

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTUDO DO TRATAMENTO TÉRMICO APLICADO NA PRODUÇÃO DO MOLHO
DE TOMATE**

Michael Rogério Brumatti

Trabalho de Graduação apresentado
ao Departamento de Engenharia
Química da Universidade Federal de
São Carlos

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Gabriela Cantarelli Lopes

São Carlos – SP

2019

BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Graduação apresentado no dia 09 de dezembro de 2019 perante a seguinte banca examinadora:

Orientador: Gabriela Cantarelli Lopes, DEQ/UFSCar

Convidado: Everaldo César da Costa Araújo, DEQ/UFSCar

Professor da Disciplina: Rosineide Gomes da Silva Cruz, DEQ/UFSCar

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser minha base e por tudo que fez por mim que me possibilitou fazer esta universidade.

Agradeço a minha família por todos os ensinamentos na vida e todo suporte e apoio durante estes anos de graduação.

Aos meus amigos que nos momentos de alegrias, dificuldades e todos os estudos estiveram comigo.

Aos professores que me orientaram e passaram todo conhecimento que adquiri nestes anos com todo amor e carinho à profissão. Vocês são fonte de inspiração. Em especial à Professora Gabriela, por ter aceitado o desafio de me orientar neste trabalho.

Minha mais sincera gratidão a todos vocês.

RESUMO

Na indústria de alimentos, é necessário que o produto final obedeça a alguns requisitos que a legislação pede para que este produto possa ser comercializado. Um desses requisitos é a quantidade de determinados microrganismos que podem ser prejudiciais para o produto e também para o consumidor. Por isso, existe a etapa de tratamento térmico no processo, onde ocorrem reduções decimais da concentração dos microrganismos alvo fazendo com que o produto final seja comercialmente estéril. A partir disso, propõe-se com esse trabalho estudar o processo utilizado para o tratamento térmico em uma indústria de alimentos através de cada etapa deste processo e também do cálculo da letalidade dos microrganismos, verificando sua eficiência em relação ao que a legislação solicita. Pode-se concluir que os resultados são satisfatórios, ou seja, o processo de tratamento térmico é eficiente para reduzir os microrganismos alvo, mas é possível apontar melhorias em algumas etapas para que se ganhe praticidade e confirme sua eficiência. Por fim, foi projetado um trocador de calor casco tubo para verificar os ganhos que este pode trazer ao processo além da sua eficiência comparado com o utilizado na empresa que é um duplo tubo.

Palavras-chave: *tomate, microrganismo, tratamento, térmico.*

ABSTRACT

In the food industry, it is necessary for the final product to comply with certain requirements that the legislation requires for this product to be marketed. One such requirement is the amount of certain microorganisms that may be harmful to the product as well as to the consumer. Therefore, there is the heat treatment step in the process, where there are decimal reductions in the concentration of the target microorganisms making the final product commercially sterile. From this, it is proposed with this work to study the process used for heat treatment in a food industry through each stage of this process and also the calculation of the lethality of microorganisms, verifying its efficiency in relation to what the legislation requires. It can be concluded that the results are satisfactory, that is, the heat treatment process is efficient to reduce the target microorganisms, but it is possible to point improvements in some steps to gain practicality and confirm its efficiency. Finally, a tube shell heat exchanger was designed to verify the gains that this can bring to the process beyond its efficiency compared to that used in the company that is a double tube.

Keywords: tomato, microorganisms, treatment, thermal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelos de trocador de calor tubular	18
Figura 2 - Trocador de calor de superfície raspada	18
Figura 3 - Autoclave (a) rotativa horizontal descontínua; (b) fica vertical descontínua.....	19
Figura 4 - Processo do ciclo de operação de uma autoclave fixa descontínua	20
Figura 5 - Autoclave Hidrostática	21
Figura 6 - Autoclave horizontal (sistema Hidrolock).....	22
Figura 7 - Esquema de Autoclave Rotativa Contínua	22
Figura 8 - Trocador de calor de placas	23
Figura 9 - Esquema de um processo asséptico	24
Figura 10 - Esquema de um trocador de calor por sistema ôhmico.....	25
Figura 11 - Fluxograma do processo do molho de tomate.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de D e Z para alguns microrganismos de importância em produtos ácidos.....	26
Tabela 2 - Dados e valores de contagem total, bolores e leveduras dos condimentos.....	35
Tabela 3 - Dados do produto e do processo.....	36
Tabela 4 - Valores obtidos através das Equações de 3 a 8.....	36
Tabela 5 - Valores de $F_{\text{mínimo}}$	37
Tabela 6 - Valores de F e n para o tanque de preparo a 97°C e 15 minutos..	37
Tabela 7 - Valores de F e n para o trocador de calor	38
Tabela 8 - Valores de F dados em minutos para meio de comparação.....	38
Tabela 9- Dados iniciais da água (fluido lado casco).....	39
Tabela 10 - Dados iniciais do molho de tomate (fluido lado tubo)	39
Tabela 11 - Informações gerais do projeto do trocador de calor casco-tubo ..	40

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	Esterilidade Comercial	13
2.1.1	Molho de tomate.....	13
2.2	Tipos de microrganismos presente nos atomatados	14
2.2.1	Bolores e levedura.....	15
2.2.2	<i>Salmonella</i>	15
2.2.3	<i>Eschericha coli</i>	16
2.2.4	<i>Clostridium botulinum</i>	16
2.3	Tratamento térmico	16
2.3.1	Trocador Tubular	17
2.3.2	Trocador de Superfície Raspada	18
2.3.3	Autoclaves	19
2.3.4	Autoclave Hidrostática	20
2.3.5	Autoclaves Rotativas	22
2.3.6	Trocador de Calor de Placas	23
2.3.7	Processamento Asséptico	23
2.3.8	Trocador de calor por sistema ôhmico.....	24
2.4	Cálculos da Letalidade dos Microrganismos	25
2.5	Projeto de um trocador de calor casco-tubo.....	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1	– Resultados microbiológicos dos condimentos.....	35
4.2	– Resultados dos cálculos de letalidade	35
4.3	– Resultados do projeto do trocador de calor.....	38
5	CONCLUSÕES.....	41

6	Sugestões para trabalhos futuros	42
7	Referência Bibliográfica	43

1 INTRODUÇÃO

Em toda a história da humanidade, existem relatos de que o ser humano buscava por métodos para que o alimento tivesse uma boa qualidade por um tempo maior. Desde a preparação de conservas até a utilização do fogo eram utilizados para conservar do alimento. Com o passar do tempo, com o aumento do conhecimento na área e com toda tecnologia se desenvolvendo, foi descoberto que existem microrganismos que são deteriorantes provocando alterações no produto e também patógenos, podendo causar doenças ao consumidor. Para que o alimento possa ser conservado por mais tempo, é necessário destruir total ou parcialmente os microrganismos capazes de crescer no alimento, modificando ou eliminando uma ou mais condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Por isso, a indústria alimentícia começou a buscar por maneiras de produzir o alimento isento destes microrganismos. Abaixo estão vários métodos aplicados para a conservação dos alimentos.

Adição de açúcar: funciona de forma análoga ao sal, na medida em que aumenta a pressão osmótica e diminui a atividade de água, criando um ambiente desfavorável para multiplicação das bactérias e de parte dos fungos. Exemplos de produtos são doces, geleias, frutas cristalizadas etc.

Alta pressão: os alimentos são submetidos a pressões elevadas que inativam as células dos microrganismos, com ou sem aplicação de calor.

Aquecimento ôhmico e por rádio frequência: a aplicação de micro-ondas ou rádio frequência gera calor por meio da energia dielétrica resultante da fricção das moléculas de água, sendo assim utilizados para conservação dos alimentos.

Cocção: preparo de alimentos utilizando temperaturas muito altas, como fervura, fritura e assamento.

Concentração: usa o calor para remover parte da água (30 – 60%) dos alimentos, como no caso da produção de sucos concentrados, molhos de tomate, leite condensado, doces etc.

Congelamento: nesse método são utilizadas temperaturas mais baixas do que na refrigeração (usualmente, -10 à -40°C), que baixam a atividade de água e destroem

parte da população microbiana do alimento devido principalmente à formação de cristais de gelo no interior de suas células.

Cura: método de conservação que consiste na adição de sal de cura aos alimentos. Esse método também confere ao produto determinadas características sensoriais, como a cor vermelha ou rosada. Usualmente, o sal de cura contém 99,5% de cloreto de sódio (sal) e 0,5% de nitrito de sódio ou potássio. Exemplos: bacon e carnes.

Defumação: método de conservação no qual o alimento é exposto à fumaça produzida pela combustão incompleta da madeira, fazendo com que ele perca água e receba compostos com função antisséptica e aromatizante. Além do sabor o alimento ganha coloração característica dos alimentos defumados. São exemplos as carnes e alguns derivados, bacon e certos tipos de queijo.

Esterilização: tratamento térmico mais intenso que leva à destruição total dos microrganismos presentes, incluindo os esporos bacterianos, células mais resistentes. São normalmente realizados em equipamentos chamados autoclaves. Exemplos são os alimentos enlatados.

Fermentação: crescimento de bactérias que promovem o desenvolvimento de acidez, que inibe o crescimento da maioria dos microrganismos. É o caso de iogurtes, pickles, salames etc.

Irradiação com luz ultravioleta: são empregadas para inativar microrganismos presentes na superfície dos alimentos e embalagens, bem como para a desinfecção de superfícies que entram em contato com os alimentos.

Irradiação com raios gama: consiste na aplicação de doses baixas de radiação gama, sendo usada basicamente para reduzir a carga microbiológica das especiarias moída, evitar o brotamento de batatas e cebolas, controlar a infestação de insetos na farinha de trigo integral e para desinfecção de frutas.

Pasteurização: tratamento térmico que elimina todos os patógenos e parte dos microrganismos presentes no alimento. Como a eliminação é parcial, o prazo de validade do produto é menor, além de ser necessário mantê-lo refrigerado. É o caso do leite pasteurizado.

Pulso Elétrico (PFE): o alimento é submetido a campos elétricos de pulsos de curta duração e alta intensidade, os quais inativam ou destroem os microrganismos indesejáveis.

Refrigeração: esse método reduz a multiplicação dos microrganismos presentes nos alimentos, sendo utilizado como meio de armazenamento e conservação básica, inclusive em nossos lares. As temperaturas aqui utilizadas são superiores a 0°C.

Salga: o princípio desse método baseia-se na retirada da água dos alimentos utilizando-se o sal, diminuindo a atividade de água e aumentando assim sua conservação. São exemplos as carnes salgadas, bacalhau etc.

Secagem: usa o calor para remover a água dos alimentos, produzindo alimentos como vegetais e carnes desidratadas, massas alimentícias, leite em pó, café em pó etc.

Secagem supercrítica: usa o calor para remover a água dos alimentos, mas com temperaturas mais baixas que a secagem convencional, gerando produtos de melhor qualidade.

Tratamento térmico: no tratamento térmico são aplicadas temperaturas que destroem totalmente os patógenos e que destroem parcialmente (pasteurização) ou totalmente (esterilização – enlatamento) os microrganismos deterioradores.

Ultrassom: Redução de microrganismos patogênicos em temperaturas mais baixas. Neste processo pode ocorrer a inativação enzimática ou inativação microbiana (preservação).

Uso de aditivos: esse método consiste na adição de substâncias químicas devidamente aprovadas pelas autoridades competentes (aditivos) ao alimento com o propósito de melhorar sua coloração, textura, aroma, consistência, sabor e também de conservá-los por mais tempo. Alguns exemplos desse último grupo de aditivos são: benzoatos, sorbatos, bissulfito, nitrito e peptídeos antimicrobianos como a nisina.

Diante da importância de se eliminar estes microrganismos, este trabalho visa estudar o tratamento térmico aplicado na produção do molho de tomate, verificar sua eficiência, e projetar um novo trocador de calor visando obter ganhos e possíveis melhorias no processo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Esterilidade Comercial

O termo alimentos comercialmente estéreis refere-se a produtos alimentícios submetidos a tratamento térmico e acondicionados em embalagens herméticas, capazes de impedir a entrada de microrganismos (Elliott & Kataoka, 2015). O acondicionamento pode ser feito em latas, embalagens de vidro, embalagens flexíveis (“pouches”) ou embalagens cartonadas. De maneira geral as latas e as embalagens de vidro são seladas à vácuo enquanto os pouches e as caixinhas não. Garantindo-se a integridade da selagem, esses produtos são microbiologicamente estáveis, podendo ser mantidos indefinidamente à temperatura ambiente. Com algumas exceções, a estabilidade da maioria dos alimentos comercialmente estéreis não depende de conservadores ou outros agentes inibitórios além dos ácidos. O tratamento térmico é suficiente para atingir a esterilidade comercial, mas não produz a esterilidade completa.

De acordo com Elliott e Kataoka (2015), a legislação americana define esterilidade comercial como a condição atingida nas seguintes condições:

- Aplicação de calor suficiente para tornar o alimento isento de microrganismos capazes de se reproduzir no produto, em condições de estocagem e distribuição não refrigerada e isento de microrganismos patogênicos viáveis, inclusive esporos.
- Aplicação combinada de calor e redução do pH ou calor, e redução da atividade de água, suficiente para tornar o alimento isento de microrganismos capazes de se desenvolver no produto, sob estocagem não refrigerada.

2.1.1 Molho de tomate

O molho de tomate surgiu na Europa no século XVII, quando um cozinheiro misturou tomate, cebolas e óleo de oliva. Com o passar do tempo as formulações foram se alterando até chegar no produto atual que possui polpa de tomate, água e vários temperos.

As propriedades do molho de tomate variam de acordo com as especificações das empresas, mas a legislação estipula uma média para estes valores, como por exemplo, o pH precisa ser menor que 4,60 para que o produto seja considerado ácido. A densidade e a viscosidade a temperatura ambiente é de aproximadamente 1020 kg/m³ e 9,5 Pa.s respectivamente. Por fim, existem as especificações para o °brix que mede os sólidos solúveis suspensos e a consistência do produto, mas estas são específicas da indústria que produz o molho de tomate.

2.2 Tipos de microrganismos presente nos atomatados

A definição de esterilidade comercial deixa claro que um alimento comercialmente estéril pode conter microrganismos viáveis, desde que não sejam capazes de se multiplicar no produto, à temperatura ambiente. O dimensionamento dos processos térmicos, ou seja, a quantidade de calor que deve ser aplicada depende da resistência térmica dos microrganismos capazes de se multiplicar nessas condições. Os tipos microbianos que podem crescer por sua vez, dependem do pH e da atividade de água do produto, porque estes fatores interferem no crescimento dos microrganismos. Em função do pH e da atividade de água, a *Food and Drug Administration* (FDA) classifica os alimentos comercialmente estéreis como de baixa acidez ou ácidos (Landry *et al.*, 2001).

Os alimentos ácidos incluem os produtos com pH menor ou igual a 4,6, como os derivados de tomate, vegetais acidificados, as frutas em calda e os sucos de frutas. Estes permitem o crescimento de uma gama menor de microrganismos, porque o pH é restritivo. Neste tipo de alimento, podem crescer os bolores, as leveduras e as bactérias acidúricas.

A multiplicação microbiana significa o aumento do número total de células devido à proliferação dos microrganismos em qualquer ambiente. A qualidade microbiológica dos alimentos está condicionada a quantidade e aos tipos de microrganismos inicialmente presentes bem como às condições que podem levar à multiplicação destes nos alimentos durante o processo de fabricação, armazenamento ou distribuição.

Os microrganismos podem ter diferentes interações com os alimentos, como provocar alterações de deterioração e/ou causar doenças. Os microrganismos deteriorantes são aqueles que causam alteração da cor, odor, sabor, textura e

aspecto do alimento. Estes microrganismos deterioram os alimentos como consequência de sua atividade metabólica, utilizando o alimento como fonte de energia.

Microrganismos patogênicos são aqueles que quando presentes no alimento podem causar doenças ao consumidor. Para determinar sua patogenicidade, é necessário levar em consideração alguns fatores como contagem microbiológica necessária para se tornar patogênico, grupos vulneráveis de consumidores, fatores intrínsecos e extrínsecos. Estes microrganismos contaminam os alimentos por diferentes vias, desde o ar até o manipulador do alimento, e em qualquer situação estão associados à falta de controle de boas práticas no processo de fabricação.

2.2.1 Bolores e levedura

A análise de bolores e leveduras é realizada nas indústrias, em equipamentos e no ambiente, como indicativo da eficiência da higienização. Como esses microrganismos se desenvolvem dentro de uma ampla faixa de pH, temperatura e umidade, é importante que eles estejam controlados, pois, se presentes, poderão se desenvolver facilmente nos alimentos.

Os fungos se dispersam na natureza por diversas vias: animais, água, vento, poeira. Os bolores são fungos filamentosos que provocam deterioração (emboloramento) e podem produzir toxinas.

As leveduras são fungos unicelulares, se adaptam muito bem em ambientes ácidos, embora, como os bolores, possam crescer em diversos tipos de ambiente com relação à acidez. Como os bolores, preferem temperaturas na faixa de 25°C a 30°C. Existem, entretanto, muitas espécies que crescem sob refrigeração. São encontradas com maior frequência nas frutas e nos vegetais. Podem provocar deterioração de alimentos e bebidas.

2.2.2 Salmonella

A *Salmonella sp* é uma bactéria patogênica, bastante difundida podendo estar presente no solo, ar, na água, nos animais não humanos, nos seres humanos, nos alimentos, fezes e equipamentos. Apesar disso, o seu habitat natural é o intestino humano e de outros animais, podendo estar presente no intestino de animais de sangue quente. Pode provocar febre, infecção intestinal, desidratação e mal estar após a ingestão de alimentos contaminados (SILVA e JUNQUEIRA, 2001). Os

principais fatores responsáveis pela ocorrência de surtos de toxinfecção alimentar são: o armazenamento inadequado de alimentos, a ingestão de alimentos crus ou contaminados, o tratamento térmico inadequado, boas práticas de fabricação insatisfatórias e má higienização de equipamentos.

2.2.3 *Escherichia coli*

Escherichia coli é um microrganismo presente no trato gastrointestinal dos animais de sangue quente, inclusive o homem, fazendo parte da flora intestinal normal. Este microrganismo tem como habitat as fezes humanas e de animais, água de rios, lagos e poços. Sua contaminação ocorre através de alimentos ou água contaminada, ou ainda através do contato com as fezes de animais contaminados. Os sintomas são diarreia, mal-estar, cólicas. Estão também presentes em: água, hortaliças, carnes, aves e pescados crus ou mal cozidos (alimentos processados de forma manual, mal cozido ou mantido em temperatura inadequada).

As contagens de coliformes são muito utilizadas nas análises de alimentos tratados termicamente. Nesse contexto, a presença de bactérias gram-negativas, por exemplo, é um indicativo de tratamentos térmicos inadequados ou de uma provável contaminação posterior.

2.2.4 *Clostridium botulinum*

Já o *Clostridium botulinum*, é uma espécie de grande risco para saúde pública, porque produz toxinas altamente potentes, causadoras de botulismo. As toxinas atuam no sistema nervoso e são letais por ingestão, na dose de 1/100 a 1/120 ng. As toxinas são termolábeis e são destruídas pelo aquecimento à 65 – 80°C/30 min ou 100°C/5 min. O pH do alimento pode determinar se o *C. botulinum*, crescerá e produzirá a toxina no produto. Investigações científicas determinaram que os esporos de *C. botulinum* não germinam e não crescem em alimentos com pH menor que 4,8.

2.3 Tratamento térmico

O tratamento térmico é um dos métodos mais importantes utilizados no processamento de alimentos, principalmente em relação à conservação dos mesmos. Ele consiste no aquecimento em trocadores de calor ou autoclaves e tem

por objetivo a inativação dos microrganismos patogênicos, deteriorante e/ou enzimas indesejáveis. O tratamento térmico possui três etapas: um estágio de aquecimento, onde o alimento é aquecido até a temperatura de interesse (chamada de temperatura de processo), um estágio de retenção à temperatura de processo por tempo suficiente para que o nível de esterilização requerido tenha sido obtido e um estágio de resfriamento. Os tratamentos térmicos mais utilizados na indústria são a pasteurização e a esterilização e se dividem basicamente em descontínuos e contínuos.

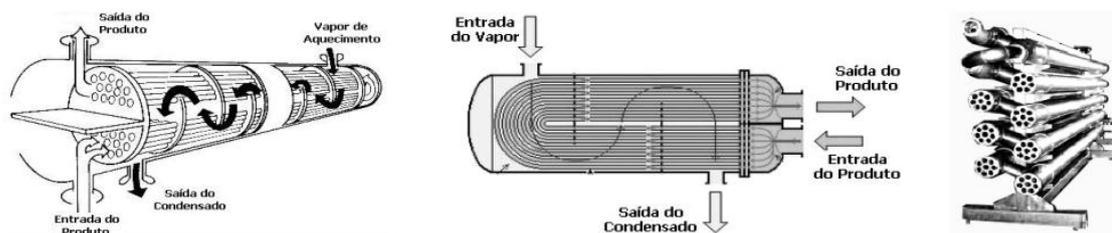
A pasteurização é um tratamento térmico contínuo cujo princípio é aquecer o alimento até uma determinada temperatura mantê-lo a esta temperatura por um determinado tempo (denominado tempo de retenção) e em seguida resfriá-lo. Esse processo tem por objetivo garantir a segurança microbiológica e aumentar a vida de prateleira com pouco impacto nas características sensoriais e nutricionais do produto. O tratamento por pasteurização utiliza temperaturas em torno de 100°C ou menores e visa à destruição da microbiota patogênica e deteriorante apenas em sua forma vegetativa.

Os trocadores de calor são equipamentos utilizados nas indústrias para promover a troca de calor entre dois fluidos através de uma parede, geralmente metálica, ou seja, um fluido quente se resfria fornecendo calor para um fluido frio que se aquecerá, sem haver contato entre eles. A seguir estão os trocadores mais utilizados na indústria de alimentos. Eles são aplicados para alimentos processados antes e depois de embalados.

2.3.1 Trocador Tubular

É o equipamento mais utilizado para realizar troca térmica. É constituído por dois ou mais tubos concêntricos no interior de uma carcaça externa. O produto caminha no interior dos tubos enquanto o fluido quente, por fora deles, dentro da carcaça. Este modelo é bastante utilizado para produtos com baixa viscosidade. A Figura 1 mostra exemplos de trocadores de calor tubular.

Figura 1 - Modelos de trocador de calor tubular

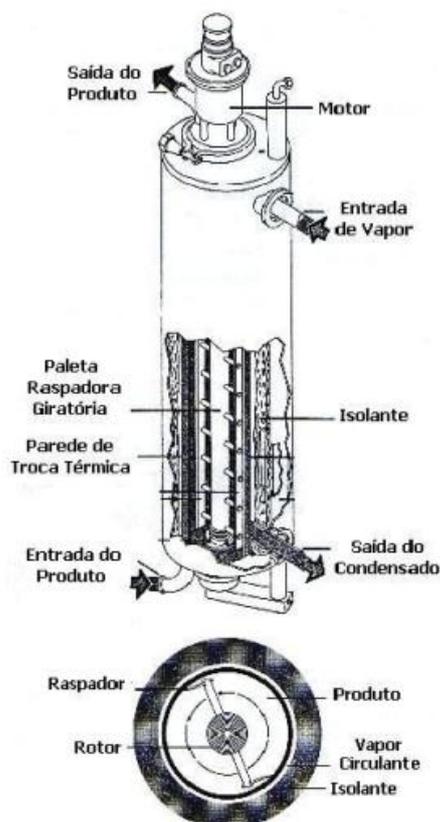


Fonte: Bragante (2012)

2.3.2 Trocador de Superfície Raspada

Este tipo de trocador é utilizado para produtos com alta viscosidade. Ele consiste em um eixo móvel com lâminas de raspagem localizadas concentricamente dentro de um cilindro de transferência de calor encamisado e isolado. Geralmente, o fluido utilizado para aquecimento é vapor de água que circula em contra corrente com o alimento. A Figura 2 mostra um desenho esquemático deste tipo de equipamento.

Figura 2 - Trocador de calor de superfície raspada

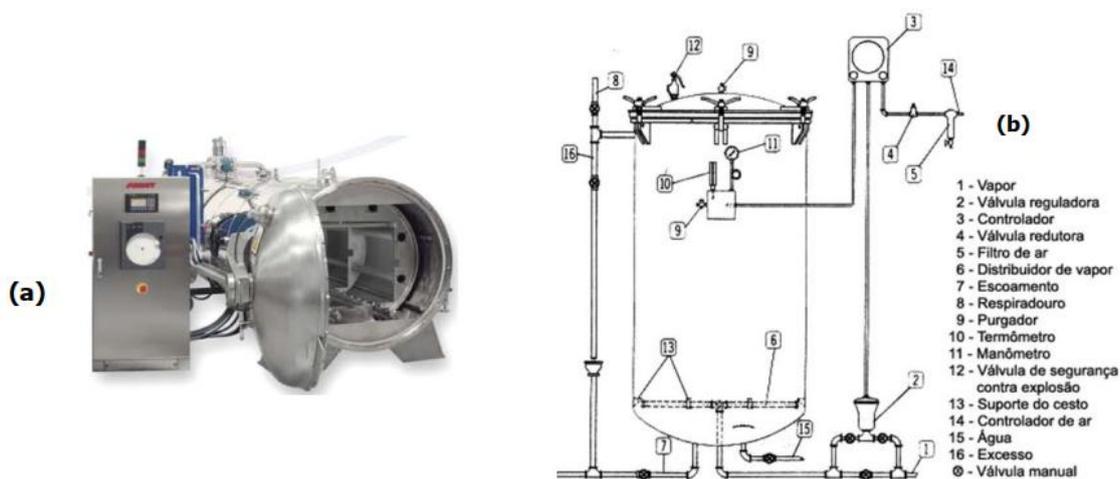


Fonte: Bragante (2012)

2.3.3 Autoclaves

As autoclaves são feitas de um metal resistente à pressão. Nelas o produto é aquecido pelo uso de vapor de água. Existem vários tipos de autoclaves, como por exemplo, as rotativas, contínuas ou descontínuas, verticais ou horizontais. O método de troca térmica se baseia na introdução do alimento já acondicionado nas embalagens no interior da autoclave. A mesma é fechada e então se inicia a esterilização do produto. A Figura 3 mostra dois exemplos de autoclaves que são utilizadas nas indústrias.

Figura 3 - Autoclave (a) rotativa horizontal descontínua; (b) rotativa vertical descontínua

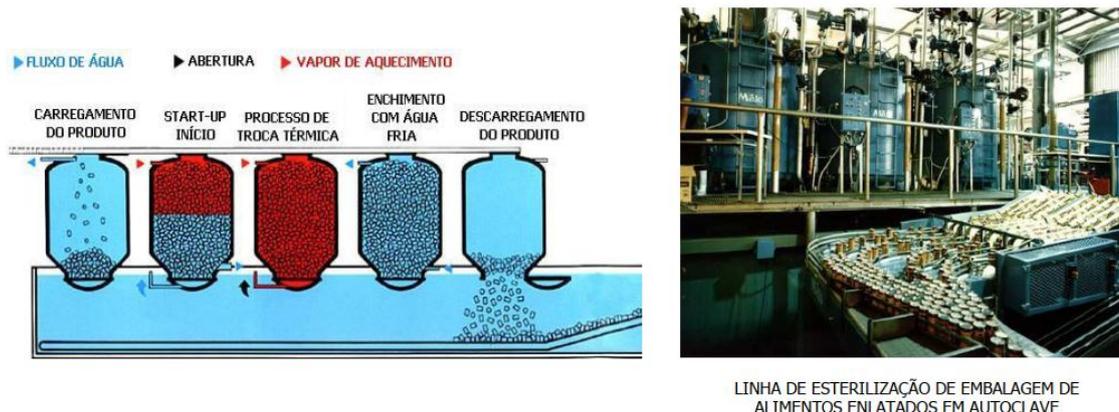


Fonte: Bragante (2012)

A principal finalidade das autoclaves é evitar o crescimento microbiológico nos alimentos processados. Neste processo, por consequência, ocorre o cozimento do produto, que é preservado por um período maior de estocagem.

Os produtos são colocados na autoclave já embalados, onde são aquecidos e resfriados com vapor e água. O carregamento do produto é feito através de esteiras transportadoras. As fases de um ciclo completo são: injetar a água, introduzir os produtos embalados, abrir o vapor de aquecimento, aguardar por um tempo de troca térmica, resfriar em água e ar para compensar a pressão interna e, finalmente a retirar as embalagens. A Figura 4 ilustra o processo do ciclo de uma autoclave.

Figura 4 - Processo do ciclo de operação de uma autoclave fixa descontínua

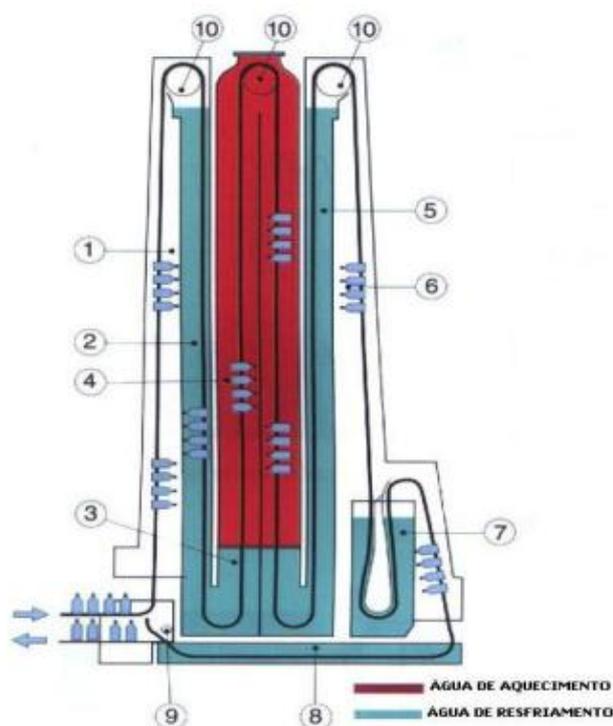


Fonte: Bragante (2012)

2.3.4 Autoclave Hidrostática

A autoclave hidrostática é formada por duas colunas de água, uma de alimentação e outra de descarregamento, e entre elas uma câmara de vapor. O alimento é colocado já acondicionado em embalagem também. Ela opera a uma temperatura de vapor constante, através das quais as embalagens de produto são transportadas no tempo de processamento pré-determinado, por um sistema de cadeias. Após o processo térmico, as amostras são transportadas através de um sistema de resfriamento e descarregadas em seguida. A figura 5 mostra o esquema do equipamento.

Figura 5 - Autoclave Hidrostática



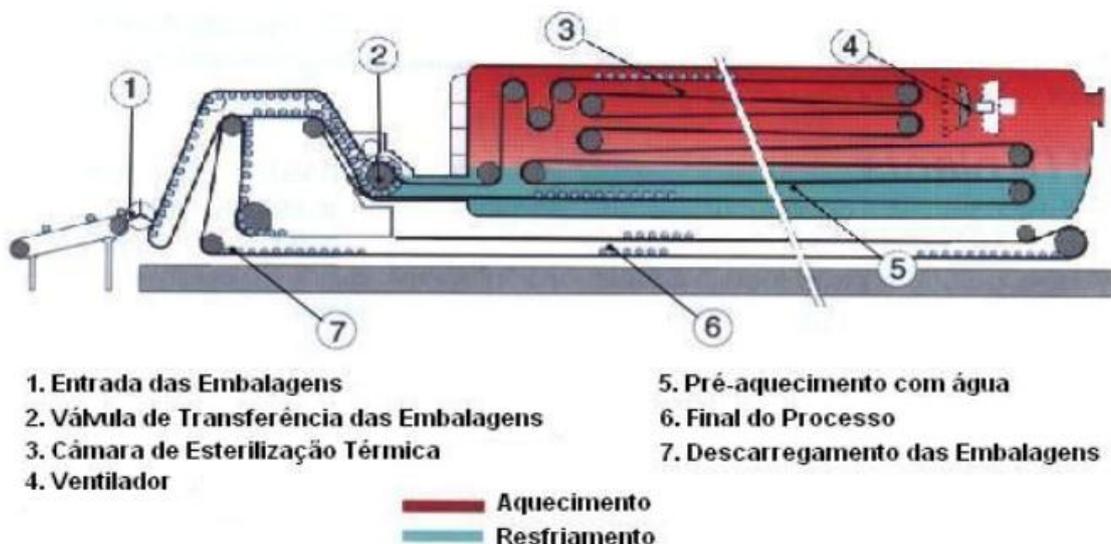
- 1 – 1º Estágio pré-aquecimento
- 2 – 2º Estágio de Aquecimento
- 3 – 3º Estágio de Aquecimento
- 4 – Setor de Esterilização (vapor)
- 5 – 1º Estágio de Resfriamento
- 6 – 2º Estágio de Resfriamento
- 7 – 3º Estágio de Resfriamento
- 8 – 4º Estágio de Resfriamento
- 9 – Final do Processo de Resfriamento
- 10- Coluna de Separação

Fonte: Bragante (2012)

A coluna de alimentação desta autoclave consiste da seção de tanque, na qual os carregadores e as embalagens com produto passam por água antes de entrar na cúpula de vapor. Essa coluna de água fornece pressão hidrostática para equilibrar a pressão de vapor na câmara de calor. Este equipamento opera em uma temperatura que varia entre 121°C e 127°C.

Existe também o sistema horizontal, que é similar à autoclave hidrostática, com a diferença que o sistema opera pressurizado e fornece agitação contínua às embalagens, favorecendo a rápida troca térmica. Este equipamento permite a aplicação tanto para embalagens rígidas (latas, vidros) como também para sachês flexíveis. A Figura 6 mostra o esquema de funcionamento deste equipamento.

Figura 6 - Autoclave horizontal (sistema Hidrolock)

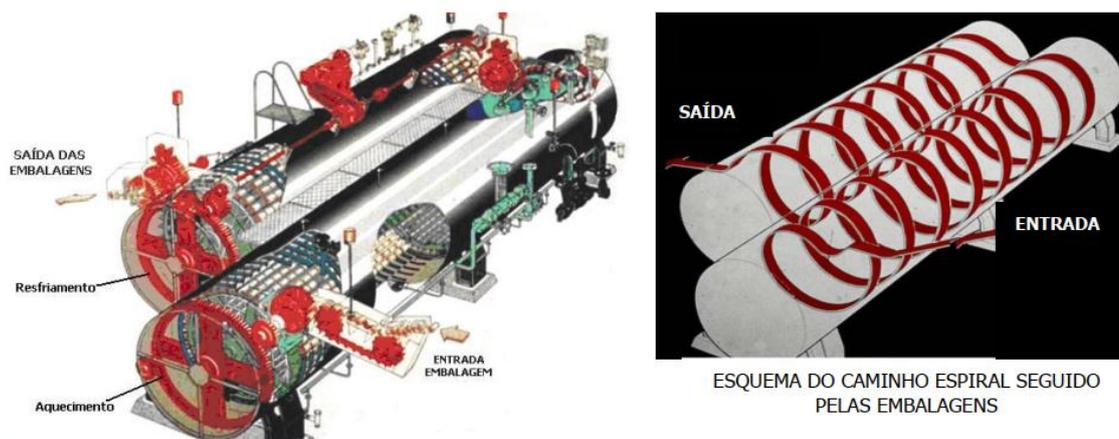


Fonte: Bragante (2012)

2.3.5 Autoclaves Rotativas

As autoclaves rotativas contínuas são empregadas para esterilizar frutas, legumes, polpas e produtos de carne. Elas possuem dois cilindros rotativos acoplados: um é uma câmara de aquecimento e o outro, uma câmara de resfriamento. O equipamento proporciona o movimento contínuo das embalagens facilitando a troca térmica. Dentro de cada cilindro há uma espiral que faz o transporte das embalagens de uma extremidade para outra. Um tambor giratório no interior movimenta as embalagens de produto, que seguem o caminho em espiral. Este equipamento pode operar com temperaturas de até 137°C. A Figura 7 mostra o desenho esquemático.

Figura 7 - Esquema de Autoclave Rotativa Contínua

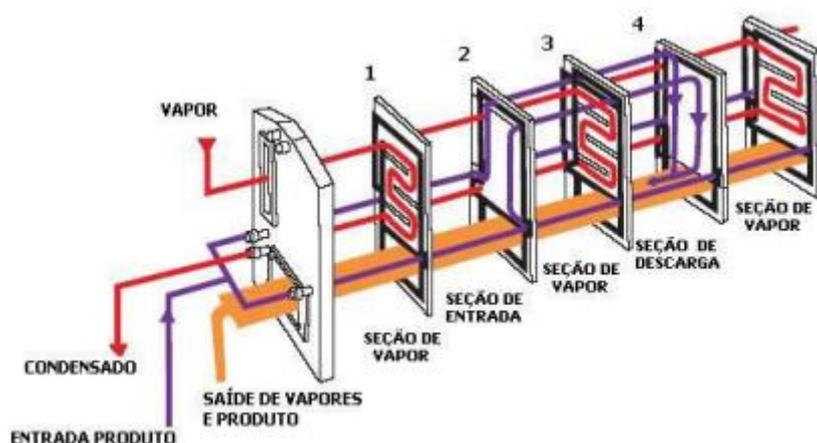


Fonte: Bragante (2012)

2.3.6 Trocador de Calor de Placas

Neste tipo de trocador, o vapor é separado do produto por placas. O produto tem uma única passagem e a circulação é forçada por bombas, onde o sistema de superfície de troca térmica é composto por placas fixadas juntas em uma armação, constituindo uma placa frontal. A Figura 8 mostra o esquema de funcionamento deste equipamento.

Figura 8 - Trocador de calor de placas



Fonte: Bragante (2012)

Os meios são levados dentro do pacote de placas através de canais de comunicação, formados por furos nos cantos das placas e são admitidos dentro das passagens, entre as placas, por meio de certo arranjo de gaxetas. Este tipo de arranjo de placas faz com que os fluidos passem com alta turbulência, favorecendo a troca de calor. Este tipo de trocador tem grande aplicação para leite, produtos de leite, sucos de frutas gelatinas, geleias.

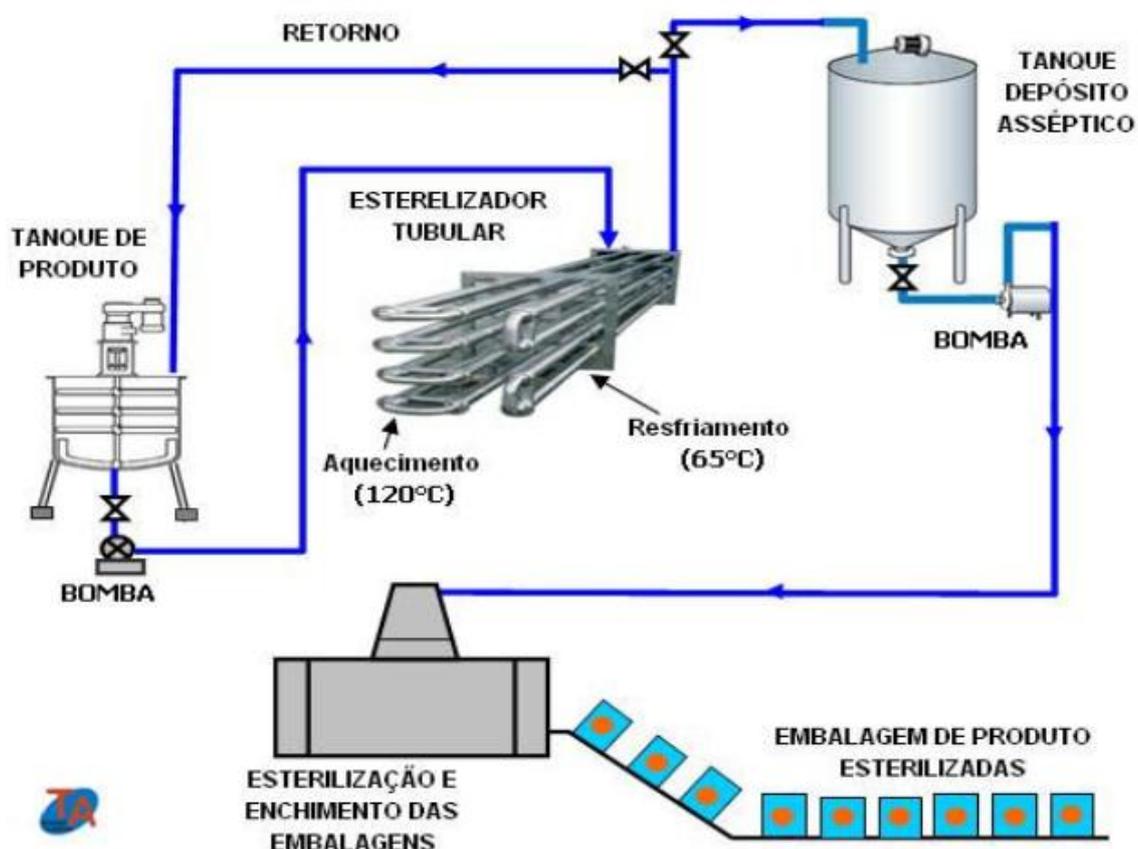
2.3.7 Processamento Asséptico

O processo asséptico é utilizado desde a década de 40, sendo um dos primeiros métodos utilizados para tratamento térmico de alimentos. Ele é também conhecido como sistema HCF (*heat – cool – fill*). Com o passar do tempo, o sistema se modernizou, utilizando vapor superaquecido à pressão atmosférica, podendo

atingir 175°C em um tempo muito pequeno, fazendo com que o tratamento térmico seja eficiente, já que a esterilização dos alimentos normalmente é feita entre 120 e 121°C.

O produto final será uma embalagem hermeticamente selada, contendo um alimento estéril que pode ser armazenado a temperaturas ambiente e ser conservado por um período longo de tempo, uma vez que o sistema permite o processamento na completa ausência de microrganismos, incluindo seus esporos. A Figura 9 mostra o esquema de um processo asséptico.

Figura 9 - Esquema de um processo asséptico



Fonte: Bragante (2012)

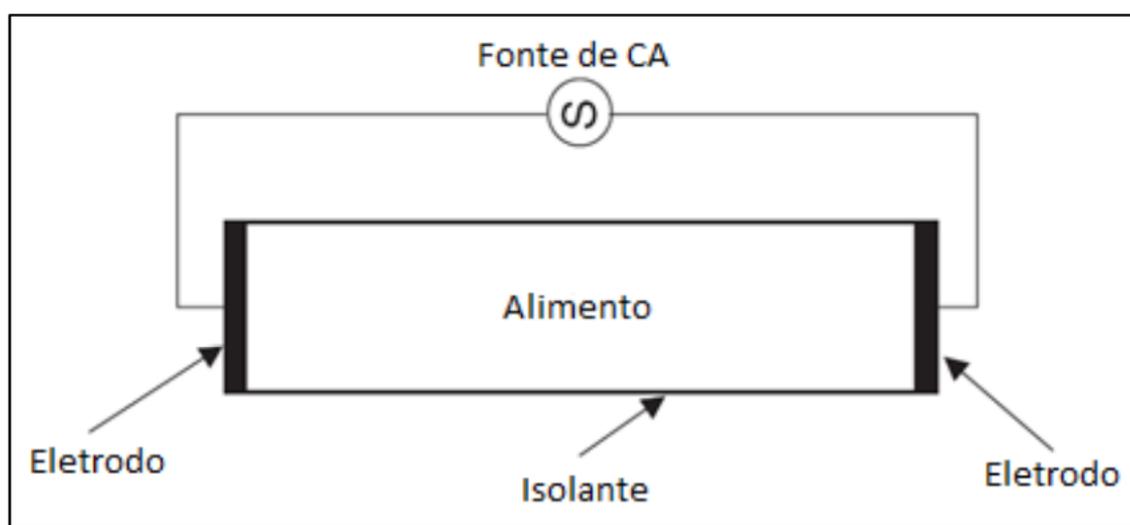
2.3.8 Trocador de calor por sistema ôhmico

O aquecimento através do sistema ôhmico pode ser definido como um processo no qual a corrente elétrica passa pelo produto através de uma corrente alternada, transformando a energia elétrica em energia térmica e,

consequentemente, aquecendo o produto. Neste tipo de aquecimento, o alimento atua como uma resistência, através da qual passa a corrente alternada. Como a maioria dos alimentos que necessita de processamento térmico contém constituintes iônicos (como ácidos e sais), é possível passar corrente elétrica através dos mesmos (Palaniappan e Sastry, 1991b)

Sua grande vantagem é que a troca de calor é feita de forma uniforme e de maneira mais rápida do que os processos convencionais. Na Figura 10 está representado o esquema de um trocador de calor por sistema ôhmico.

Figura 10 - Esquema de um trocador de calor por sistema ôhmico



Fonte: Ruan et al (2002)

2.4 Cálculos da Letalidade dos Microrganismos

A escolha da temperatura e do tempo a serem usados em um tratamento térmico depende das características do próprio alimento, do microrganismo alvo e do emprego ou não de outros métodos de conservação combinados. O adequado binômio de tempo e temperatura deverá ser definido com o objetivo de o alimento final não apresentar riscos microbiológicos e de minimizar os efeitos na qualidade sensorial e nutricional do alimento.

Segundo Stumbo (1973), dois parâmetros são utilizados para avaliar a resistência térmica dos microrganismos: o tempo de redução decimal (valor D), determinado através da curva de sobrevivência e o coeficiente de temperatura (valor Z), determinado através da curva de destruição térmica.

O valor D, também chamado de razão letal, é definido como o tempo em minutos necessário para reduzir a 1/10 a população de um dado microrganismo, a uma dada temperatura. Em outras palavras é o tempo necessário para promover uma redução decimal na população ou, ainda, para destruir 90% da população. O valor D é característico de cada microrganismo e estabelecido a cada temperatura, separadamente. Por isso, a notação usada para o valor D é sempre acompanhada da temperatura de referência usada na determinação.

O valor D permite avaliar e comparar a resistência dos microrganismos em uma dada temperatura constante, mas não oferece informação sobre a influência da variação da temperatura sobre a resistência. Essa informação é dada pela curva de destruição térmica, que reflete a resistência relativa dos microrganismos a diferentes temperaturas.

O valor z é definido como a variação de temperatura necessária para provocar uma variação de dez vezes no valor de D, ou seja, promover uma redução ou uma elevação decimal no valor D. Assim como o valor D, o valor z é característico de cada espécie microbiana e determinado individualmente para cada microrganismo.

O valor z permite comparar o efeito da variação da temperatura na velocidade de destruição de diferentes microrganismos. Por exemplo, uma espécie que tenha $z = 5^{\circ}\text{C}$ é mais sensível à elevação da temperatura do que a espécie que tenha $z = 10^{\circ}\text{C}$, porque uma elevação de 5°C acelera em dez vezes a velocidade de sua destruição, enquanto o segundo exige uma variação de 10°C para a mesma aceleração. A Tabela 1 mostra os valores de temperatura de referência, D e Z para cada microrganismo alvo do processo.

Tabela 1 - Valores de D e Z para alguns microrganismos de importância em produtos ácidos.

Alvo	Tref (°C)	D (min)	Z (°C)
Bactérias não esporuladas, leveduras e fungos	65,5	0,50 - 3,0	4,5- 6,5
Salmonella	65,5	0,25	5,5
E. coli	55	6,7	3,6

Fonte: adaptado de Gomez – Sanchez (2007)

As células vegetativas dos microrganismos são sensíveis a temperaturas relativamente baixas. Poucos minutos de permanência a $65,5^{\circ}\text{C}$ são suficientes para

destruir bolores, leveduras e bactérias que apresentam $D_{65,5^{\circ}\text{C}}$ não superior a 2-3 minutos na maioria dos casos.

Segundo NCA (1968), Stumbo (1973) e Gonçalves *et al.* (1995), o dimensionamento de processos térmicos pode ser feito pelo cálculo da letalidade (F), definida como o tempo (em minutos) necessário para destruir um determinado número de microrganismos, numa determinada temperatura de referência. O valor F também é chamado de tempo equivalente à temperatura de referência. Quando a temperatura de referência é 121°C e o valor z é de 10°C , a letalidade é chamada de F_0 . Quanto maior o tempo e a temperatura de um processo térmico, mais intenso (mais letal) é o tratamento e menor é a chance de sobrevivência dos microrganismos. Entretanto, o tempo e a temperatura não podem ser elevados indiscriminadamente, uma vez que isso comprometeria a qualidade nutricional e sensorial do alimento.

Para alimentos ácidos, a temperatura de referência é menor do que 100°C e a aplicação do calor não é feita sob pressão. Não há, entretanto, uma temperatura preestabelecida, sendo utilizada, para cada produto, aquela considerada letal para os microrganismos de maior resistência, dentre os que podem crescer.

A grandeza utilizada para a representação do efeito e intensidade do tratamento térmico (letalidade) nos alimentos é expressa em unidade de tempo e está representada pela equação (1).

$$F = \int_{t_0}^t 10^{\left(\frac{T-T_{ref}}{z}\right)} \cdot dt \quad (1)$$

Sendo:

T- temperatura do produto no instante t ($^{\circ}\text{C}$);

T_{ref} – temperatura de referencia do microrganismo alvo ($^{\circ}\text{C}$);

Z – valor z, especifico para o microrganismo ($^{\circ}\text{C}$);

t – tempo.

F – expresso na mesma unidade de t, geralmente em minutos.

Obtendo-se o valor da intensidade do tratamento térmico a partir da equação (1), é possível prever, através da equação (2), o número de reduções decimais, ou logarítmicas, n, obtidos no processo térmico.

$$n = F / \text{valor } D \quad (2)$$

Stumbo (1973), propôs uma redução da população inicial de 5 ciclos decimais, ou seja, 5D, para microrganismos deteriorantes e 12D para microrganismos patogênicos.

Para garantir que todo o produto foi submetido ao mínimo tratamento térmico requerido, os cálculos de letalidade térmica consideram a velocidade máxima que o fluido pode atingir dentro dos tubos de retenção.

Em escoamento no interior dos tubos a velocidade média é obtida através da razão entre vazão volumétrica e área transversal da tubulação (Toledo, 1991), segundo equação (3).

$$v_{\text{média}} = V/A \quad (3)$$

Sendo:

$V_{\text{média}}$ - velocidade média, m s^{-1}

V - vazão volumétrica, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

A - área da seção transversal da tubulação, m^2 .

A área da seção transversal é calculada utilizando-se o valor do raio interno da tubulação, a partir da equação (4).

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (4)$$

Sendo: r - raio interno, m

A velocidade máxima do fluido é calculada pelo produto da velocidade média e do fator de correção do regime de escoamento. O regime de escoamento é função do número de Reynolds, que é adimensional e relaciona as forças inerciais sobre as forças viscosas de um fluido, conforme mostra a equação (5).

$$Re = \frac{\rho \cdot v_{\text{média}} \cdot D}{\eta} \quad (5)$$

Sendo:

ρ – densidade do produto, kg/m³

η – viscosidade do produto, Pa.s

Valores do número de Reynolds maiores que 4.000 caracterizam escoamentos em regime turbulento, enquanto que valores menores que 2.100 são considerados escoamentos em regime laminar. A faixa do número de Reynolds entre os valores 2.100 e 4.000 caracteriza uma zona de transição.

Em escoamento laminar, o fluido apresenta um perfil parabólico, sendo que sua velocidade máxima ocorre no eixo do tubo. No caso de fluidos Newtonianos em escoamento laminar a velocidade máxima é obtida multiplicando-se a velocidade média por 2.0 (Palmer e Jones, 1976; Steffe, 1996).

Em escoamento turbulento e no caso de fluidos Newtonianos, uma boa aproximação para a velocidade máxima pode ser obtida, para a maioria dos casos, multiplicando-se a velocidade média por 1,2 (Palmer e Jones, 1976; Steffe, 1996).

Portanto, a velocidade máxima da partícula de um fluido Newtoniano pode ser calculada de acordo com a equação (6).

$$v_{max} = \begin{cases} 2,0 \cdot v_{media} \rightarrow Regime\ laminar \\ 1,2 \cdot v_{media} \rightarrow Regime\ turbulento \end{cases} \quad (6)$$

Como ocorre a dilatação térmica do produto inerente ao seu aumento de volume com o aquecimento, aplica-se um fator de correção na velocidade máxima, para compensar essa dilatação. O valor sugerido aplicado de correção é de 6% e está expresso na equação (7). Este valor geral aplicado correspondente à dilatação que a água sofre em um intervalo de aumento de temperatura de 100°C.

$$v_{max\,corrigida} = v_{max} \cdot (1 + 6/100) \quad (7)$$

O tempo de residência mínimo ($t_{R\,min}$) é então calculado pela equação (8).

$$t_{R\,min} = \frac{L}{v_{max\,corrigida}} \quad (8)$$

Sendo:

L - comprimento do tubo de retenção, m

$v_{\max\text{corrigida}}$ - velocidade máxima corrigida em relação à dilatação, m s^{-1}

A partir do tempo de retenção mínimo calcula-se a letalidade (F) pela equação (1), que neste caso, pode ser simplificada para a equação (9), já que a taxa letal é calculada com temperatura constante, sendo esta a mínima temperatura do produto no tubo de retenção, ou seja, a temperatura de guarda (T_g).

$$F = TL \cdot \Delta t \rightarrow F = 10^{\left(\frac{T_g - T_{ref}}{Z}\right)} \cdot t_{R_{min}} \quad (9)$$

Sendo:

TL - Taxa letal (adimensional)

T_g - temperatura de guarda do produto no processo, $^{\circ}\text{C}$

T_{ref} - temperatura de referencia do microrganismo

Z - valor de z do microrganismo

$t_{R_{min}}$ - tempo mínimo no tubo de retenção obtido pela equação 8 , geralmente em minutos

2.5 Projeto de um trocador de calor casco-tubo

O projeto de um trocador de calor consiste em determinar o dimensionamento do equipamento que satisfaça simultaneamente os requisitos de transferência de calor e perda de carga admissíveis para os dois fluidos. É recomendável que se utilize o máximo da perda de carga admissível para que minimize a área do trocador.

Como em um projeto de um equipamento existem muitas incertezas devido a várias considerações, aproximações e interpolações de alguns dados como as propriedades físicas, correlações, restrições de dimensões e parâmetros, desconhecimento das características da incrustação, é preciso que o projeto seja superestimado, a fim de que este seja eficiente em relação ao serviço requisitado (Araújo, 2014).

O projeto consiste em testar um trocador de calor, conhecer as vazões e as temperaturas dos fluidos e, ao final, verificar se este corresponde ao serviço solicitado. Através da equação (10), é possível determinar a quantidade de calor que deve ser trocado.

$$q = w_q \cdot c_{pq}(T_1 - T_2) = w_f \cdot c_{pf}(t_2 - t_1) \quad (10)$$

Onde:

Q - quantidade de calor (J/s)

w_q, w_f - vazão mássica do fluido quente e fluido frio, respectivamente (kg/s)

c_{pq}, c_{pf} - calor específico do fluido quente e do fluido frio, respectivamente (J/kgK)

T_1 - temperatura de entrada do fluido quente (°C)

T_2 - temperatura de saída do fluido quente (°C)

t_1 - temperatura de entrada do fluido frio (°C)

t_2 - temperatura de saída do fluido frio (°C)

Com os valores das 4 temperaturas, determina-se o número de passagem no casco e o Δt . Além disso, encontra-se na literatura valores tabelados de U para diferentes tipos de produtos, que é o coeficiente global de troca térmica. Com estas informações, calcula-se a área de troca de calor, através da equação (11) a seguir.

$$A = \frac{q}{U \cdot \Delta t} \quad (11)$$

Com a área calculada, e a partir do comprimento, diâmetro dos tubos e casco, do tipo de arranjo, e espaçamento das chicanas definidos pelo projetista com o auxílio de tabelas em bibliografias, é possível determinar o número de tubos necessários no trocador de calor. Com isso, têm-se o projeto do equipamento. Resta verificar se ele cumpre com os requisitos necessários tanto na parte térmica como na parte hidráulica. Na parte hidráulica, é preciso calcular a perda de carga no lado tubo e no lado casco e comparar com a perda de carga admissível. As equações estão indicadas a seguir.

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r \quad (12)$$

$$\Delta P_S = \Delta P_c + \Delta P_w + \Delta P_e \quad (13)$$

Onde:

ΔP_T - Perda de carga total no lado tubo

ΔP_t - Perda de carga em razão do escoamento nos tubos

ΔP_r - Perda de carga de retorno

ΔP_S - Perda de carga total no lado casco

ΔP_c - Perda de carga na seção de escoamento cruzado

ΔP_w - Perda de carga nas janelas

ΔP_e - Perda de carga nas regiões de entrada e saída do casco

Na parte térmica, é preciso comparar a área de troca que se dispõe com a área necessária, para que o trocador faça o serviço que precisa ser feito, ou seja, calcula-se o excesso de área através da equação (14). O valor sugerido é de 10 a 20%.

$$EA = \frac{A_{projeto} - A_{necessária}}{A_{necessária}} 100 \quad (14)$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A preparação do molho de tomate segue as seguintes etapas conforme descrito abaixo:

- São colocadas no tanque de preparo a base de tomate e a água, nas quantidades conforme consta na formulação;

- Em seguida a base de tomate e a água são aquecidas a 97 – 98°C por 15 minutos;

- Após esse aquecimento, são acrescentados no tanque de preparo todos os demais ingredientes da formulação, como condimentos, açúcar, sal, amido e os óleos que foram previamente misturados no tanque de temperos;

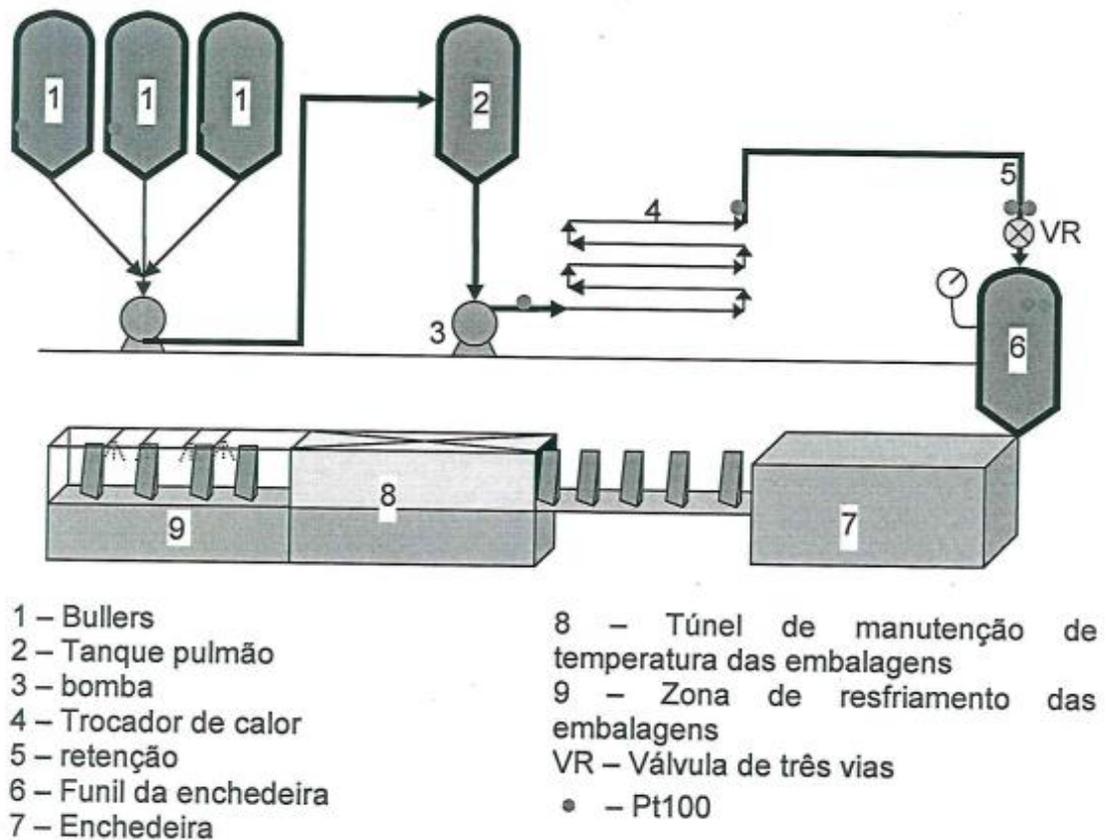
- A mistura toda é aquecida a 92 – 94°C para a ativação do amido. Em seguida uma amostra é retirada para ser analisada pelo laboratório. Para a liberação, os parâmetros devem estar dentro do especificado, sendo que o pH deve estar dentro da faixa de 3,90 a 4,50.

- Se o produto for liberado pelo laboratório, o produto então é aquecido à 92°C e enviado ao tanque pulmão e posteriormente ao trocador de calor do tipo duplo tubo, onde ocorre a manutenção desta temperatura, ou seja, se o molho de tomate chegar a uma temperatura menor que 92°C, o trocador de calor tem a função de aumentar esta temperatura para que o tratamento térmico ocorra.

Estas informações e todos os dados foram obtidos em uma indústria do ramo alimentício onde o autor deste trabalho estagiou durante 1 ano.

A figura a seguir ilustra a explicação acima através do fluxograma do processo.

Figura 11 - Fluxograma do processo do molho de tomate.



Fonte: Rodrigues (2006)

Para o cálculo da letalidade dos microrganismos, foi utilizado o método descrito no tópico 2.4 da revisão bibliográfica e para o projeto do trocador de calor foi utilizado o método descrito no tópico 2.5 da revisão bibliográfica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Resultados microbiológicos dos condimentos

Para representar a carga inicial do produto os condimentos utilizados na preparação do molho foram avaliados microbiologicamente, quanto à contagem total de bactérias mesófilas e bolores e leveduras. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados e valores de contagem total, bolores e leveduras dos condimentos.

Condimento	Lote	Data Produção	Resultado Contagem Total	Bolores e Leveduras (UFC/g)
Alho em pó	0715/264	03/19	$9,4 \times 10^4$	$1,3 \times 10^3$
Louro em pó	0377/254162	12/18	$3,2 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$
Manjericão	6697/B	27/10/2018	$9,5 \times 10^4$	$1,4 \times 10^3$
Cebola desidratada	-	05/08/2018	$1,8 \times 10^4$	400
Orégano	2019-028	02/19	$9,3 \times 10^4$	$1,0 \times 10^4$
Salsa	25/PD261793	10/18	$5,7 \times 10^4$	$1,8 \times 10^3$
Alecrim	0366/010237	01/18	$7,7 \times 10^4$	700

Fonte: o autor (2019)

Esta tabela mostra que ao inserir os ingredientes na receita do molho de tomate, é adicionada uma carga alta de microrganismos ao produto. Por isso, mesmo que a base para o molho já tenha passado por um tratamento térmico no tanque de preparo, é preciso que o produto passe pelo trocador de calor para que ocorra a redução necessária dos microrganismos no molho de tomate.

4.2 – Resultados dos cálculos de letalidade

Para a realização dos cálculos foi necessário considerar os parâmetros de vazão da linha, diâmetro interno da tubulação do trocador de calor e comprimento dos tubos de retenção, bem como as análises de viscosidade e

densidade do produto, que foram realizadas pelo laboratório físico químico da empresa.

Os parâmetros necessários citados acima estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados do produto e do processo

Vazão volumétrica (m ³ /s)	0,001453
Diâmetro interno da tubulação de retenção dos trocadores (m)	0,0508
Comprimento do tubo de retenção (m)	131,0
Densidade (kg/m ³)	1020,0
Viscosidade (Pa.s)	9,5

Fonte: o autor (2019)

A vazão volumétrica da linha foi obtida através do registro do tempo necessário para o escoamento de 200 litros de produto.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados dos cálculos aplicados para a linha. O tempo de retenção (tempo de retenção mínimo no trocador de calor) foi utilizado no cálculo final da letalidade (F), que implica diretamente no número de reduções decimais (n) atingido por essa etapa do processo térmico.

Tabela 4 - Valores obtidos através das Equações de 3 a 8

Área da seção transversal da tubulação (m ²)	0,002
Velocidade média (m/s)	0,717
Número de Reynolds	3,910
Velocidade Máxima (m/s)	1,434
Velocidade máxima corrigida (m/s)	1,520
Tempo de Retenção (min)	1,436

Fonte: o autor (2019)

Os valores apresentados acima mostram as características da tubulação e de como o molho é transferido dentro dele, como por exemplo, devido ao número de Reynolds ser muito pequeno, isso mostra que o produto escoava de uma forma laminar. Além disso, obteve-se o tempo de retenção, ou seja, o

tempo que o molho demora em percorrer a tubulação até chegar no tanque de envase.

Para que possa se estabelecer uma relação entre a letalidade do processo (F) e a letalidade mínima ($F_{\text{mínimo}}$) de cada microrganismo, foi aplicada a equação (2) modificada:

$$F_{\text{mínimo}} = n \cdot D \quad (15)$$

Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de $F_{\text{mínimo}}$

Microrganismo Alvo	Tref (°C)	D (min)	Reduções	Fmínimo (min)
Bolores e Leveduras	65,5	3	5	15,0
E. coli	65,5	6,7	12	80,4
Salmonella	55	0,25	12	3,0

Fonte: o autor (2019)

Através da Equação 09, foi possível calcular o F, em minutos e o número de reduções (n), atingidas pela primeira etapa do processo térmico que acontece no tanque de preparo, para cada microrganismo de importância. A temperatura de guarda (Tg), utilizada foi de 97°C e o tempo de retenção de 15 minutos. Os resultados estão apresentados na Tabela 6. Nesta etapa apenas a água e a base para o molho de tomate são tratados termicamente.

Tabela 6 - Valores de F e n para o tanque de preparo a 97°C e 15 minutos

Microrganismo Alvo	Tref (°C)	D (min)	Z (°C)	F (min)	n
Bolores e Leveduras	65,5	3	6,5	$1,05 \times 10^6$	$3,51 \times 10^5$
E. coli	65,5	6,7	5,5	$8,01 \times 10^6$	$3,20 \times 10^7$
Salmonella	55	0,25	3,6	$6,96 \times 10^{12}$	$1,04 \times 10^{12}$

Fonte: o autor (2019)

Através dos resultados, pode-se perceber que para bolores e leveduras, E.coli e Salmonella o processo térmico aplicado no tanque de preparo atinge o número de reduções necessárias para tornar o produto comercialmente estéril.

Após esta etapa é adicionado ao produto alguns temperos que podem trazer cargas microbianas conforme a Tabela 2. Por este motivo, a etapa de

aquecimento que ocorre no trocador de calor também foi avaliada. Os resultados obtidos estão indicados na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores de F e n para o trocador de calor

Microrganismo Alvo	Tref (°C)	D (min)	Z (°C)	F (min)	n
Bolores e Leveduras	65,5	3	6,5	$2,44 \times 10^4$	$8,15 \times 10^3$
E. coli	65,5	6,7	5,5	$1,44 \times 10^5$	$5,75 \times 10^5$
Salmonella	55	0,25	3,6	$5,16 \times 10^{10}$	$7,71 \times 10^9$

Fonte: o autor (2019)

Para se verificar melhor os resultados obtidos e analisar se foi possível atingir as reduções pré-estabelecidas pela legislação dos microrganismos alvo do processo, foi construída a Tabela 8.

Tabela 8 - Valores de F dados em minutos para meio de comparação

Microrganismo Alvo	Fmínimo (min)	F tanque de preparo (min)	F trocador (min)
Bolores e Leveduras	15,0	$1,05 \times 10^6$	$2,44 \times 10^4$
E. coli	80,4	$8,01 \times 10^6$	$1,44 \times 10^5$
Salmonella	3,0	$6,96 \times 10^{12}$	$5,16 \times 10^{10}$

Fonte: o autor (2019)

Analisando os resultados obtidos, pode-se perceber que para bolores e levedura, E.coli e Salmonella, o tratamento térmico aplicado no produto tanto no tanque de preparo quanto no trocador de calor, devido ao possível acréscimo de carga microbiana através dos temperos adicionados na receita, é totalmente eficiente, atingindo valores de F e n muito maiores que o pré-estabelecidos pela legislação, que são os valores de $F_{\text{mínimo}}$ mostrados na Tabela 8.

4.3 – Resultados do projeto do trocador de calor

Para fins de comparação, foi projetado um trocador de calor casco-tubo para fazer a mesma função do equipamento que é utilizado hoje na indústria utilizada como referência, a fim de avaliar se há alguma melhorias no processo.

Primeiramente foram definidas as correntes do processo, as vazões, temperaturas de entrada e saída e suas propriedades físico-químicas. OS valores estão apresentados nas Tabela 9 e 10.

Tabela 9- Dados iniciais da água (fluido lado casco)

Água (lado casco)			
Dados iniciais		Propriedades físico-químicas	
w(kg/s)	1,11085	ρ (Kg/m ³)	964,296
T1(°C)	98	μ (kg/ms)	0,000312
T2(°C)	95	cp(J/kgK)	4206,55176
Rd(hft ² F/Btu)	0,0017	k(W/mK)	0,68504
		Rd(sm ² K/J)	0,000299

Fonte: o autor (2019)

Tabela 10 - Dados iniciais do molho de tomate (fluido lado tubo)

Molho de tomate (lado tubo)			
Dados iniciais		Propriedades físico-químicas	
w(kg/s)	1,7436	ρ (Kg/m ³)	1200
t1(°C)	90	μ (kg/ms)	9,5
t2(°C)	92	cp(J/kgK)	4020
Rd(hft ² F/Btu)	0,001022	k(W/mK)	0,56
		Rd(sm ² K/J)	0,00018

Fonte: o autor (2019)

Através do método apresentado na seção 2.6, o trocador de calor que foi dimensionado. Todas as dimensões que foram definidas e calculadas estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Informações gerais do projeto do trocador de calor casco-tubo

Número de tubos, N_t	72
Comprimento dos tubos, L (m)	7,000
Diâmetro interno dos tubos, d_i (m)	0,024
Diâmetro externo dos tubos, d_e (m)	0,025
Excessura dos tubos, e (m)	0,001
Passo entre dois tubos consecutivos, p (m)	0,025
Diâmetro do feixe de tubos, D_{olt} (m)	0,356
Diâmetro interno do casco, D_s (m)	0,387
Número de chicanas, N_b	33
Espaçamento entre chicanas, l_s (m)	0,200
Diâmetro dos bocais, $d_{bocal, i}$ e $d_{bocal, o}$ (m)	0,0762
Número de tiras selantes, N_{ss}	2
Número de passagens pelo lado casco	1
Número de passagens pelo lado tubo	8

Fonte: o autor (2019)

Analisando estes resultados obtidos e comparando com o trocador de calor duplo tubo utilizado na indústria consultada, pode-se ressaltar que além deste trocador ser tão eficiente quanto o atual, devido o atingimento da temperatura necessária, logo, das reduções necessárias dos microrganismos, ele possui um mesmo comprimento, não ocupando mais espaço na indústria. Por ter um número de tubos pequeno, o custo não será tão alto e, por fim, terá uma economia maior na indústria, já que o produto utilizado para o aquecimento do molho deste novo equipamento é a água, mais viável que o vapor, produto utilizado para o aquecimento no processo atual.

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o tratamento térmico que acontece no tanque de preparo é suficiente para reduzir bactérias não esporogênicas, bolores e leveduras, E. coli e Salmonella à níveis muito inferiores ao especificado. Após a adição dos condimentos que podem trazer ao produto uma nova carga de microrganismos como bolores e leveduras, E. Coli e Salmonella, o tratamento térmico que ocorre no trocador de calor da linha é suficiente para reduzir novamente essas cargas a valores que deixam o produto dentro das especificações pré-estabelecidas, sendo essas especificações de 12 reduções decimais para microrganismos patogênicos e 5 reduções decimais para microrganismos deteriorantes.

Em relação ao trocador de calor projetado, pode-se concluir que o novo equipamento é eficiente para uma possível aplicação dele no processo de preparação do molho de tomate, pois ele eleva a temperatura do molho de tomate a 92°C igual ao trocador utilizado atualmente, logo, o tratamento térmico é realizado com sucesso fazendo com que as reduções decimais sejam atingidas. Além disso, o equipamento atual na indústria é aquecido com vapor, já o novo trocador de calor projetado é aquecido com água, ou seja, é utilizada uma temperatura menor e uma corrente mais barata para indústria, mostrando que com um custo menor, pode-se atingir o mesmo objetivo.

6 Sugestões para trabalhos futuros

Verificando as condições operacionais do processo, é possível apontar algumas melhorias que trariam ganhos práticos e confirmariam ainda mais a eficiência do tratamento térmico. A principal mudança constituiria na automatização do processo de produção do molho de tomate, que seria instalar um controlador de temperatura no tanque de preparo, onde ocorre a pasteurização e todo o preparo da receita, fazendo com que as temperaturas fossem registradas regularmente, permitindo a utilização destes dados para o cálculo da letalidade, ou seja, seria possível calcular desde o início do aquecimento até a liberação do molho, e não somente os 15 minutos de fervura. Além disso, este controlador poderia ser ligado à válvula de vazão de vapor, fazendo com que a alimentação de vapor seja coerente com a quantidade necessária para o aquecimento, evitando desperdício e aumentando a segurança do operador do equipamento e por fim teria um controle maior sobre estes tempos pré estabelecidos, garantindo que o produto final saia com a qualidade exigida pela legislação em relação a redução dos microrganismos alvo.

Outra sugestão seria, após o estudo de vários tipos de trocadores de calor, estudar a viabilidade de alterar o equipamento responsável pelo tratamento térmico. A primeira sugestão seria confirmar as vantagens do trocador de calor casco-tubo que foi projetado, utilizando uma corrente mais barata e praticando o mesmo trabalho do trocador de calor atual. Além disso, outra recomendação, dentre os equipamentos apresentados neste trabalho, o trocador de calor por sistema ôhmico mostra que tem grande potencial de ser aplicado neste processo, devido à sua característica de promover o aquecimento uniforme de todo produto, fazendo com que partículas que recebem mais calor pelo contato com a parede da tubulação não percam suas propriedades devido ao excesso de aquecimento e também sua velocidade de aquecimento.

7 Referência Bibliográfica

ARAÚJO, E. C. da C. “Série apontamentos: Trocadores de calor”, EdUFSCar, São Carlos, UFSCar, 2014.

ASSIS, L. **Alimentos seguros**: ferramentas para a gestão e controle da produção e distribuição. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2011.

BLACK, D. G.; BARACH, J. T. Canned Foods: Principles of thermal process control acidification and container closure evaluation. 8th. Washington: Grocery Manufacture Association (GMA), 2015.190 p.

BRAGANTE, A.G. **Tomate Industrial Processado**. 1.ed. São Paulo: Clube de Autores Publicações S/A, 2012.

DO VALLE, R. Ornellas. Determinação da taxa de incrustação em trocadores de calor com o auxílio de métodos de otimização. **Rio de Janeiro: COPPE UFRJ**, 2012.

ELLIOTT & KATAOKA, A. Canned foods – Testes for commercial sterility. In: Salfinger Y. & TORTORELLO, M. L. (eds.), Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, 5ª ed. Washington: American Public Health Association (APHA), 2015. Chapter 61, p. 797-803.

EP026-17, Relatório técnico final: Determinação do comportamento reológico e densidade de polpa de goiaba, GEPC, Campinas, 2017. 11 p.

FDA Aseptic processing and packaging report: Ucm071562 (form 3511-3 de 07-2010) 2010.

FDA Paper submission instructions part v (process filing for aseptic packaging systems (form FDA 2541c)). Establishment registration & process filing for acidified and low-acid canned foods (lacf). 2001.

FORSYTHE, S. J. **Microbiologia da segurança alimentar**. Porto Alegre: Artmed, 2013.

GÓMEZ-SÁNCHEZ, A. Microorganismos de importancia en el tratamiento térmico de alimentos ácidos y de alta acidez. **Temas Selectos Ing Aliment**, v. 1, p. 24-32, 2007.

GONÇALVES, F. S. Leveduras. **Infoescola**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/biologia/leveduras/>>. Acesso em: 16. jun. de 2019.

GONÇALVES, J.R.; GERMER, S.P. M.; LEITÃO, M. F. F.; TEIXEIRA NETO, R. O.; GONÇALVES, J. R.; JARDIM, D. C. P. e VITALI, A. A. Princípios de esterilização de alimentos: Manual técnico, 10: Princípios de esterilização de alimentos. Campinas: Instituto de tecnologia de alimentos (ITAL), 1995.

LANDRY, W.L., SCHWAB, A.H. & LANCETTE, G.A. Examination of Canned Foods. In: U. S. Food and Drug Administration (FDA), Bacteriological Analytical Manual Online, disponível no site <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm109398.htm>, Chapter 21^a, revisão de janeiro de 2001.

NCA (National Canners Association). Laboratory Manual for Food Canners and Processors, Volume 1 – Microbiology and Processing. The AVI Publishing Company, Inc, Westport, Connecticut, 1968.

PALMER, J. A. e JONES, V. A. Prediction of holding times for continuous termal processing of power-law fluids. *Journal of Food Science*, v.41, p. 1233-1234, 1976.

SARKIS, Julia Ribeiro. Construção de um sistema de aquecimento ôhmico e sua aplicação no tratamento térmico de polpa de mirtilo. 2011.

SENAI/DN. **Elementos de apoio para o Sistema APPCC**. 2. ed. Brasília, 2000. (Série Qualidade e Segurança Alimentar). Projeto APPCC Indústria. Convênio CNI/SENAI/SEBRAE.

SILVA, NEUSALY da. Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água/ Neusaly da Silva... (et al). 5ª ed. – São Paulo: Blucher, 2017.

SILVA, Neusely da et al. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2017. 560 p.

SILVA, N. da; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Livraria Varela.

SILVA, Valter Henrique Carvalho. Estimativa da Difusividade e Condutividade Térmica da Massa de Tomate Comercial pelo Método de Levenberg-Marquardt.

STEFFE, J.F. Rheological methods in food process engineering. 2nd.ed. East Lansing, Michigan: Freeman Press, 1996. 418p.

STUMBO, C. F. Thermo bacteriology in food processing. 2.ed. New York: Academic Press, 1973.

TOLEDO, R. T. Fundamentals of food process engineering. 2ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 602p.

ZIMMERMANN, Morgana. **RESISTENCIA DE ESPOROS DE *Byssochlamys fulva* E *Bacillus coagulans* EM POLPA DE TOMATE SOB CONDIÇÕES ISOTÉRMICAS, NÃO ISOTÉRMICAS E DE ALTAS PRESSÕES HIDROSTÁTICAS**. 2012. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade

Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em:
<<http://repositorio.ufsc.br>>. Acesso em: 16 jun. 2019.