por Tetra Pak.

Figura 19: Distribuição dos parâmetros no processo de limpeza utilizando um *spray ball* rotativo



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.3 Cabeçote Rotativo

Os cabeçotes rotativos distribuem o fluido de limpeza para a parede do tanque através de vários bocais, normalmente entre dois e oito. Os bocais são montados em um eixo que é feito para rotacionar pelo fluido de limpeza passando através da turbina e pelo funcionamento da engrenagem de redução através de um padrão de limpeza condscendente. Dessa forma, é possível garantir que toda superfície interna do tanque obtenha cobertura do fluido de limpeza (TAMIME, 2008).

Os *spray balls* de cabeçote rotativo são mais frequentemente usados em aplicações de limpeza CIP onde há uma exigência de cumprir com boas práticas de limpeza a fim de garantir o padrão de limpeza com um alto grau de reprodutibilidade. Esses tipos de cabeçotes são amplamente usados em aplicações CIP envolvendo produtos que são difíceis de limpar (TAMIME, 2008).

Além disso, os cabeçotes rotativos irão fornecer uma alternativa econômica em relação a qualquer outro dispositivo de limpeza em aplicações CIP. Na maioria dos casos o foco em monitoramento é um resultado do desejo de melhorar o padrão de limpeza. E melhorar a performance da limpeza e reduzir custo andam de mãos dados com o uso de cabeçotes rotativos (TAMIME, 2008). A Figura 20 e 21 ilustram o modelo de um cabeçote rotativo e como se dá a vazão do fluido de limpeza pelos bocais. Já a Figura 22 mostra a combinação dos parâmetros para esse *spray ball* e que similar à análise feita no *spray ball* rotativo, pode-se ver ainda mais a diminuição da contribuição do tempo de limpeza na eficiência da higienização do tanque, se apoiando

ainda mais na força mecânica do dispositivo.

Em relação ao *spray ball* estático, o cabeçote rotativo economiza de 50 a 60% de água e tempo de limpeza. E, além disso, possui cobertura do tanque em 100%. Dessa forma, em relação ao *spray ball* estático e o rotativo, o cabeçote rotativo precisa de uma pressão maior, de 5 bar, enquanto os outros dois é uma pressão de 2 bar (SVENSSON, 2008).

Abaixo seguem algumas vantagens do uso de cabeçote rotativos (TAMIME, 2008):

- Exigência de uma baixa vazão se comparado com o *spray ball* estático e o rotativo;
- Custo total baixo de instalação, porque baixas vazões exigem tubos e válvulas com menos especificações exigentes;
- Tempo de limpeza curto;
- Aumento do tempo de atividade da planta, pois se o tempo de limpeza é mais curto, há uma maior disponibilidade de planta a ser explorado;
- Redução do tempo de processo de retorno do ciclo de produção, isso aumenta a produtividade da planta;
- Menores custos de operação, menos consumo de água, químicos e energia, como também a redução de resíduo pelo sistema CIP;
- Menos resíduo processual permanecendo no tanque para contaminar os detergentes;
- Menos diluição dos agentes químicos nos tanques CIP's;
- Limpeza mais eficiente, resultando em melhores padrões de higiene e um produto de melhor qualidade;
- Cobertura tridimensional completa;
- Possibilidade de monitorar as operações de limpeza;
- Menos *spray balls* são necessários, resultando em uma redução de custo de projeto;
- Os cabeçotes rotativos são autolimpantes, tanto internamente como externamente.

Abaixo seguem algumas desvantagens do cabeçote rotativo (TAMIME, 2008):

- Necessidade de uma maior pressão para o seu funcionamento exige uma consideração em projetos anteriores;

- O investimento inicial nesses cabeçotes é maior se comparado com o *spray ball* estático e o rotativo.

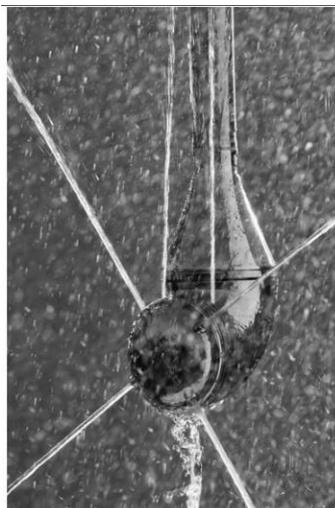
A Tabela 14 mostra uma comparação entre o padrão de vazão do fluído de limpeza nesses *spray balls* com suas respectivas características.

Figura 20: Modelo de um *spray ball* cabeçote rotativo



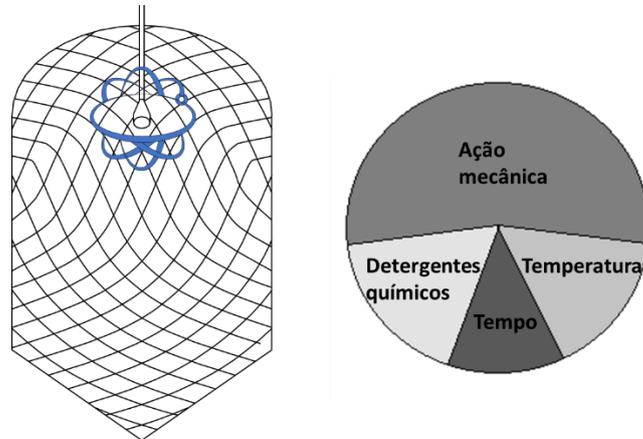
Fonte: Autorizado por Tetra Pak.

Figura 21: Como se dá a vazão do fluído de limpeza pelos bocais do cabeçote rotativo



Fonte: Autorizado por Tetra Pak.

Figura 22: Distribuição dos parâmetros no processo de limpeza utilizando um cabeçote rotativo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 14: Comparação entre os três tipos de *spray balls*

	<i>Spray ball</i> estático	<i>Spray ball</i> rotativo	Cabeçote rotativo
Impacto	10%	70%	100%
Cobertura	Cascata – parcial	Ventilador giratório	Padrão index – total
Vazão e tempo	100%	70-75%	40-50%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois de passar pelos três tipos de *spray balls*, é possível dividir a aplicação de dispositivos de limpeza em duas abordagens: relação alto volume/baixa pressão e baixo volume/alta pressão.

- Alto volume/baixa pressão: uso do *spray ball* estático;
- Baixo volume/alta pressão: uso do *spray ball* rotativo e do cabeçote rotativo.

A Figura 23 mostra a vazão e o seu respectivo impacto fornecido pelo dispositivo de limpeza no tanque, para cada tipo de *spray ball*.

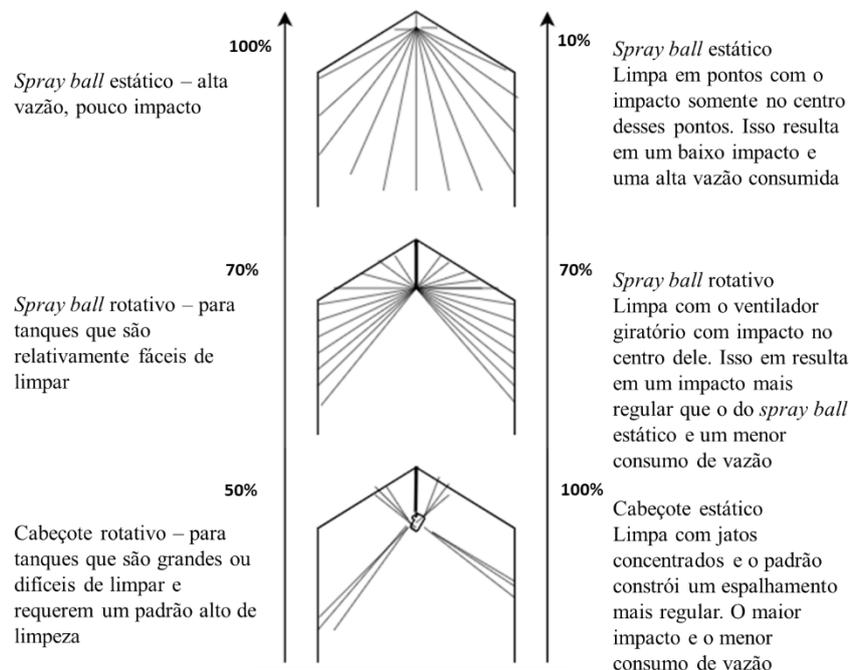
Para concluir, quando se compara diferentes tipos de dispositivos de limpeza a

fim de selecionar o mais apropriado para uma instalação específica, é importante preparar e aplicar alguns critérios objetivos para avaliar esses dispositivos.

Esses critérios devem ser comparáveis aos critérios utilizados à escolha dos equipamentos de processos em geral, porém deve ter alguns critérios específicos e separados para apenas dispositivos de limpeza. Abaixo seguem alguns critérios a serem considerados na escolha do dispositivo de limpeza (TAMIME, 2008):

- O padrão de design de higiene se aplica;
- Detalhes de construção precisa atender os padrões de design de capacidade autolimpante;
- Documentação existente da capacidade autolimpante dos materiais, metais e polímeros por exemplo;
- Atender técnicas e padrões de manufatura, incluindo qualidade, acabamento de superfície, especificação de solda e a fixação de componentes individuais.

Figura 23: Esquema visual da vazão versus impacto no tanque através de um dispositivo de limpeza



Fonte: Adaptado de Tamime (2008).

3. PESQUISAS CIENTÍFICAS RELACIONADAS AO TEMA

De forma geral, nas indústrias, a tendência vem sendo uma maior automatização dos processos e das análises deles, como qualidade e quantidade, tanto de matéria-prima como de produto durante e posterior à produção. Isso não é diferente nas indústrias alimentícias, principalmente na etapa de limpeza com sistema CIP, de acordo com o artigo “Challenges in Cleaning: Recent Developments na Future Prospects” de D. I. Wilson (2005). Ele diz que monitorar e validar a limpeza são igualmente importantes, principalmente para processos que usam uma produção flexível, ou seja, utilizam a mesma planta para produzir mais de um produto. Isso faz com que haja mais exigências em assegurar a efetividade de limpeza. A tendência de automatização das indústrias alimentícias, focada na etapa de limpeza não será apenas do uso de sensores individuais e locais em pontos específicos do processo, com dados locais, mas sim utilizar da interpretação de dados online que é recebido de múltiplos sensores da planta. Um desafio como consequência da implementação de maiores automatizações seria a leitura e interpretação desses dados, surgindo a necessidade de um software que computasse toda essa informação e transformasse em relatórios práticos com uma combinação de indicadores a fim de identificar uma possível falha ou necessidade de ações corretivas no processo.

Por mais que na implementação de um design de sistema CIP, na etapa de limpeza, já tenha uma preocupação com o impacto ambiental, esse tema continua a crescer e exigir cada vez mais que as indústrias continuem à investir em processos com menores riscos ao meio ambiente. Um exemplo de uma nova estratégia para o sistema CIP que influenciaria em um menor impacto ambiental seria, de acordo com o artigo de D. I. Wilson, um sistema que opera efetivamente à uma condição de temperatura similar ao processo de produção, dessa forma, reduziria o tempo de implementação do ciclo de CIP, simplificaria as operações e reduziria o consumo de energia.

Ainda que os dispositivos de limpeza já estejam consolidados em um sistema CIP como sendo a melhor opção para executar a limpeza em um tanque, há sempre espaço para melhorias. Esse ponto de vista pode ser aplicado não só para a tecnologia a ser usada na etapa de limpeza, mas também para a estratégia aplicada. No artigo “Rotary jet head burst cleaning technology delivers significant savings in cleaning costs” de Kim Kjellberg (2018) é possível visualizar a evolução da tecnologia, acima do já eficiente dispositivo cabeçote rotativo, e da estratégia de limpeza. Há uma nova

estratégia para limpeza de tanques envolvendo o que é chamado *burst cleaning*, a qual consiste na combinação das melhores tecnologias, entregando significativas economia de tempo, fluído de limpeza e custos. A estratégia consiste em o fluído de limpeza permanecer na superfície do tanque por períodos maiores e ainda assim utilizar menos quantidade de fluídos, se comparado com o *spray ball* estático, por exemplo. Utilizando essa estratégia, substitui-se a etapa de pré-enxágue que faz parte de ciclos de limpeza padrões. Ao aplicar o agente de limpeza no resíduo seco, ele penetra mais eficientemente no resíduo, porque o resíduo age como uma esponja seca, absorvendo rapidamente o fluído de limpeza se comparado com o resíduo agindo como uma esponja molhada, como é o caso nos ciclos de limpeza padrões. Com essa estratégia, utiliza-se o cabeçote rotativo como o dispositivo de limpeza, porém uma versão mais avançada, com *burst nozzles*, ou seja, os bicos desse *spray ball* que entregam um funcionamento superior e permitem alcançar os resultados atrelados ao uso dessa tecnologia. Com essa combinação, é possível alcançar um nível maior de cobertura da superfície do tanque, consumo mínimo de agentes de limpeza, tempo e água e uma força de impacto máxima, assim, como resultado, uma maior eficiência e remoção do resíduo das paredes do tanque.

De forma geral, é possível resumir as tendências e melhorias para a etapa de limpeza de um processo alimentício com sistema CIP à: implementar e aumentar a automatização do processo de limpeza, aderir às novas tecnologias e estratégias de limpeza que estão sendo desenvolvidas pelo mercado e procurar investir na diminuição do impacto ambiental causado pelo processo de limpeza. Além disso, é possível dizer que o aumento de automatização e uso de novas tecnologias também impactam na diminuição do impacto ambiental de forma direta e indireta.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de graduação teve por objetivo realizar um levantamento bibliográfico dos principais métodos de limpeza de equipamentos industriais disponíveis atualmente no mercado, dando destaque aos sistemas CIP, principalmente em relação a sua eficiência funcional. Dessa forma, foi possível chegar à algumas conclusões relacionadas ao tema.

Através do levantamento feito da importância que se tem de garantir a segurança dos produtos alimentícios para a saúde pública em geral, é evidente que se deve haver legislações fortes atuando sob toda a cadeia produtiva relacionada ao alimento, desde o plantio, processo industrial que o alimento é submetido, passando pelo transporte e chegando até às condições que esses produtos finais são estocados e distribuídos ao consumidor. Além das legislações, órgãos reguladores são importantes para fiscalizar e garantir a aplicação da segurança, ou seja, a higienização correta nos lugares, nos momentos e nas condições corretas. Isso porque, conforme exposto, a segurança e higienização alimentar previnem a proliferação de doenças e fornecem qualidade para os alimentos consumidos por todos.

Tendo deixado claro a necessidade de higienização em toda cadeia produtiva, entende-se que a indústria alimentícia deve praticar isso em seu respectivo processo, em destaque para a limpeza dos equipamentos. Conforme elencado, há diversas formas de se higienizar um equipamento de um processo produtivo, uns mais eficientes que outros, uns mais custosos que outros e uns mais seguros que outros. Assim, de forma geral, é possível dizer que o sistema CIP é o mais eficiente, o mais seguro e o mais custoso como investimento inicial, mas que, em contrapartida, apresenta um retorno de investimento rápido. Por isso é necessário investir em um processo produtivo automatizado, pois o sistema CIP é um método que tem como um dos seus objetivos de diminuir ao máximo, ou por completo, o uso de operação manual, ou seja, exige a existência de automatização, a qual envolve instalação de válvulas automáticas com atuadores, PLC's, instrumentos com comunicação para controle, entre outros.

Mesmo sendo algo bastante disseminado como uma verdade as vantagens e importância de um sistema CIP nas indústrias alimentícias em geral, há muitas que ainda insistem no uso de operações manuais, não só na limpeza, mas no processo produtivo como um todo, principalmente no Brasil. Assim, depois de ter passado a dificuldade em mostrar para as indústrias que uma maior automatização não é um luxo e

sim uma necessidade, é preciso entender qual a melhor aplicação de um CIP para cada respectiva indústria, design de processo, produto e o dispositivo de limpeza a ser utilizado. Olhando sob a ótica da não idealidade dos equipamentos, como por exemplo o fundo de um tanque que pode ser um ponto de acúmulo de resíduo, é importante analisar qual o melhor dispositivo de limpeza a ser aplicado para cada caso.

Depois do que foi pontuado, pode-se concluir que as melhores opções para a maioria dos casos são os *spray balls* rotativo e cabeçote rotativo, mesmo com um investimento inicial mais alto em relação ao estático, possuem uma significativa economia de água e tempo, além de uma eficiência de limpeza muito superior. Por isso, uma análise importante a ser feita é que não adianta possuir um sistema CIP se o dispositivo utilizado para higienizar não entrega o objetivo mais importante no investimento de uma instalação de um CIP em uma planta: eficiência de limpeza e otimização do tempo. Ou seja, do que adianta economizar na compra dos *spray balls* estáticos, se será preciso complementar o ciclo de limpeza com mais um ciclo ou até com uma operação manual, portanto, gastar mais tempo e mais produtos químicos.

Conclui-se então que o processo de higienização é complexo e não se pode generalizar o que é melhor para uma indústria, é preciso analisar caso a caso, mas ao mesmo tempo é possível definir o que não é ótimo e eficiente para esse processo. Deve-se entender que a segurança do alimento e dos operadores é o mais importante. O sistema CIP é adaptável o suficiente para cada design, cada produto e cada indústria, fazendo a combinação necessária, tanto pela escolha do tipo de CIP, da aplicação dos parâmetros de Sinner e da escolha do dispositivo, pode-se chegar à eficiência ideal que garanta a melhor higienização e segurança possível.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Vigilância Sanitária, ANVISA. Nota Técnica nº 18/2020/SEI/GGALI/DIRE2/ANVISA. p. 2-3

ANDRADE, Nélio José de et. al. Higienização na indústria de alimentos. Viçosa, MG, 2008, p. 123-150.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB. Mortandade de Peixes – 2023. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/contaminantes/detergentes/>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2023.

DANTAS, A. B., BERNARDO, L., PASCHOALATO, C. SABESP E HIDROSAN ENGENHARIA. Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/uploads/file/audiencias_inova%C3%A7%C3%A3o/Di%C3%B3xido%20de%20cloro%20no%20tratamento%20da%20%C3%A1gua.pdf>. Acesso em 25 de fevereiro de 2023.

ELLIOT, R. P. *Cleaning and sanitation*. In Katsuyama, A.M. (ed) *Principles of food processing sanitation*. The Food Processor Institute, USA, 1980, p. 91-129.

FRYER, P.J.; ASTERIADOU, K. *A prototype cleaning map: A classification of industrial cleaning processes*. *Trends in Food Science & Technology*, v. 20, 2009, p. 255–262.

FRYER, P.J.; CHRISTIAN, G.K.; LIU, W. *How hygiene happens: physics and chemistry of cleaning*. *International Journal of Dairy Technology*, 59, 2006. p.76–84.

GERMANO, P. M. L.; GERMANO, M. I. S. *Higiene e vigilância sanitária de alimentos*, 1º ed. São Paulo: Varela, 2001. p. 653-675.

HOFFMANN, F. L. et. al. Avaliação da atividade antimicrobiana “in vitro” de dois agentes sanificantes de uso industrial. *Higiene alimentar*, São Paulo, v.16, n. 94, 2002, p. 62-67.

HUGO, W. B.; RUSSEL, A.D. *Types of antimicrobial agent*, 1999, p. 5-22.

JENNINGS, W. G. *Theory and practice of hard-surface cleaning. Advances in Food Reserach*, 1965, p. 325-350.

KJELLBERG, K. *Rotary jet head burst cleaning technology deliveries significant savings in cleaning costs. European Higyenic Engineering & Design Group (EHEDG), 2018.*

LELIEVELD, H. L. M.; HOLAH, J. T.; NAPPER, D. *Handbook of hygiene control in the food industry*. 2° ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2014, Cap. 27 e 28.

LELIEVELD, H. L. M.; HOLAH, J. T.; NAPPER, D. *Higylene in food processing: principles and practice*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2005, Cap. 1, 2, 9 e 10.

Modern Materials Handling. *PMMI's food safety and traceability report dives into FSMA perceptions*, 2014. Disponível em: <https://www.mmh.com/article/pmmis_food_safety_and_traceability_report_dives_into_fsma_perceptions>. Acesso em 10 de janeiro de 2023.

MOERMAN, F., RIZOULIÈRES, P., MAJOOR, F. A. *Cleaning in place (CIP) in food processing. Hygiene in Food Processing*, 2014, p. 303-305.

SEIBERLING, D.A. *Clean-In-Place for Biopharmaceutical Processes*. 1. ed. [S.l.]: Taylor & Francis Inc, 2007.

SVENSSON, CECILIA. *Tetra Pak Processing Solutions: Cleaning Handbook*. 2008, p. 4-70.

TAMIME, A. *Cleaning-in-place: dairy, food and beverage operations*. Ayr, UK: Blackwell Pub, 2008, p. 31-146.

WILSON, D. I. *Challenges in Cleaning: Recent Developments and Future Prospects*.

Department of Chemical Engineering, University of Cambridge, 2005.