

UNIVERSIDADE FEEVALE

CRISTINA TOMASI

**COMPARAÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DO
PROCESSO INDUSTRIAL DE ADESIVOS *HOT MELT***

Novo Hamburgo

2012

CRISTINA TOMASI

**COMPARAÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DO
PROCESSO INDUSTRIAL DE ADESIVOS *HOT MELT***

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Industrial Química pela
Universidade FEEVALE.

Professora Orientadora: Dr^a Patrice Monteiro de Aquim

**Novo Hamburgo
2012**

CRISTINA TOMASI

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Industrial Química, com título “**Comparação de diferentes sistemas de refrigeração do processo industrial de adesivos *hot melt***”, submetido ao corpo docente da Universidade Feevale, como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Industrial Química.

Aprovado por:

Professora Orientadora Dr^a. Patrice Monteiro de Aquim
Universidade Feevale

Prof. Dr. Fabrício Celso (Banca Examinadora)
Universidade Feevale

Prof^a. Dr^a. Angela Beatrice Dewes Moura (Banca Examinadora)
Universidade Feevale

Eng. Ind. Mecânico Paulo Schmökel (Banca Examinadora)
Artecola Ind. Químicas Ltda

Novo Hamburgo, 30 de Novembro de 2012

AGRADECIMENTOS

A Deus e meus antepassados pela minha Vida.

Aos meus pais João Antonio e Zuleica pelo amor incondicional, desprendimento e confiança.

Ao meu irmão Rubem pela forte amizade e exemplo de garra, força e perseverança.

Ao meu namorado Marcel pelo carinho e paciência nos momentos de conclusão do curso.

Aos meus tios Suzana e Olavo pelo incentivo, apoio, confiança e grande aprendizado que me proporcionaram com a convivência dentro de um lar amoroso.

As famílias Lampert e Tomasi, e em especial aos tios Ana e Telmo e primo Alex por me oportunizarem o estudo.

A todos os meus queridos amigos, minha eterna gratidão pelos momentos de alegria, fé, estudo e firme amizade.

Aos meus colegas de trabalho, pelo apoio, aprendizado e convivência.

A minha orientadora Dr^a Patrice, muito obrigada pelo apoio, disponibilidade e empenho.

RESUMO

A redução de custos e o ganho em produtividade são aspectos muito importantes enfatizados pelas empresas que visam o lucro na atualidade. Com esse intuito, estudos vêm sendo realizados no sentido de otimizar processos e diminuir os gastos, principalmente com recursos naturais dentro das corporações. Este trabalho possui o objetivo de comparar dois diferentes sistemas de refrigeração de água utilizada na descarga de adesivos *hot melt* através do tempo de descarga e consumos de água e energia. Estes itens foram avaliados baseados no método comparativo e através deste estudo pode-se verificar a queda de 84% no consumo de água, o aumento de 1,6% no consumo energético com o novo sistema de refrigeração empregado e principalmente o aumento de produtividade através da estabilização da temperatura da água que proporciona o contínuo processo de descarga do adesivo. Com a redução do consumo de recurso natural foi possível constatar que a busca pela melhoria contínua de processos traz resultados significativos, tanto na questão de custos como na preservação ambiental.

Palavras-chave: *Hot melt*, Refrigeração, Consumo, Produtividade.

ABSTRACT

Cost reduction and increased productivity are much important aspects emphasized by companies that look to profit today. To this end, studies have been carried out to optimize processes and reduce costs, mainly with natural resources in a corporation. This work has the objective of comparing two different water cooling systems used in hot melt adhesives discharge trough the time discharges and energy and water consumption. These items were evaluated based on the comparative method and trough this study it was possible to reach 84% decrease in the water consumption, 1,6% increase in the energy consumption with the new cooling system employed, and increased productivity by the water temperature stabilization, which provides continuous process of adhesive discharging. With the reduction of natural resource consumption was possible to verify that the quest for continuous process improvement brings significant results, both of costs and environmental preservation.

Key Words: Hot melt, Refrigeration, Consumption, Productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Substrato e adesivo.	15
Figura 2 - Adesivos das tecnologias solvente (a), aquoso (b) e <i>hot melt</i> (c).	17
Figura 3 - Representação de transferência de calor por convecção.	19
Figura 4 - Trocador de calor de casco e tubos com passe simples.	21
Figura 5 - Trocador de calor de placas com gaxetas.	23
Figura 6 - Escoamento de dois fluidos em contra-corrente.	24
Figura 7 - Esquema de um condensador evaporativo.	25
Figura 8 - Torre de resfriamento.	27
Figura 9 - Sistema de refrigeração por compressão a vapor.	33
Figura 10 - Hidrômetro da marca LAO.	36
Figura 11 - Matriz com furos circulares.	39
Figura 12 - Ilustração do processo produtivo de adesivos <i>hot melt</i>	40
Figura 13 - Esquema de funcionamento do <i>chiller</i> 1.	41
Figura 14 - Esquema de funcionamento do <i>chiller</i> 2.	43
Figura 15 - Ilustração do processo produtivo do adesivo com refrigeração.	43
Figura 16 - Reservatório do <i>chiller</i> sistema 1.	47
Figura 17 - Torres de resfriamento utilizadas no sistema de refrigeração 1.	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas da água com os dois sistemas	46
Gráfico 2 - Consumo de água nos diferentes sistemas de refrigeração utilizados....	48
Gráfico 3 - Comparação dos itens avaliados.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condutividade térmica de materiais (SILVA, 2004).....	19
Tabela 2 - Quadro dos lotes acompanhados.....	44
Tabela 3 - Registros de consumo de água com o sistema 1.....	46
Tabela 4 - Comparação do consumo de água	48
Tabela 5 - Consumo energético do sistema 1	50
Tabela 6 - Consumo energético do sistema 2.....	50

NOMENCLATURAS E ABREVIações

A	área da superfície
c_p	calor específico [L/kg.K]
CV	cavalos a vapor - unidade de medida de potência
°C	graus celsius – unidade de medida de temperatura
h	hora – unidade de medida de tempo
HP	<i>horse-power</i> (cavalo de força) - unidade de medida de potência
J	Joule – unidade de energia e trabalho
kg	kilograma – unidade de medida de massa
K	kelvin – unidade de medida de temperatura
l	litro – unidade de medida de volume
ρ	massa específica
m^2	metro quadrado – unidade de medida de área
m^3	metro cúbico – unidade de medida de volume
min	minuto – unidade de medida de tempo
q	taxa de troca térmica
Q	vazão
T	temperatura
T_f	temperatura do fluido frio
T_q	temperatura do fluido quente
U	coeficiente global de transferência de calor
W	Watt – unidade de medida de
ΔT	diferença de temperatura

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
OBJETIVOS	14
OBJETIVO GERAL.....	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1 REFERENCIAL TEÓRICO	15
1.1 ADESIVOS HOT MELT	15
1.2 TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM ADESIVOS.....	16
1.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	18
1.4 EQUIPAMENTOS TROCADORES DE CALOR.....	20
1.4.1 Trocadores de Calor Tubo Duplo	20
1.4.2 Trocadores de Calor Casco e Tubos.....	20
1.4.3 Trocadores de Calor Compactos.....	22
1.4.4 Trocadores de Calor de Placas.....	22
1.5 COMPONENTES DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	24
1.5.1 Condensadores.....	24
1.5.2 Torres de Resfriamento.....	26
1.5.3 Evaporadores.....	28
1.5.4 Compressores.....	29
1.5.5 Gás Refrigerante.....	31
1.6 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPOR	33
2 MATERIAIS E MÉTODOS	35
2.1 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS	35
2.2 ACOMPANHAMENTO DE LOTES DE PRODUÇÃO.....	35
2.3 CONSUMO DE ÁGUA.....	36
2.3 CONSUMO DE ENERGIA	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
3.1 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS	38
3.1.1 Processo Produtivo de Adesivos <i>Hot Melt</i>	38
3.1.2 Processo de Refrigeração com o Sistema 1	40
3.1.3 Processo de Refrigeração com o Sistema 2	42
3.2 TEMPO DE DESCARGA E TEMPERATURA.....	44

3.3 CONSUMO DE ÁGUA.....	46
3.4 CONSUMO ENERGÉTICO	49
CONCLUSÕES	52
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

INTRODUÇÃO

Conforme Schier (2005), controlar é conhecer a realidade, comparar com o que deveria ser, ter conhecimento das divergências e origens e tomar atitudes para a correção. Através deste conceito colocado pelo autor, a empresa que visa o lucro tem como premissa esta prática para a solução de desafios enfrentados. A produtividade é um índice relevante dentro deste conceito e pensando nesse aspecto é que se deve relacionar os equipamentos utilizados com os custos gerados para a lucratividade de uma corporação.

Na atualidade, a questão ambiental é um dos temas mais discutidos e precisa estar dentro do contexto industrial descrito por Schier. O consumo de recursos naturais como a água vem sendo monitorado e atitudes para a diminuição deste bem natural confirma a preocupação de uma empresa com a questão dos desperdícios. Para Schier (2005) o desperdício é o que não adiciona valor ao produto e gastos que podem ser eliminados sem prejuízo da qualidade da produção de bens e serviços.

Visando proporcionar a diminuição de desperdícios com recursos naturais, controlar os gastos e aumentar a produtividade dentro do setor produtivo de adesivos, diferentes sistemas de refrigeração foram estudados no processo industrial de adesivos *hot melt*.

O presente trabalho está dividido em três capítulos. No primeiro capítulo encontra-se a revisão bibliográfica dos conceitos fundamentais utilizados neste trabalho, onde são apresentados estudo sobre adesivos, a transferência de calor e seus equipamentos. O capítulo 2 apresenta a metodologia empregada. O capítulo 3 traz os resultados obtidos com as suas devidas discussões. Para finalizar este estudo são apresentadas a conclusão e as propostas de trabalhos futuros.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo comparar o consumo de água, a eficiência energética e o tempo de descarga dos diferentes sistemas de refrigeração no processo produtivo de adesivos *hot melt* na Empresa Artecola.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para melhor desenvolvimento deste trabalho e tendo como base o objetivo geral, foram selecionados os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o processo de fabricação de adesivos *hot melt*;
- Descrever o processo de refrigeração até então utilizado com *chillers* e torres de resfriamento na Empresa Artecola (sistema 1);
- Descrever o processo de refrigeração com o novo equipamento de refrigeração e trocador de calor de placas, instalado no segundo semestre de 2012 na Empresa (sistema 2);
- Avaliar os diferentes processos de refrigeração através do consumo de água, energia e perdas no processo de descarga;
- Medir o tempo de descarga dos sistemas de refrigeração em análise.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 ADESIVOS *HOT MELT*

Adesivo é um composto utilizado para união de dois materiais sólidos, conforme ilustra a Figura 1. Esse processo de união pode ser feito por meio químico ou mecânico. Por meio químico se dá através de forças intermoleculares, e por meio mecânico é através da penetração das superfícies (CALLISTER, 2002).

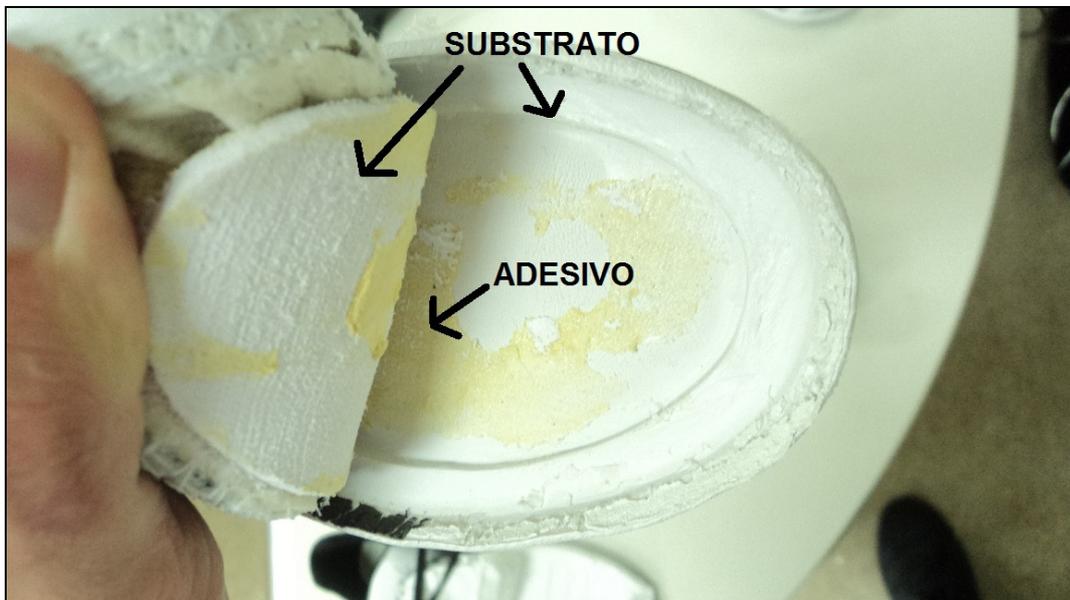


Figura 1 - Substrato e adesivo.

Fonte: Do autor

Popularmente, os adesivos são conhecidos como colas. Ambas nomenclaturas estão corretas e têm o mesmo significado. Por se tratar de uma nomenclatura mais técnica, as indústrias fabricantes utilizam o termo adesivo (ARTECOLA, 2012).

A utilização de soluções adesivas é relacionada com a história da humanidade, quando nossos ancestrais começaram a observar insetos, animais e substâncias pegajosas. Com a utilização de lama, água, folhas, neve e outros materiais, foi possível obter, através da natureza, a proteção de seu *habitat*. Foi quando o homem notou a mudança de fase de resinas utilizadas nas armas, que surgiu o que hoje chamamos de tecnologia de adesivos *hot melt*. Estas resinas passavam do estado sólido para o fundido, e então sólido novamente, quando

submetidos ao fogo (PIZZI e MITTAL, 2003).

A primeira planta produtiva de adesivos tem registro na Holanda em 1960. Alguns anos depois, em 1978, a Alemanha emitiu a primeira patente para uma cola (BOCKORNY, 2011).

As vantagens da colagem com adesivos, comparado a outras tecnologias de união (aparafusagem ou solda), são o peso mais leve, habilidade de unir diferentes materiais e componentes finos, melhor resistência à fadiga e menores custos de fabricação. Além disso, quando o posicionamento exato dos componentes é aspecto essencial, esta tecnologia deve ser escolhida (CALLISTER, 2002).

A limitação para a temperatura de serviço é a grande desvantagem das uniões por adesão. A integridade mecânica e a resistência são afetadas com aumento de temperaturas, considerando-se que os polímeros se mantêm com temperaturas relativamente baixas (CALLISTER, 2002).

Ainda que os adesivos naturais (cola animal, caseína) fossem usados para variadas aplicações, outros materiais à base de polímeros sintéticos foram descobertos e a utilização de selantes foi sendo desenvolvida (CALLISTER, 2002). Desta forma foi possível fazer uma classificação de adesivos conforme a tecnologia utilizada, dependendo do polímero base e do meio em que este é dissolvido (BOCKORNY, 2011).

1.2 TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM ADESIVOS

As tecnologias utilizados em adesivos são conhecidas como solvente, aquoso e *hot melt*, por apresentarem formulações diferenciadas.

Na tecnologia de solventes utiliza-se o polímero base e demais matérias-primas dissolvidas em solventes orgânicos, como tolueno, hexano, acetona e outros alifáticos (BOCKORNY, 2011). Este tipo de adesivo é utilizado na indústria calçadista em grande escala, além de ter aplicação na construção civil, e nas indústrias moveleira e automobilística. Entretanto, devido as atuais questões ambientais vem perdendo espaço para as outras tecnologias que não apresentam solventes orgânicos na formulação (ARTECOLA, 2012).

Os adesivos aquosos utilizam como meio dispersante a água, e são

produzidos principalmente à base de polímeros naturais, poliacetato de vinila (PVA), dispersões de poliuretano, poliacrilatos, policloropreno e látex de borracha sintética. Apresentam-se na forma de dispersão do polímero em água e são estabilizados com auxílio de agentes tensoativos (GOSSLER, 2010).

Os *hot melts* são adesivos 100% sólidos que tem como base polímeros termoplásticos e sua aplicação ocorre no estado fundido (PIZZI e MITTAL, 2003). São conhecidos popularmente como cola quente e podem ser aquecidos e resfriados por diversas vezes sem que ocorram alterações significativas em suas propriedades (ARTECOLA, 2012).

Esta tecnologia encontra-se em expansão por não apresentar solventes orgânicos em sua formulação, além de permitir rápida secagem dos materiais colados. Como principais vantagens apresenta rendimento, tempo de estocagem e vida útil longo, resistência de colagem inicial quase que imediata, e segurança quanto à inflamabilidade. Entretanto, têm-se algumas desvantagens como altos investimentos para equipamentos de aplicação e degradação do adesivo pela exposição ao calor em tempo prolongado (ARTECOLA, 2012).

Na Figura 1 estão representados os adesivos dos três tipos de tecnologias.

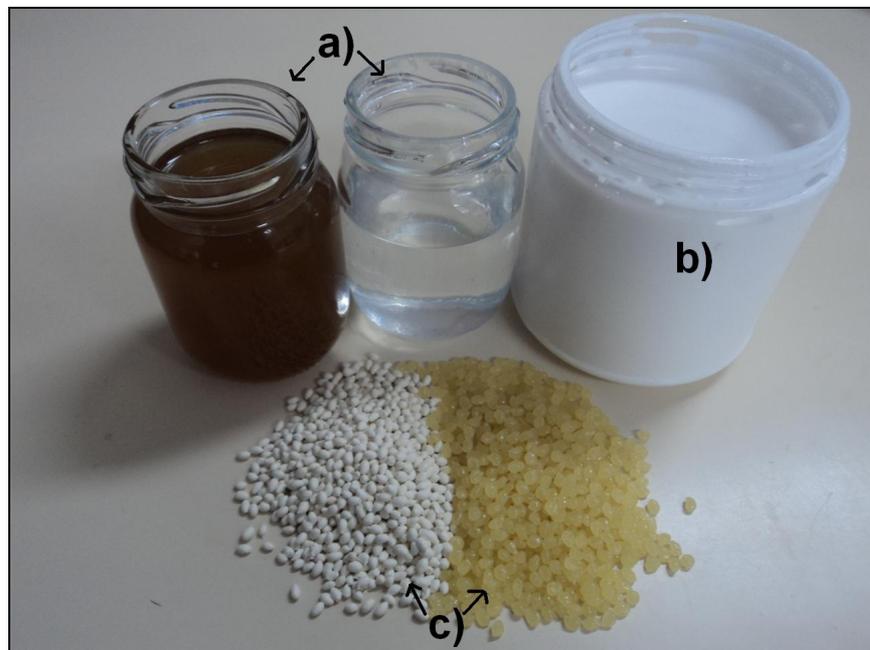


Figura 2 - Adesivos das tecnologias solvente (a), aquoso (b) e *hot melt* (c).

Fonte: Do autor

1.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A ciência que estuda as características de energia entre corpos materiais causadas por diferenças de temperaturas é denominada de transferência de calor. Essa energia transferida é definida como calor nas leis da termodinâmica (HOLMAN, 1983). A transferência de calor existirá sempre que houver diferença de temperatura entre dois meios ou entre regiões diferentes do mesmo meio. Essa transferência ocorrerá do meio de maior temperatura para o meio de menor temperatura (SILVA, 2004).

Existem três formas possíveis de ocorrer a transferência de calor: a) por condução que ocorre com contato direto, b) por convecção quando há movimento de calor de um lugar para outro, e c) por radiação que apresenta-se através de movimento de onda (DOSSAT, 2004).

a) O mecanismo de transferência de calor por condução ocorre com a transmissão de energia por contato direto entre as moléculas de um só corpo, ou com o perfeito contato térmico entre as moléculas de dois ou mais corpos. Pelo fato das moléculas de um sólido estarem mais unidas em relação aos líquidos e gases, estes materiais, em geral, conduzem melhor o calor (DOSSAT, 2004);

b) A convecção é o processo de transferência de calor por misturação (FOUST *et al*, 1982). Ocorre quando o calor se movimenta pelas correntes de convecção que ocorrem em um fluido quando este é aquecido e então sua densidade é alterada (DOSSAT, 2004). Pode-se notar na Figura 2 o esquema de aquecimento do ar por convecção quando utiliza-se serpentina de vapor em ambiente fechado.

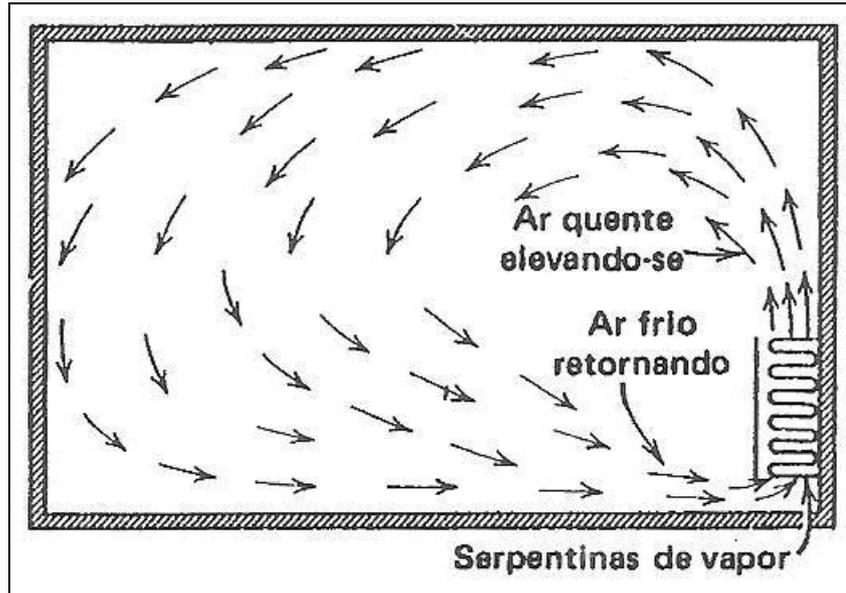


Figura 3 - Representação de transferência de calor por convecção.

Fonte: DOSSAT, 2004

c) A radiação é a transferência de calor pela emissão e absorção de energia sem contato físico. Como meio de transporte de energia térmica, esta depende das ondas eletromagnéticas. A radiação pode efetuar-se independentemente de outros mecanismos de transferência ou ocorrer simultaneamente a eles (FOUST *et al*, 1982).

Para que a transferência de calor ocorra conforme o desejado é de fundamental importância ter conhecimento da condutividade térmica dos materiais envolvidos. A condutividade térmica é a propriedade termodinâmica que indica a facilidade ou dificuldade de um corpo para conduzir calor. Na Tabela 1 a seguir, lista-se alguns materiais e suas respectivas condutividades térmicas (SILVA, 2004).

Tabela 1 – Condutividade térmica de materiais (SILVA, 2004).

Material	Condutividade Térmica (W/m.K)
Madeira	0,15
Cobre puro	386
Alumínio	209
Ar	0,03
Tijolo maciço	1,16
Reboco	1,15
Tijolo 6 furos	0,70

1.4 EQUIPAMENTOS TROCADORES DE CALOR

A caracterização dos equipamentos utilizados na indústria para a troca de calor não pode ser feita por um único modelo e, na realidade a variedade deste tipo de equipamento é infinita. A característica comum aos diversos tipos de equipamentos trocadores de calor é a transferência de calor de uma fase quente para uma fase fria com separação por uma fronteira sólida (FOUST *et al*, 1982).

Dentro desta infinidade de tipos de trocadores de calor pode-se separá-los em algumas classes. A classificação ocorre de acordo com o arranjo do escoamento e o tipo de construção. A configuração do escoamento é dividida em contra-corrente, correntes paralelas, correntes cruzadas, contra-corrente cruzada e múltiplos passes (INCROPERA e DEWITT, 2003). Para Çengel (2009) os principais trocadores de calor são tubo duplo, casco e tubos, compactos e de placas. Na sequência, será aprofundada cada uma dessas classes. Os condensadores e evaporadores também são trocadores de calor mas serão estudados em outra seção.

1.4.1 Trocadores de Calor Tubo Duplo

Este tipo de trocador é constituído por dois tubos concêntricos, em que um dos fluidos escoam pelo tubo central e o outro flui no espaço anular. A corrente pode ser paralela ou em contracorrente. Este tipo de equipamento pode ser usado para troca térmica entre dois fluidos. Não se recomenda o trocador tubular para troca térmica de áreas muito grandes (FOUST *et al*, 1982).

As dimensões do tubo são padronizadas e o comprimento de cada seção do trocador é limitado de modo que se a superfície necessita ser grande, é necessário o uso de vários conjuntos de trocadores (FOUST *et al*, 1982).

1.4.2 Trocadores de Calor Casco e Tubos

Os trocadores de calor de casco e tubos são recomendados para áreas de

troca térmica grandes. Neste tipo de trocador é possível conseguir de maneira econômica e prática, elevada transferência térmica. O fluido que circula nos tubos entra pelo cabeçote e sai pela outra extremidade do equipamento, circulando pelos tubos. As chicanas, constituídas por discos semicirculares de chapa metálica, são colocadas no interior do trocador e tem a propriedade de desviar o escoamento do fluido do casco. Com esse desvio, o fluido tende a turbilhonar a corrente, melhorando a transferência de calor (FOUST *et al*, 1982).

Diferentes formatos podem ser apresentados nesta classe de trocadores de calor. A diferença está no número de passes no casco e tubo. Podem existir com um passe no casco e dois passes nos tubos, com dois passes no casco e quatro passes nos tubos, ou com um passe no casco e um passe no tubo (passe simples), como representado na Figura 3 (INCROPERA e DEWITT, 2003).

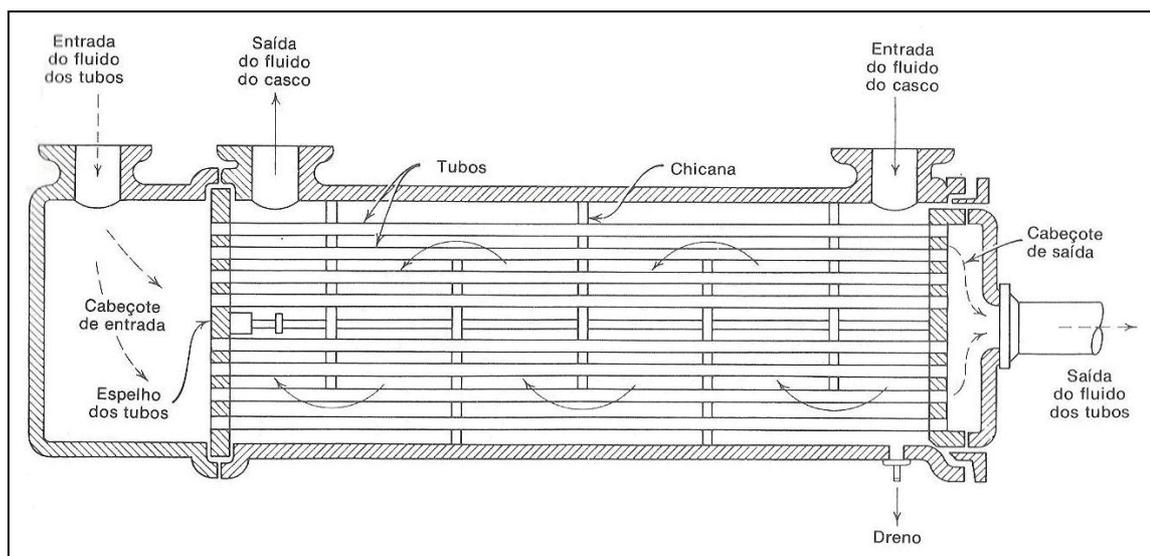


Figura 4 - Trocador de calor de casco e tubos com passe simples.

Fonte: FOUST *et al*, 1982

A limpeza dos tubos e do casco é uma questão difícil para este tipo de trocador de calor. É importante que circule no casco o fluido menos corrosivo e mais limpo, pois o lado do casco do trocador é difícil de limpar, e assim, a utilização de ligas de preço elevado é a melhor escolha para retardar ou eliminar a corrosão (FOUST *et al*, 1982).

1.4.3 Trocadores de Calor Compactos

Projetado especialmente para permitir uma grande superfície de transferência de calor por unidade de volume, este tipo de permutador permite alcançar altas taxas de transferência de calor entre dois fluidos em um pequeno volume. São utilizados em aplicações com limitações restritas e um exemplo é o radiador de carros. São usados para troca térmica entre gás-gás e gás-líquido (ou líquido-gás) e o escoamento cruzado é o mais utilizado (ÇENGEL, 2009).

1.4.4 Trocadores de Calor de Placas

Esta classe de trocadores de calor é utilizada quando deseja-se alcançar uma área de superfície de transferência de calor por unidade de volume muito alta. São constituídos por arranjos densos de tubos aletados ou placas e são tipicamente utilizados quando no mínimo um dos fluidos é um gás, e assim, caracterizado por um pequeno coeficiente de convecção. Os tubos podem ser planos ou circulares, e as aletas podem ser em formato de placas ou circulares. Os trocadores de calor de placas paralelas podem ser aletados ou corrugados, e pode apresentar modelos com passe único ou de múltiplos passes (INCROPERA e DEWITT, 2003).

O primeiro trocador de calor a placas é datado de 1923, mas foi na década de 30 que foram introduzidos comercialmente para atender exigências de higiene e limpeza das indústrias alimentícias e farmacêuticas. Atualmente são muito utilizados em processos que exijam alta eficiência e flexibilidade, processos de condensação como em refrigeradores, ou processos de evaporação como em concentradores de polpa de frutas. Além disso, uma das principais aplicações é na pasteurização de produtos alimentícios, em operações de resfriamento com água (GUT, 2003).

Segundo Perry (1999), os permutadores do tipo placa encontram-se em diferentes formas. Estão divididos como trocadores de calor de placas em espiral, lamelas, circuito impresso e o permutador de calor de placas com gaxetas, que será detalhado a seguir.

Os trocadores de calor a placas com gaxetas (Figura 4), usualmente designados pela sigla PHE (*plate heat exchange*), consistem basicamente de um

pacote de finas placas metálicas corrugadas comprimido por parafusos em um pedestal. São utilizadas gaxetas entre cada par de placas que formam canais de escoamento onde os fluidos quente e frio circulam alternadamente, trocando calor através das placas metálicas (GUT, 2003). Estas placas metálicas podem ser de aço inoxidável, titânio ou outros metais dúcteis, sendo o primeiro responsável pela enorme aceitação na indústria alimentícia (GODOY, 2008).

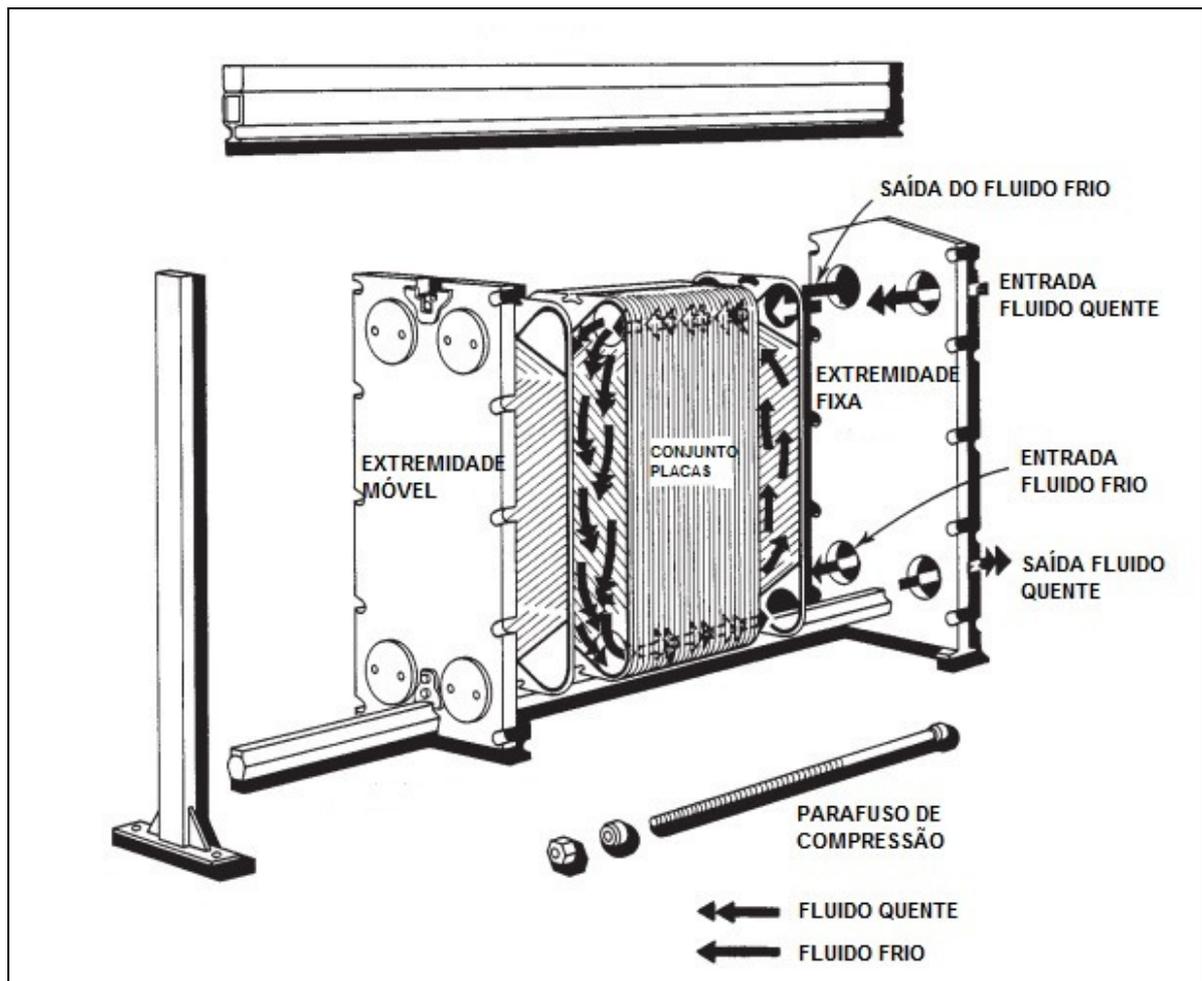


Figura 5 - Trocador de calor de placas com gaxetas.

Fonte: PERRY, 1999

A passagem dos fluidos ocorre em canais estreitos e tortuosos das placas corrugadas, o que proporciona o aumento da taxa de troca térmica do equipamento devido a turbulência do escoamento no canal. Esse tipo de placas corrugadas minimiza as regiões de incrustações, além de garantir a rigidez da placa pois a altura do canal cria pontos de contato com a placa vizinha, evitando o curvamento destas. A trajetória dos fluidos pelos canais de escoamento tem sua direção guiada pelo

posicionamento das gaxetas, como apresentado na Figura 5, que bloqueiam a entrada de um fluido em favor do outro e pela localização da alimentação dos fluidos (MAIA, 2012).

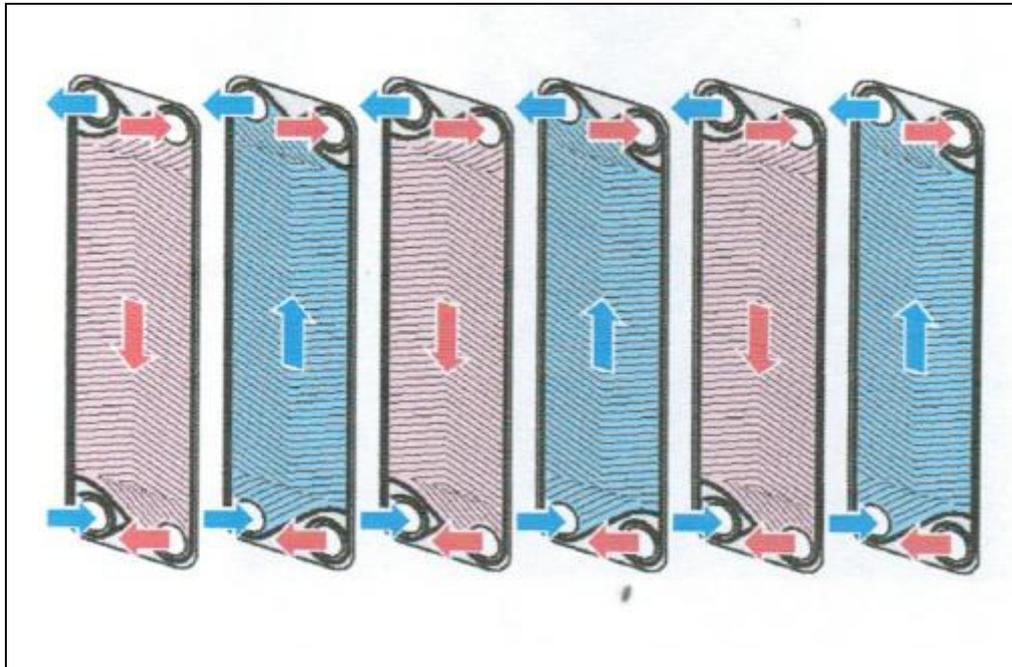


Figura 6 - Escoamento de dois fluidos em contra-corrente.

Fonte: DANThERM, 2012

1.5 COMPONENTES DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

A seguir serão apresentados os equipamentos que compõem os sistemas de refrigeração industrial que são os condensadores, torres de resfriamento, evaporadores e compressores. Além disso será explorada a função do gás refrigerante e utilização deste.

1.5.1 Condensadores

Os condensadores são trocadores de calor cujo principal objetivo é a mudança de fase de um vapor para um líquido, mediante um fluido resfriador (FOUST *et al*, 1982). Na refrigeração industrial existem três tipos de condensadores:

resfriados a ar, resfriados a água, e evaporativos. Os condensadores resfriados a ar utilizam como meio de condensação o ar, enquanto que os resfriados a água utilizam a água para condensar o refrigerante. O calor cedido pelo refrigerante de condensação aumenta a temperatura da água ou do ar usados como meio de condensação (DOSSAT, 2004).

Os condensadores evaporativos tem características construtivas semelhantes às de uma torre de resfriamento e são mais utilizados para refrigeração industrial, ao contrário dos condensadores a ar e água que são empregados na refrigeração comercial e no condicionamento de ar (JABARDO e STOECKER, 2007).

Conforme Silva (2004), o condensador evaporativo é a composição de um condensador e de uma torre de arrefecimento numa só peça. O equipamento é constituído por carcaça, serpentina de condensação, ventilador, eliminador de gotas, motor do ventilador, bomba d'água, distribuidor de água, borrifadores, bandeja de água, torneira de bóia, abertura de entrada e saída de ar, entrada de fluido refrigerante, receptor de refrigerante, saída de refrigerante líquido e dreno (SILVA, 2004).

O esquema de funcionamento de um condensador evaporativo está ilustrado na Figura 6. A serpentina é resfriada com água recirculada e dentro dela circula o fluido refrigerante a ser condensado. O ventilador força o ar para cima, sobre a serpentina e causa evaporação de pequena quantidade de água. A evaporação retira calor da água, proporcionando o resfriamento (SILVA, 2004).

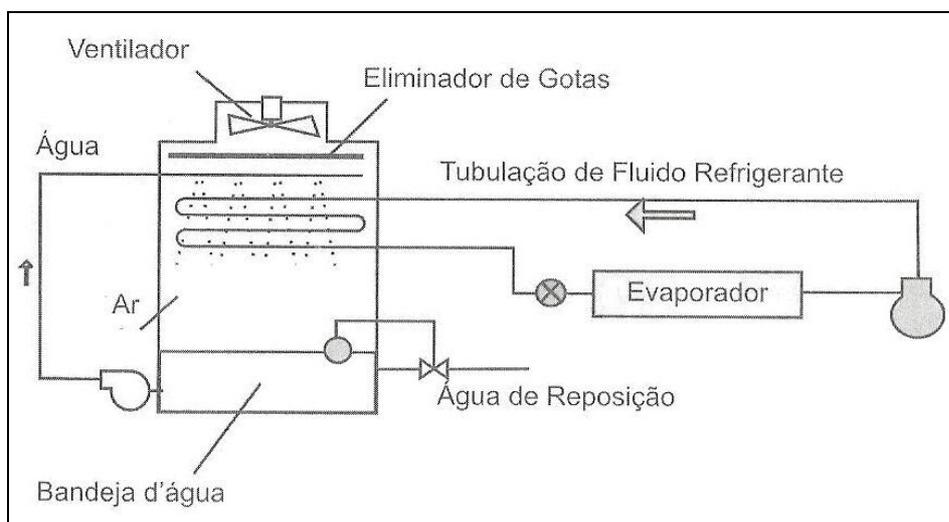


Figura 7 - Esquema de um condensador evaporativo.

Fonte: SILVA, 2004

Stoecker (1998) comparou os três tipos de condensadores e concluiu que o condensador evaporativo tem desempenho superior em relação ao resfriado a ar e aos resfriados a água devido a fuga do fluido intermediário (a água da torre de resfriamento) em processo de transferência de calor. A temperatura de saída da água da torre é de 28,9°C e pode apenas aproximar-se da temperatura ambiente de bulbo úmido, e a temperatura de condensação pode apenas de aproximar da temperatura da água de retorno da torre que é de 35,8°C.

1.5.2 Torres de Resfriamento

As torres de resfriamento servem essencialmente para arrefecer a água utilizada na condensação dos fluidos refrigerantes (SILVA, 2004). A água quente do condensador é bombeada para a torre, de onde cai ou é pulverizada para baixo. Quando a água cede calor ao ar que circula ao redor da torre acontece a troca de calor e a temperatura da água é reduzida (DOSSAT, 2004).

Para Miller e Miller (2008) os fatores que influenciam a eficiência da torre de resfriamento são:

- Diferença média entre a pressão da água da torre e a pressão de vapor do ar;
- Tempo de exposição e quantidade de superfície de água exposta ao ar;
- Velocidade do ar através da torre;
- Direção do fluxo de ar em relação à superfície exposta da água (paralelo, transversal ou contrário).

A temperatura mais baixa que a água pode ser resfriada é a temperatura do ar que entra na torre, apesar de que em termos práticos é impossível alcançar essa temperatura. Em geral, a temperatura da água que sai da torre não é inferior a 4-6°C acima da temperatura do ar. Para uma eficiência máxima, deve-se ajustar a diferença de temperatura da água que entra, entre a água que sai da torre, à operação do condensador (MILLER e MILLER, 2008).

As torres de resfriamento podem ser divididas pelas de tiragem natural e pelas de tiragem mecânica conforme Figura 7, correspondente ao método de

circulação de ar empregado. Um exemplo de torres de resfriamento de tiragem natural é a do tipo atmosférico, que são relativamente baratas e muito aplicadas em tamanhos muito pequenos. Não são recomendadas para sistemas que precisam de água com temperaturas precisas e confiáveis pois são muito afetadas pelas condições adversas do vento. As torres de resfriamento de tiragem mecânica apresentam duas categorias: as de tiragem forçada e as de tiragem induzida. Em geral, as torres de resfriamento de tiragem forçada são equipados com ventiladores centrífugos que necessitam de alta potência de operação, além de serem reconhecidas por terem uma menor estabilidade de desempenho do que as do tipo induzida (MILLER e MILLER, 2008).

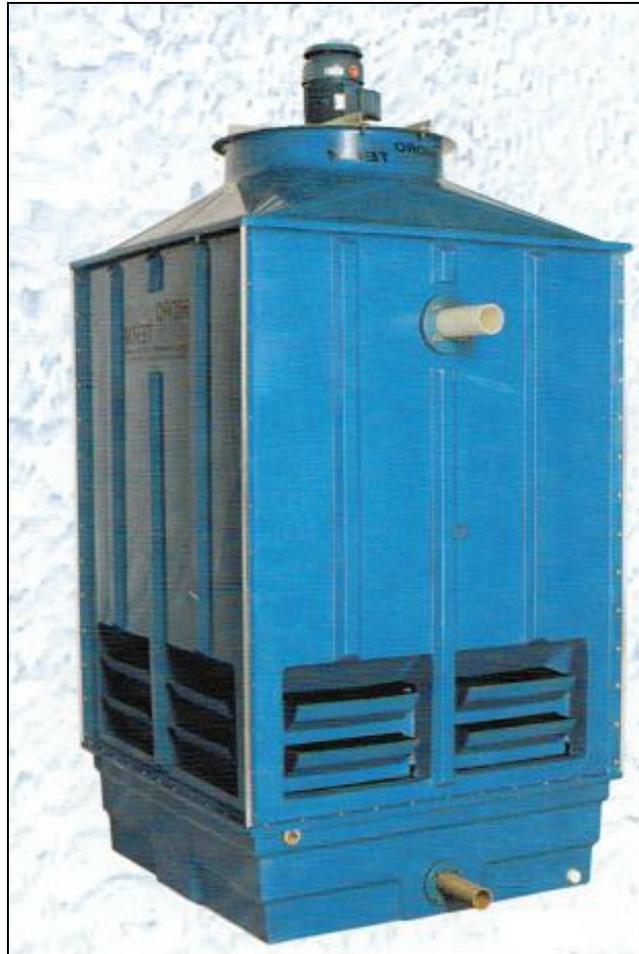


Figura 8 - Torre de resfriamento.

Fonte: MOREIRA, 2005

1.5.3 Evaporadores

Os evaporadores são projetados para fornecer calor latente de vaporização a um fluido em ebulição, e a carga térmica para este tipo de trocador é calculada com facilidade. Também pode ser chamado de vaporizador quando o vapor formado é o vapor de água, ou então de refeedor quando é usado para fornecer a carga térmica na base de uma torre de destilação (FOUST *et al.*, 1982).

Para Perry (1999) os evaporadores podem ser classificados conforme a quatro fatores:

- 1) O meio de aquecimento ser separado do líquido evaporante por superfícies tubulares;
- 2) Por estar confinado em serpentinas, camisas, paredes duplas, chapas planas, etc.;
- 3) Por estar em contato direto com o líquido evaporante;
- 4) Por aquecimento mediante radiação solar.

Podem ser classificados por evaporadores a circulação forçada, evaporadores verticais com tubos curtos ou tubos longos, evaporadores com tubos horizontais, evaporadores com películas finas agitadas, e evaporadores sem superfícies calefadoras (PERRY, 1999).

O evaporador com circulação forçada é apropriado para as operações de cristalização em que os sólidos devem ser mantidos em suspensão, apesar de ser indicado para uma ampla faixa de empregos. As melhores aplicações para este tipo de evaporador são para produtos cristalinos e soluções corrosivas e viscosas. Não é necessariamente o mais econômico em muitas utilizações e na grande maioria é do tipo submerso. A escolha da câmara de vapor usada é importante para assegurar as características do produto e pode ir de um separador centrífugo às câmaras de cristalização. As vantagens dos evaporadores à circulação forçada são a elevada transferência de calor, a circulação controlada, e a inexistência relativa de salga e incrustações. Como desvantagens, cita-se o custo elevado e o tempo elevado de residência, ou retenção (PERRY, 1999).

Evaporadores verticais com tubos curtos são indicados para líquidos límpidos, produtos cristalinos com uso de misturador e líquidos de baixa corrosão e de leve incrustamento. Apresentam elevadas taxas de transferência de calor quando

as diferenças de temperaturas são elevadas, facilidade na desincrustação mecânica e custo relativamente baixo como vantagens. As desvantagens são as pequenas taxas de transferência de calor quando a temperatura é baixa, grande ocupação de espaço físico, tempo de residência alto e transferência de calor ruim com líquidos viscosos (PERRY, 1999).

Os evaporadores verticais com tubos longos tem melhores aplicações para líquidos límpidos, líquidos espumantes, soluções corrosivas, para grandes cargas de evaporação, grandes diferenças de temperatura e baixa temperatura de operação. Tem vantagens como baixo custo, grande superfície de aquecimento numa só peça, baixo tempo de residência e ocupação de pequeno espaço físico. Como desvantagens apresenta grande altura e é inconveniente para líquidos salgantes ou incrustantes (PERRY, 1999).

Evaporadores com tubos horizontais são raramente usados e tem como principal objetivo o pequeno arraste dissipativo. Cita-se como principal vantagem a grande área de separação entre o líquido e o vapor, e tem a desvantagem de custo elevado para os de tubos curvos (PERRY, 1999).

Tendo como superfície de aquecimento um tubo de grande diâmetro, os evaporadores com películas finas agitadas limitam sua aplicação a materiais mais difíceis devido o custo de construção. Neste tipo de evaporadores podem ser usadas diferenças de temperatura altas, que permite atingir valores razoáveis de capacidade, apesar dos coeficientes de transferência de calor serem relativamente baixas (PERRY, 1999).

Os evaporadores sem superfícies calefadoras usam os gases de uma combustão para a transferência de calor e é constituído por um tanque, um combustor, um distribuidor de gás e um sistema de controle de combustão. É utilizado para soluções bastante corrosivas devido a sua construção. Uma dificuldade encontrada é a grande perda por arraste e não são indicados quando é necessário o controle do tamanho do cristal (PERRY, 1999).

1.5.4 Compressores

A função dos compressores é absorver o fluido refrigerante no estado de

vapor à baixa pressão e então comprimi-lo à alta pressão e temperatura até o condensador. Isto possibilita baixa pressão no evaporador e alta pressão no condensador (SILVA, 2004). Para Miller e Miller (2008) os compressores podem ser classificados de acordo com o número de cilindros, com o método de compressão, com o tipo de acionamento, ou devido a localização da força de acionamento ou do motor. Dentro da classificação pelo método de compressão os compressores podem ser alternativos, centrífugos, rotativos, de parafuso ou do tipo *scroll*.

As unidades alternativas possuem um pistão dentro de um cilindro. Este pistão atua como uma bomba para aumentar a pressão do gás refrigerante do lado de baixa até o lado de alta do sistema (MILLER e MILLER, 2008). O funcionamento de um compressor alternativo segue quatro processos: expansão, admissão, compressão e exaustão. Na expansão ocorre a redução da pressão, seguida da admissão em que o êmbolo se desloca provocando uma depressão no interior do cilindro fazendo com que o fluido penetre através da válvula de sucção. Na fase de compressão ocorre a redução do volume ocupado pelo fluido no interior do cilindro do compressor, elevando a pressão, e quando a pressão de extrusão desejada é atingida ocorre a exaustão em que o fluido é expulso do corpo do cilindro (SILVA, 2004).

Uma alternativa para os compressores alternativos são os centrífugos, que tem como principais vantagens um peso menor, pouca vibração e a compactação do equipamento (SILVA, 2004).

O compressor rotativo pode ser do tipo com palhetas estacionárias ou do tipo de palhetas giratórias (MILLER e MILLER, 2008). O funcionamento se dá com o espaço de compressão reduzido gradualmente quando o rotor gira e então o gás é comprimido. O fluido do vapor é forçado para a tubulação de descarga quando o espaço atinge o ponto mínimo. Os compressores rotativos são mais utilizados em situações em que é necessário baixo nível de ruído devido sua característica de pouca vibração durante a operação (SILVA, 2004).

Os compressores parafuso foram desenvolvidos na Alemanha nos anos de 1800, têm operação semelhante às bombas e comparado com os alternativos, possuem fluxo constante do refrigerante. Têm como vantagens desempenho em carga parcial excelente, operação suave e vida útil prolongada. Atualmente dominam os navios refrigerados no transporte de frutas, vegetais e outros alimentos (MILLER e MILLER, 2008).

Compressores tipo *scroll* são recentes e amplamente usados no condicionamento de ar. Comparados com compressores alternativos são menores, mais leves e eficientes e um pouco mais silenciosos. Tem características importantes como baixo ruído e vibração, compacidade, leveza e alta eficiência (SILVA, 2004).

1.5.5 Gás Refrigerante

Gás refrigerante, ou fluido refrigerante, é a substância que absorve calor de outro corpo ou substância, agindo como agente refrigerante (térmico). É o fluido de trabalho do ciclo de compressão do vapor que vaporiza e condensa alternadamente quando absorve e cede calor. Devido a grandes diferenças nas condições e requisitos das várias aplicações, não existe nenhum refrigerante que seja universalmente adequado para todas as aplicações. Sendo assim, à medida que as propriedades correspondem às condições e requisitos de aplicação é que um refrigerante aproxima-se do “ideal” (DOSSAT, 2004).

As propriedades desejáveis de um bom refrigerante para uso comercial são o baixo ponto de ebulição, atoxicidade, facilidade de liquefazer à pressão e temperatura desejáveis, calor latente elevado, operação à pressão positiva, boa mistura com óleo, não corrosivo para metais e não ser afetado por umidade. Além destas, todo refrigerante possui qualidades que variam com o fluido como massa molar, massa específica, razão de compressão, calor latente e temperatura de compressão. A escolha do gás refrigerante também será influenciado pelo deslocamento do compressor e o tipo ou projeto de compressor (MILLER e MILLER, 2008).

Para Silva (2004) os fluidos refrigerantes podem ser classificados como hidrocarbonetos halogenados, misturas azeotrópicas, hidrocarbonetos, componentes inorgânicos e misturas não azeotrópicas. Os hidrocarbonetos halogenados são conhecidos como compostos químicos e seu estudo teve início em 1920/1930 com Thomas Midley. Têm em sua fórmula átomos de cloro, flúor ou bromo e são conhecidos como CFCs. A mistura azeotrópica não pode ser separada em seus componentes por destilação e tem como característica a evaporação e condensação

como substância simples. Os hidrocarbonetos são usados como refrigerantes nas indústrias petroquímicas. No grupo dos componentes inorgânicos encontra-se a amônia, que é o mais comum dos refrigerantes para aplicações industriais. E por fim as misturas não azeotrópicas são aquelas em que o refrigerante se comporta como uma mistura binária, isto é, condensação à pressão constante com variação de temperatura (SILVA, 2004).

Dentre os refrigerantes comuns pode-se citar o dióxido de enxofre, cloreto de metila, amônia, dióxido de carbono, cloreto de cálcio e cloreto de etila. Os refrigerantes Freon surgiram com propriedades mais seguras permitindo o seu uso sob condições onde refrigerantes inflamáveis ou mais tóxicos seriam de uso mais perigoso, mesmo atacando ainda a camada de ozônio. Para cada aplicação existe um refrigerante Freon e a utilização destes tem sido um dos principais fatores responsáveis pelo crescimento da indústria de refrigeração comercial, doméstica e de ar condicionado (MILLER e MILLER, 2008).

O afinamento da camada de ozônio, provocado pela emissão de compostos artificiais como os CFCs utilizados na indústria frigorífica, proporcionou a assinatura do Protocolo de Montreal em 1987, que deu origem às atividades de desenvolvimento de substitutos para estes refrigerantes. Há mais de dez anos vêm aparecendo inúmeros substitutos dos CFCs, tanto como substâncias puras ou misturas. Por outro lado, com o aumento do alerta referente ao efeito estufa, refrigerantes naturais têm sido cogitados pela comunidade científico/industrial, como o caso do CO₂, entre outros (STOECKER e JABARDO, 2007).

No acordo ambiental internacional de Montreal foram estabelecidas exigências que iniciaram a eliminação global de clorofluorcarbonos (CFCs), que foram posteriormente modificadas. Em 1996 foi interrompida a produção de CFC em todas as nações desenvolvidas e, em 1992 o Protocolo sofreu uma retificação estabelecendo um esquema para eliminação gradual dos refrigerantes hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), menos nocivos à camada de ozônio do que os CFCs. Um HCFC em especial (R-22) tem sido preferido para bombas de calor e sistemas de ar condicionado residenciais há mais de quatro décadas. O Protocolo estabeleceu que a partir de 1º de janeiro de 2010 a fabricação do R-22 deverá ser apenas para atender os equipamentos já existentes e não para ser utilizado em novos equipamentos. E em 1º de janeiro de 2020 estará proibida a produção do refrigerante R-22 para atender aos condicionadores de ar e bombas de calor

existentes (MILLER e MILLER, 2008).

1.6 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPOR

O sistema de refrigeração por compressão de vapor é o mais comum em uso atualmente e consiste de vários processos executados sobre e por um fluido de trabalho, denominado refrigerante. O ambiente, ou o processo, será resfriado por um fluido de transferência, que não é o refrigerante. Assim, o fluido de trabalho é resfriado pelo refrigerante e transportará o frio para o ambiente adequado. Tal sistema é conhecido no meio técnico como *chiller* (FRANÇA, 2012).

Os componentes deste sistema estão apresentados na Figura 8, além das transferências de calor que são positivas na direção das setas. A análise a seguir começa pelo evaporador, onde se obtém o efeito de refrigeração desejado, considerando-se que será desprezada a variação de energia cinética e o potencial nos componentes (MORAN e SHAPIRO, 2002).

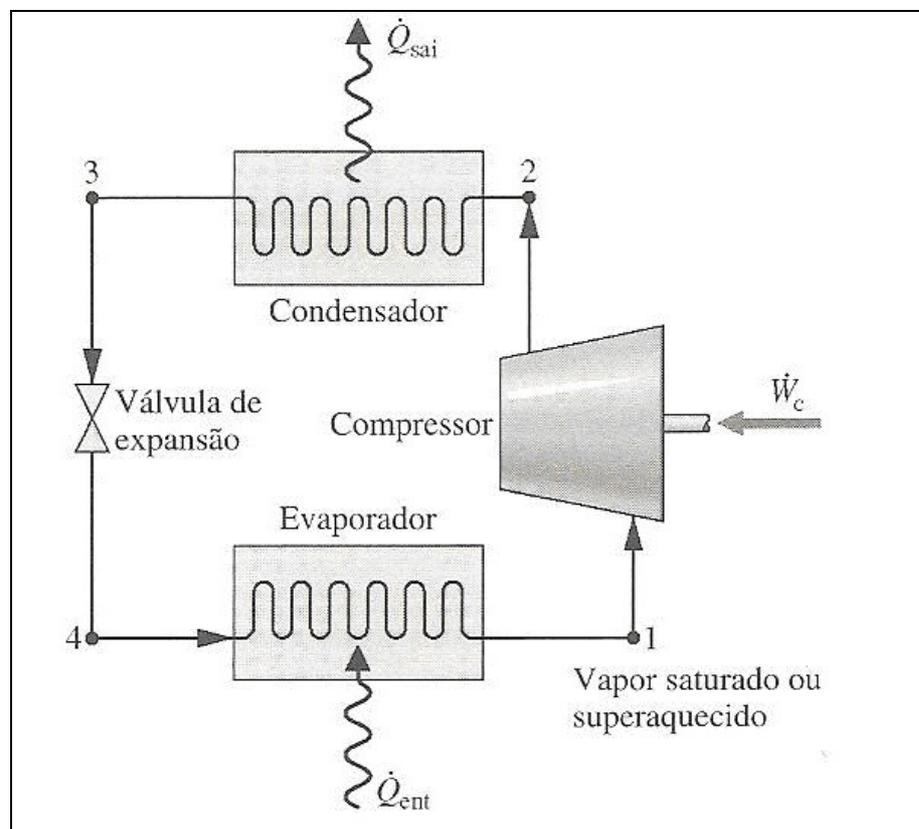


Figura 9 - Sistema de refrigeração por compressão a vapor.

Fonte: MORAN e SHAPIRO, 2002

Existem quatro componentes básicos em um ciclo de refrigeração por compressão:

- 1) Um evaporador, onde o calor é absorvido de um fluido a ser refrigerado, mediante vaporização do fluido refrigerante;
- 2) Um compressor, que comprime vapores oriundos do evaporador, aumentando sua pressão e temperatura;
- 3) Um condensador, que condensa o vapor superaquecido efluente do compressor por meio de água ou ar geralmente;
- 4) Uma válvula de expansão, que reduz a pressão do condensado à desejada no evaporador.

Considerando-se o esquema da Figura 8 apresentado pela numeração 1,2,3 e 4, observa-se que ocorre primeiramente um processo isoentrópico do fluido, logo após a condensação isobárica, seguida da expansão do fluido, e finalmente a evaporação do fluido (MORAN e SHAPIRO, 2002).

Os *chillers* são divididos em alternativos ou centrífugos, de acordo com os compressores que eles empregam. Os *chillers* alternativos podem ter arranjo de atuação simples ou dupla. São produzidos com 1 a 16 cilindros e capacidade de até 200 toneladas. Já os compressores centrífugos podem ser herméticos ou de acionamento aberto e são empregados em unidades que produzem de 200 a 10.000 toneladas de refrigeração (MILLER e MILLER, 2008).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho consistiu na avaliação da substituição do sistema de refrigeração de água utilizado para descarga dos adesivos *hot melt* na empresa Arteccla Indústrias Químicas Ltda ocorrido no segundo semestre de 2012. A avaliação foi realizada através de controles de consumo de água, tempo de descarga e energia de determinado adesivo para dois diferentes sistemas de refrigeração locado na planta de *hot melt* denominados de sistema 1 e sistema 2.

2.1 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

A primeira parte da metodologia consistiu na descrição dos processos em avaliação. Para tanto, acompanhou-se o processo produtivo de adesivos *hot melt*, além dos processos de refrigeração em estudo.

2.2 ACOMPANHAMENTO DE LOTES DE PRODUÇÃO

Para acompanhamento do tempo de descarga de lotes de produção dos adesivos *hot melt* foi necessária primeiramente, a escolha de um produto com características de temperatura e viscosidade específicas. A seleção do produto Artemelt 1843 é justificada devido a sua formulação que tem alto teor de polímero, o que confere viscosidade e temperatura do ponto de amolecimento elevadas. Pelo fato deste produto ter alta viscosidade, exige temperatura alta para descarga, e assim, faz-se necessária a utilização de água refrigerada com temperatura até 20°C. Ensaio preliminares demonstraram que em temperaturas maiores de 25°C há necessidade de parar o processo de descarga para que o sistema 1 de refrigeração trabalhe melhor devido a baixa capacidade.

Foram acompanhados três lotes de produção para cada sistema de refrigeração, e registrados os tempos de descarga e temperaturas da água do processo. Os registros de temperatura foram feitos a cada dez minutos durante o

período de descarga e feita uma média com esses valores.

O tempo de descarga foi medido em cronômetro da marca Cronobio, modelo SW 2018, com último registro de calibração realizado pela Metroquality em 28 de junho de 2012.

A temperatura da água do processo foi registrada através de termopar da marca By Engenharia, acoplado ao maquinário e ligado diretamente à matriz de corte do adesivo.

2.3 CONSUMO DE ÁGUA

Com a finalidade de mensurar o consumo de água nos dois sistemas de refrigeração, foi colocado um hidrômetro da marca LAO, modelo UJB1 (Figura 9). A instalação no sistema de refrigeração 1 ocorreu no dia 05 de setembro de 2012 e foi monitorada semanalmente, até o dia 03 de outubro de 2012. A instalação no sistema de refrigeração 2 ocorreu em 31 de outubro, em que foi verificada a quantidade de água necessária para preencher a tubulação do *chiller* com o trocador de placas e a tubulação do processo de descarga. Além disso, foi monitorada a quantidade de água utilizada para limpeza do sistema, que deve ser feita em períodos de 10 dias.



Figura 10 - Hidrômetro da marca LAO.

Fonte: Do autor

2.3 CONSUMO DE ENERGIA

Através dos valores de potência de cada equipamento utilizado no processo, foram verificados os consumos energéticos para os sistemas de refrigeração em estudo. Estes valores são fornecidos pelo próprio fabricante da máquina.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta a descrição efetuada dos processos e os resultados obtidos a partir do estudo comparativo realizado para avaliar as diferenças apresentadas nos dois tipos de sistemas de refrigeração utilizados.

3.1 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

3.1.1 Processo Produtivo de Adesivos *Hot Melt*

Os adesivos *hot melt* são produzidos em máquinas com capacidades de 1.500 kg aquecidas com óleo térmico.

A produção de adesivos 100% sólidos começa com a pesagem das matérias-primas. O operador de máquina, em posse da ordem de produção, faz a solicitação dos materiais ao almoxarifado, que os disponibiliza à produção. As matérias-primas são pesadas nas quantidades requisitadas na ordem de produção em balança eletrônica da marca TOLEDO, modelo 8091 com capacidade de 0,1 a 25 kg. O processo tem continuidade com carregamento do misturador. Os materiais devem ser colocados conforme a ordem de adição que consta na ordem de produção e devem permanecer dentro da máquina seguindo o tempo de mistura e temperaturas indicados para completa homogeneização do produto. Com essa mistura dos materiais é gerada uma massa uniforme de viscosidade conhecida e controlada.

O produto é analisado pelo Laboratório de Controle de Qualidade e então liberado para a etapa de descarga. Nessa etapa o produto é descarregado através de sistema de extrusão com resfriamento utilizando-se água refrigerada, produzindo um choque térmico. O adesivo é processado em máquina extrusora com uma matriz com furos circulares, passando para o granulador (Figura 10).

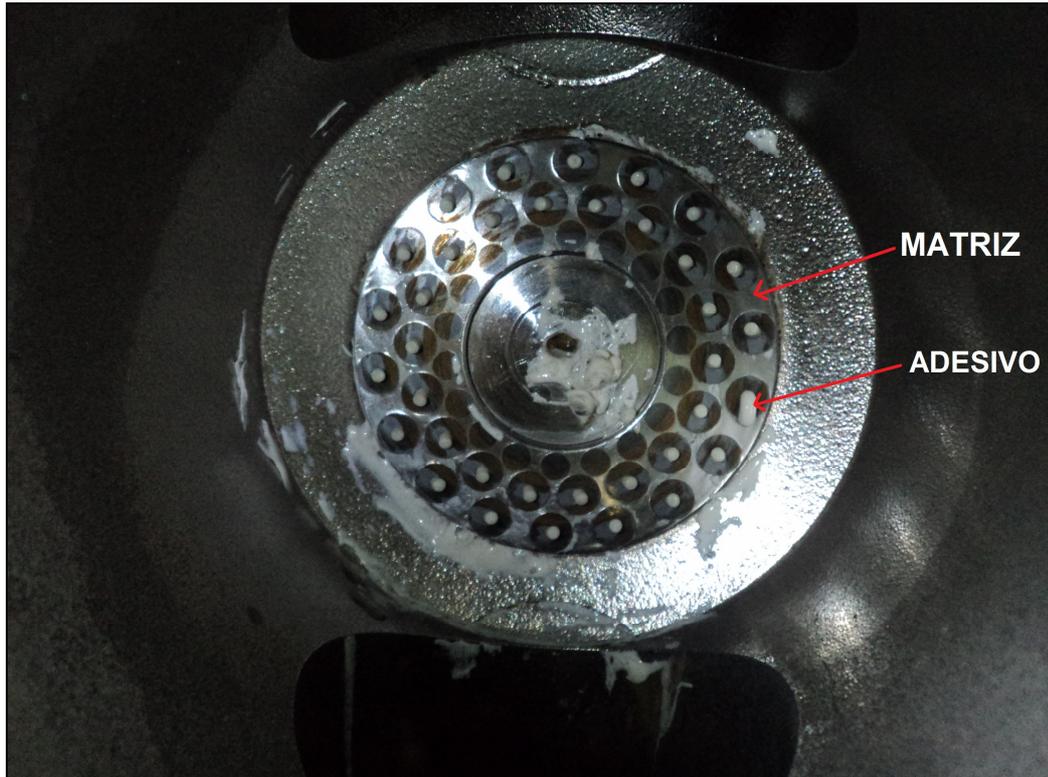


Figura 11 - Matriz com furos circulares.

Fonte: Do autor

Com a variação brusca de temperatura são gerados pequenos grãos, chamados de *pellets*. A água transporta e resfria as esferas através de uma tubulação, chegando em uma centrífuga da marca Gala Industries e modelo HMA, que separa a água dos grãos. Os grãos passam por peneiras e em seguida por um equipamento dosador da marca Donnar que acrescenta pó estearato ao produto cuja finalidade é evitar o *blocking* dos *pellets* do adesivo. Finalmente, o produto é envazado em sacos plásticos de 25 kg, esta massa é medida em balança da marca Alpha Instrumentos, modelo 3102 que tem capacidade de 0,2 a 60 kg. O fluxo do processo produtivo de adesivos *hot melt* pode ser verificado na Figura 11.

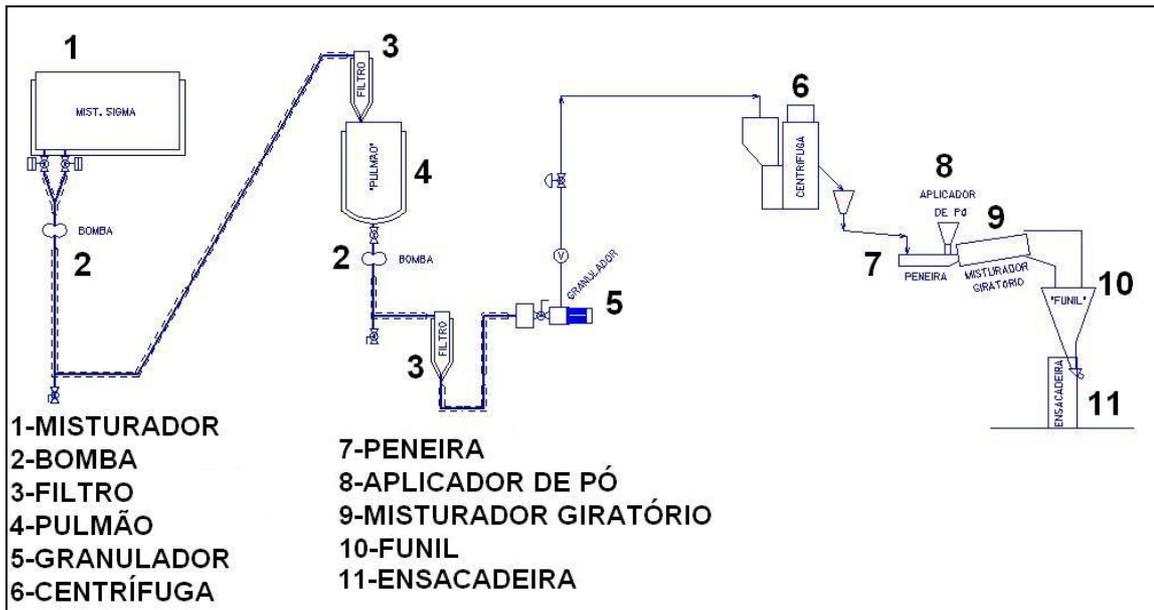


Figura 12 - Ilustração do processo produtivo de adesivos *hot melt*.

Fonte: ARTECOLA/IND-IT-025, 2012

3.1.2 Processo de Refrigeração com o Sistema 1

O sistema de refrigeração da água utilizada para a descarga do adesivo é composto por dois *chillers*, conectados em paralelo, e duas torres de resfriamento que realizam refrigeração por compressão.

A primeira unidade de *chiller* da marca Frigotec apresenta dentro de um gabinete fechado um reservatório de água, um compressor modelo MTZ60 com 16 CV de potência, um condensador e um evaporador. Além disso, está equipado com duas bombas de potências 3 HP e 2 HP, e sua capacidade é para 45.000 kcal/h. A segunda unidade de *chiller* de marca Refrisat, modelo SAT 60W tem capacidade para 60.000 kcal/h. Contém dentro do gabinete dois compressores modelo MTZ125 com 12,5 CV de potência cada, um condensador, um evaporador e uma bomba de potência 5 CV. Cada um dos *chillers* está ligado a uma torre de resfriamento da marca Annemos. As duas torres são equipadas com duas bombas de 2 e 5 CVs de potência.

O processo de refrigeração do adesivo tem início com o bombeamento da água do reservatório do *chiller* 1 para a cabeça de corte da máquina de descarga. Juntamente com o adesivo, a água é transportada para a centrífuga que separa os

pellets da água, e então é encaminhada para um reservatório. Em seguida, retorna ao *chiller* para ser resfriada.

Dentro do gabinete do equipamento, a água tem entrada no reservatório, acrescentada de água de alimentação pois é preciso manter um nível mínimo no reservatório. A água circula dentro deste reservatório e é bombeada para o evaporador, que troca calor com o gás refrigerante R-22. O gás que troca calor com a água sai do evaporador, passa pelo compressor onde é comprimido e sua temperatura elevada. Em seguida é bombeado até o condensador que está ligado a uma torre de resfriamento. A água da torre tem a função de manter a temperatura deste gás, para que então ele seja expandido até o evaporador. Neste processo de expansão o gás perde temperatura, e troca calor com a água do processo industrial de adesivos *hot melt*. Este esquema de funcionamento do *chiller 1* pode ser observado na Figura 12.

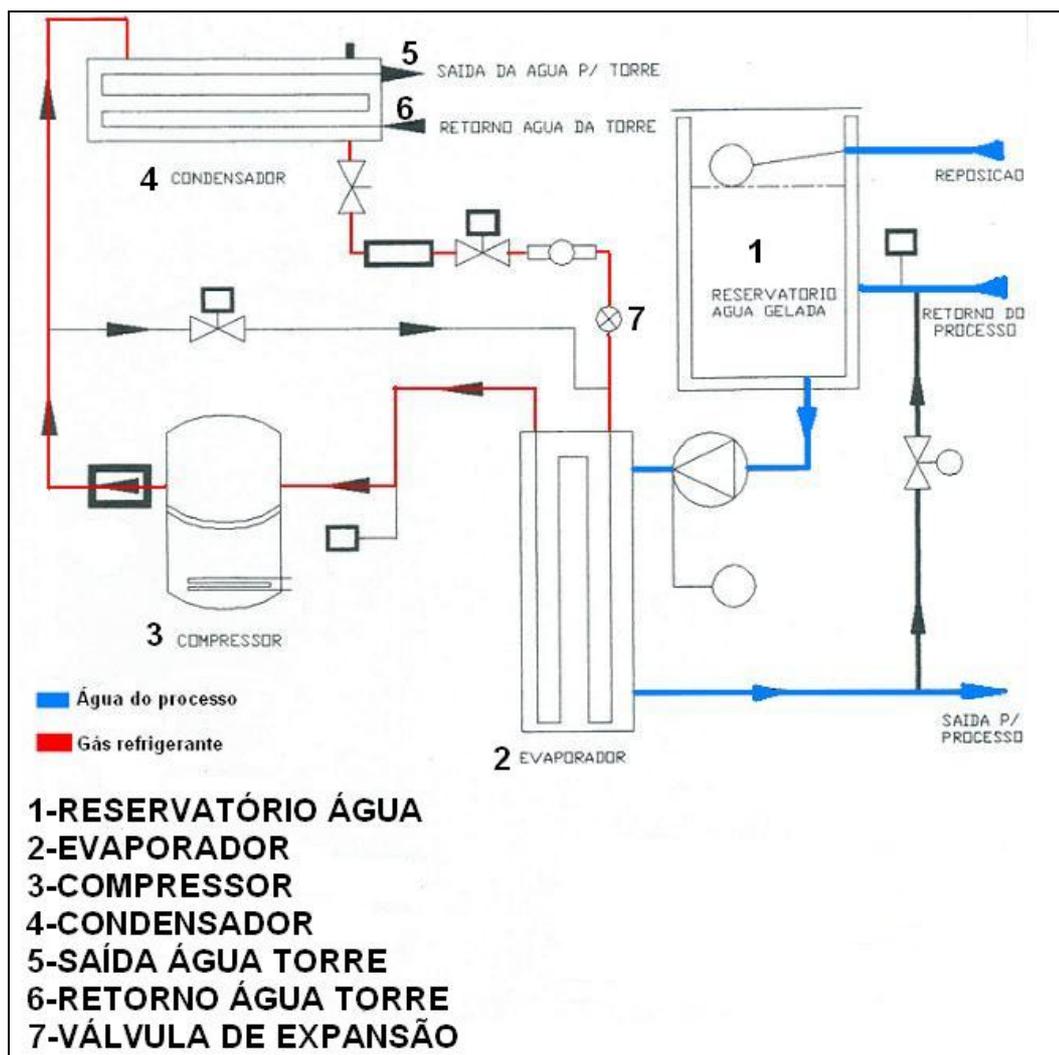


Figura 13 - Esquema de funcionamento do *chiller 1*.

Fonte: REFRISAT, 1995

3.1.3 Processo de Refrigeração com o Sistema 2

O novo sistema de refrigeração da água utilizada para a descarga do adesivo foi instalado em 31 de outubro de 2012 e é composto por um *chiller* da marca Tecno Clima, modelo TCW 120 com capacidade de 120.000 kcal/h. Contém dentro de um gabinete fechado quatro compressores da marca Danfoss, modelo MT125HN9AVE, com 12,5 CV de potência cada, duas bombas de potências 3HP e outra de 5 CVs, e três ventiladores. Com o sistema de refrigeração 2 também foi instalado um trocador de calor de placas da marca Dantherm e modelo S17, para que a água resfriada no *chiller* troque calor com a água utilizada no processo, além de uma bomba de 3HP. O trocador contém um total de 35 placas corrugadas, com área de troca térmica de 0,18 m²/placa que resulta em um total de 6,3 m².

O processo de refrigeração da água do *chiller* inicia com a entrada da água de maior temperatura no evaporador onde é resfriado pelo gás refrigerante R-22. Este refrigerante entra no evaporador como uma mistura de líquido e vapor, e tem a função de tirar energia do meio interno. Sai no estado de vapor, é comprimido no compressor, e depois bombeado até o condensador. No condensador que é aletado, o fluido libera energia ao meio externo, transformando-se em líquido. Os ventiladores da unidade *chiller* aspiram o ar quente dos tubos através das aletas de alumínio do condensador, enquanto o gás escoar no interior de tubos de cobre no estado líquido o fluido passa pelo dispositivo de expansão onde tem sua pressão reduzida até a pressão do evaporador, reiniciando o ciclo e refrigerando a água.

A água refrigerada no *chiller* é bombeada até o trocador de calor de placas, que troca calor com a água utilizada no processo de descarga do adesivo, e então volta ao *chiller* para ser resfriada novamente. O esquema de funcionamento do sistema de refrigeração 2 pode ser observado na Figura 13.

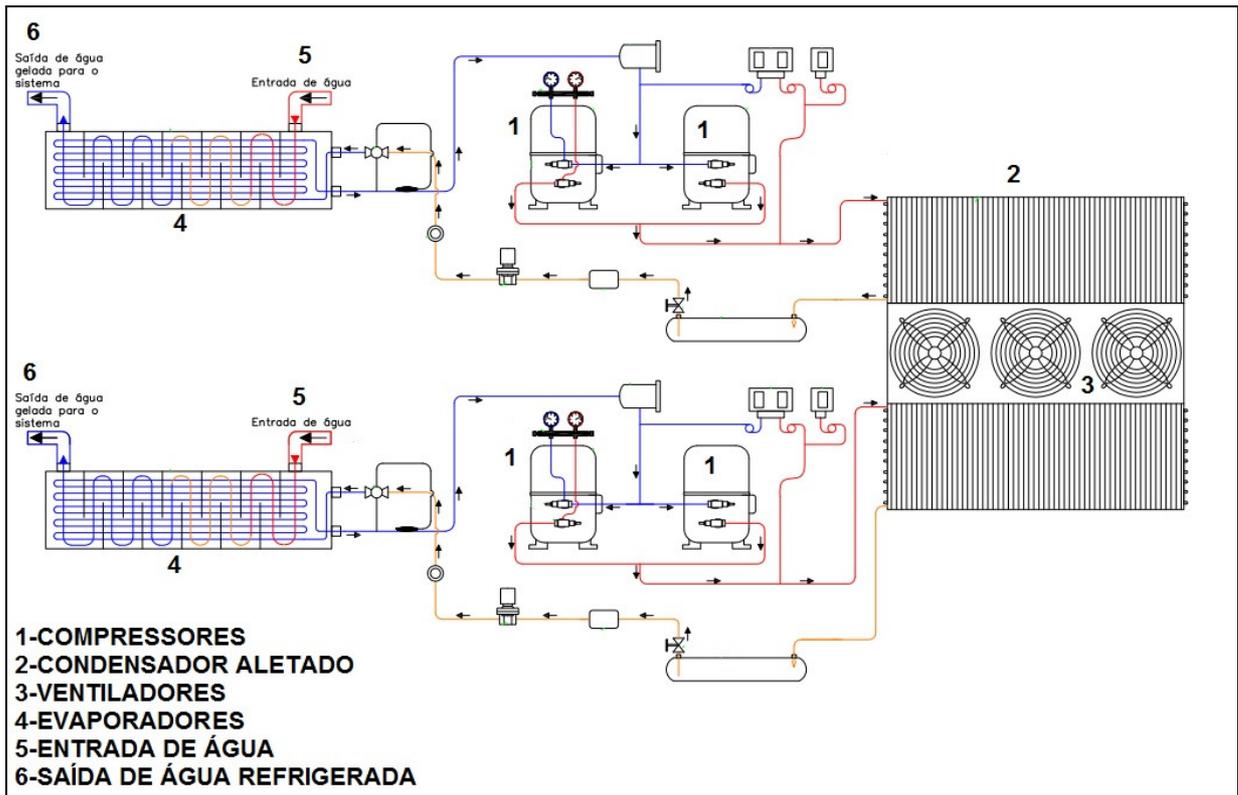


Figura 14 - Esquema de funcionamento do *chiller* 2.

Fonte: TECNO CLIMA, 2012.

Na Figura 14 está representado o fluxograma do processo de adesivo com o sistema de refrigeração 2.

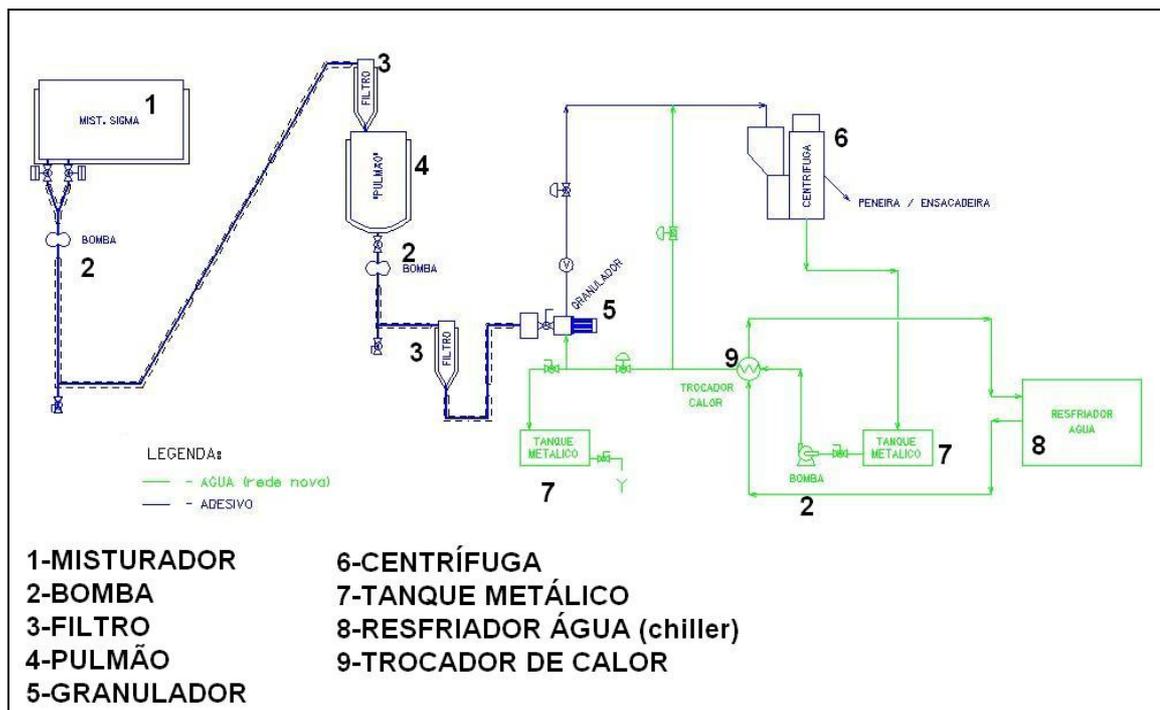


Figura 15 - Ilustração do processo produtivo do adesivo com refrigeração.

Fonte: ARTECOLA/IND-IT-025, 2012

3.2 TEMPO DE DESCARGA E TEMPERATURA

Foram acompanhadas as descargas de três lotes: A, B e C nos dias 14 e 26 de setembro e 26 de outubro, com a utilização do sistema 1. Para o sistema de refrigeração 2 foram acompanhadas as descargas de três lotes de produção nos dias 09 (lote D) e 13 de novembro (lote E e F) de 2012. Todos os lotes produzidos foram de 1.000 kg. As temperaturas de descarga do adesivo e da água foram registradas, além do tempo utilizado para envaze total de cada lote. Esses dados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Quadro dos lotes acompanhados.

Lote	Sistema 1			Sistema 2		
	A	B	C	D	E	F
Dia	14/9	26/9	26/10	9/11	13/11	13/11
Tempo descarga	148min	123min	113min	149min	125min	190min
Tempo de parada	81min	0min	0min	0min	0min	90min
T ambiente	32°C	19°C	30°C	35°C	25°C	21°C
T inicial água	14°C	17°C	10°C	17°C	15°C	13°C
T final água	29°C	17°C	19°C	17°C	15°C	16°C
Δ T	15°C	0°C	9°C	0°C	0°C	3°C

Fonte: Do Autor

Para o lote A foram necessárias 2 horas e 28 minutos para que o produto fosse totalmente envazado. O acompanhamento começou às 12:16h do dia 14 de setembro de 2012, e teve término às 14:44h, com uma parada de 81 minutos. Devido a temperatura ambiente estar elevada (32°C), o sistema de refrigeração não conseguia manter a água com temperatura baixa por muito tempo, devido sua capacidade. A temperatura inicial da água no começo da descarga era de 14°C e depois de 50 minutos já estava em 29°C, dificultando a formação dos *pellets* de adesivo. Foi necessária uma parada de 81 minutos para que a temperatura da água baixasse novamente.

No dia 26 de setembro foi acompanhada a descarga do lote B, com início as 13:47h e término de envazamento dos 1.000 kg às 15:50h, sem paradas. Sendo assim, o tempo total de descarga foi de duas horas e 3 minutos, com a temperatura ambiente em 19°C e temperatura da água para descarga em 17°C durante todo o período.

O lote C foi acompanhado no dia 26 de outubro. A descarga de 1.000 kg iniciou às 12:37h e terminou às 14:31h, totalizando 114 minutos para envase de todo o lote. Apesar da temperatura ambiente estar em 30°C, não foi necessária parada no processo para resfriamento da água que iniciou em 10°C e terminou o processo com 19°C de temperatura.

O lote D foi produzido no dia 09 de novembro de 2012 e teve acompanhamento de descarga das 14:58h até às 17:27h, sem paradas. A temperatura ambiente era de 37°C, mas a temperatura da água do processo manteve-se regular neste período de 149 minutos, apresentando 17°C no início do processo e 19°C no término da descarga.

No dia 13 de novembro foram fabricados os lotes E e F. O primeiro teve início de descarga às 14:17h e término às 16:22h, totalizando 125 minutos, sem paradas no processo. A temperatura ambiente era de 24°C, e a água do processo apresentou temperatura inicial e final de 15°C. Já o segundo lote do dia iniciou a descarga com temperatura inicial da água da descarga em 13°C e temperatura final em 16°C. Além disso, o sistema de refrigeração apresentou problemas de funcionamento e foi desativada, o que acarretou em uma parada de 90 minutos na descarga.

Nota-se através da comparação que o sistema de refrigeração 2 apresenta mais estabilidade na temperatura da água, o que proporciona o contínuo processo da descarga, sem pausas. É importante salientar que o objetivo não era reduzir a temperatura da água, e sim mantê-la estável, dentro de um limite de máximo 20°C, para que não houvessem paradas durante o processo de descarga.

Com o sistema 1 muitas vezes eram necessárias as pausas durante o processo de descarga do adesivo, para que a água fosse melhor refrigerada. Estas paradas ocasionavam a queda de produtividade da planta, principalmente em dias de temperatura ambiente mais elevadas. Com a troca do sistema este tempo perdido não ocorre mais e assim, já pode-se observar no primeiro mês de testes que é possível a fabricação de mais um lote de produção durante o dia. Até então, tinha-se a meta de produzir oito lotes em 24 horas, e agora a oportunidade de produção de 9 lotes vem sendo comprovada.

Ao comparar os lotes do sistema 1 e 2 pode-se perceber que a temperatura ambiente tem influência nos lotes do sistema 1. Isso explica-se pela maior variação nas temperaturas inicial e final da água de descarga dos lotes A e C, como pode ser

observado no Gráfico 1. O lote B não teve variação entre início e fim, pois a temperatura ambiente era mais baixa (19°C) em relação aos outros lotes. No sistema 2 a temperatura ambiente não influenciou na temperatura da água de descarga para os lotes D e E. O lote F mostrou variação devido ao problema que a máquina apresentou. Esse fato pode ser explicado devido a diferença de vazão entre os dois sistemas.

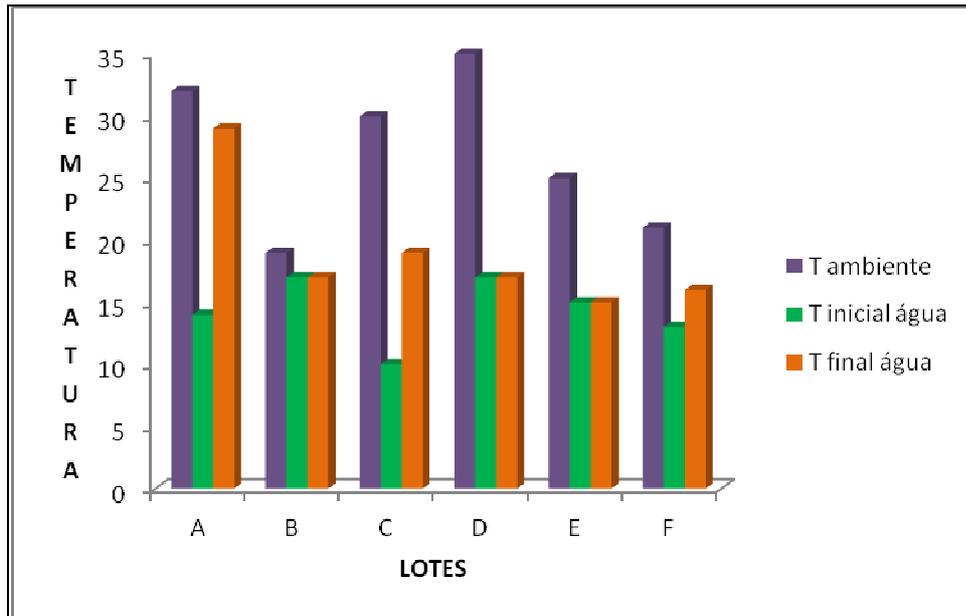


Gráfico 1 - Temperaturas da água com os dois sistemas

Fonte: Do Autor

3.3 CONSUMO DE ÁGUA

No sistema de refrigeração 1 foram realizadas medições da água consumida para manter o nível do reservatório nos dias 12, 19, 26 de setembro e 03 de outubro. Na Tabela 3 pode-se observar os valores registrados no hidrômetro.

Tabela 3 - Registros de consumo de água com o sistema 1.

Período	Consumo de água (m ³)
05/09 a 12/09	23,18
05/09 a 19/09	42,31
05/09 a 26/09	64,49
05/09 a 03/10	92,82

Fonte: Do Autor

Considerando-se o consumo mensal de 92,82 m³ faz-se uma estimativa de que o consumo anual desta planta produtiva ultrapasse 1.000 m³ de água. Dentro deste consumo deve-se considerar as perdas de evaporação da água das torres de resfriamento, as perdas do próprio processo e as limpezas realizadas no reservatório de água do *chiller*.

São realizadas de duas a três limpezas no reservatório justificadas pelo pó que contém no adesivo e que causa grande quantidade de resíduos na água. Na Figura 15 abaixo observa-se o pó e a espuma gerados e acumulados na água do processo, o que dificulta o resfriamento da água.



Figura 16 - Reservatório do *chiller* sistema 1.

Fonte: Do autor

Para o sistema de refrigeração 2 o hidrômetro passou a registrar o consumo da água do processo em 05 de novembro. Foram utilizados 2,26 m³ de água para completar o ciclo do *chiller* e da descarga, mas deve-se observar que em sete dias foram consumidos mais 7,25 m³ para ajustes e limpezas de máquina. Deve-se considerar que o equipamento é novo e o processo, por ser diferente do utilizado até então, demanda ajustes. Estima-se para o sistema 2 mais duas limpezas de água durante o mês em avaliação e considera-se o consumo de mais 4,52 m³. Sendo assim, o consumo deste recurso natural fica em 14,03 m³ nestes primeiros trinta dias de uso. Os dados de consumo de água para os dois sistemas encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Comparação do consumo de água

Período	Consumo sistema 1 (m ³)	Consumo sistema 2 (m ³)
Semana 1	23,18	9,51
Semana 2	19,13	2,26
Semana 3	22,18	0
Semana 4	28,33	2,26
TOTAL	92,82	14,03

Fonte: Do Autor

Através dos dados obtidos no consumo de água para o sistema 1, e com a estimativa de consumo no sistema 2 faz-se uma análise através do Gráfico 1. Verifica-se através deste o consumo de água para os sistemas de refrigeração em estudo.

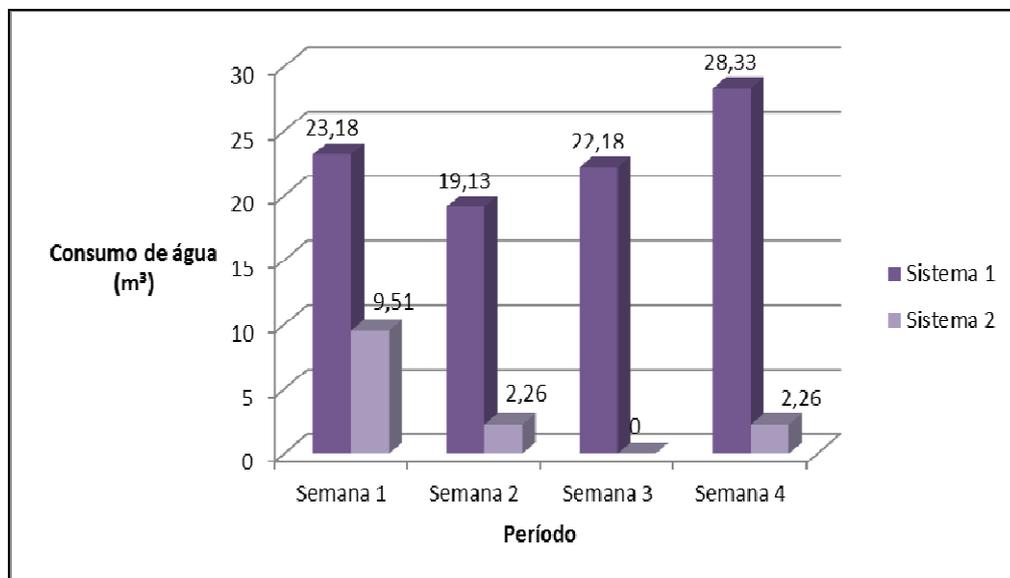


Gráfico 2 - Consumo de água nos diferentes sistemas de refrigeração utilizados.

Fonte: Do Autor

Observa-se que o antigo sistema de refrigeração (1) tinha um consumo de até 6 vezes maior de água, comparado com o sistema 2. Enquanto o primeiro consumia em torno de 90 m³ por mês do recurso hídrico, com o novo processo o consumo de água fica em torno de 14 m³, no mesmo período.

Uma das causas da grande diferença de água consumida pode ser explicada pelo processo aberto que o sistema antigo apresentava, pois através das torres de resfriamento havia muita perda devido evaporação e outros desperdícios. Conforme ilustra a Figura 16, o ambiente em que as torres de resfriamento encontravam-se era o reflexo da perda deste fluido, apresentando grandes poças d'água no chão. Com o novo sistema de refrigeração este tipo de perda não ocorre pelo fato de ser um sistema fechado.



Figura 17 - Torres de resfriamento utilizadas no sistema de refrigeração 1.

Fonte: Do autor

3.4 CONSUMO ENERGÉTICO

O consumo energético dos equipamentos utilizados nos sistemas de refrigeração em estudo foram calculados através da potência dos componentes de cada unidade refrigeradora. O sistema 1 contém dois compressores e quatro bombas, já o sistema 2 possui quatro compressores, duas bombas e seis ventiladores.

A Tabela 5 apresenta os componentes e respectivas potências do sistema de refrigeração 1. Quando somados, esses valores totalizam 47,82 kW/h de consumo energético na empresa.

Tabela 5 - Consumo energético do sistema 1.

Quantidade	Equipamento	Conversão em kW	Total
1	Compressor 16 CV	11,76	11,76
2	Compressor 12,5 CV	9,19	18,38
1	Bomba 3 HP	2,24	2,24
1	Bomba 2 HP	1,49	1,49
3	Bomba 5 CV	3,67	11,01
2	Bomba 2 CV	1,47	2,94
TOTAL			47,82

Fonte: Do Autor

Os componentes e respectivas potências do sistema de refrigeração 2 são demonstrados na Tabela 6, conforme segue.

Tabela 6 - Consumo energético do sistema 2.

Quantidade	Equipamento	Conversão em kW	Total
4	Compressor 12,5 CV	9,19	36,77
3	Bomba 3 HP	2,28	6,84
1	Bomba 5 CV	3,68	3,68
3	Ventilador	0,44	1,32
TOTAL			48,61

Fonte: Do Autor

Pode-se observar através da comparação entre as Tabelas 5 e 6 que o novo equipamento de refrigeração apresenta aumento de menos de 1kW no consumo energético. Fazendo-se uma análise dos itens avaliados, observados no Gráfico 2, é possível descrever as vantagens e desvantagens da troca do sistema de refrigeração da água utilizada na descarga de adesivos *hot melt* na empresa Artecola.

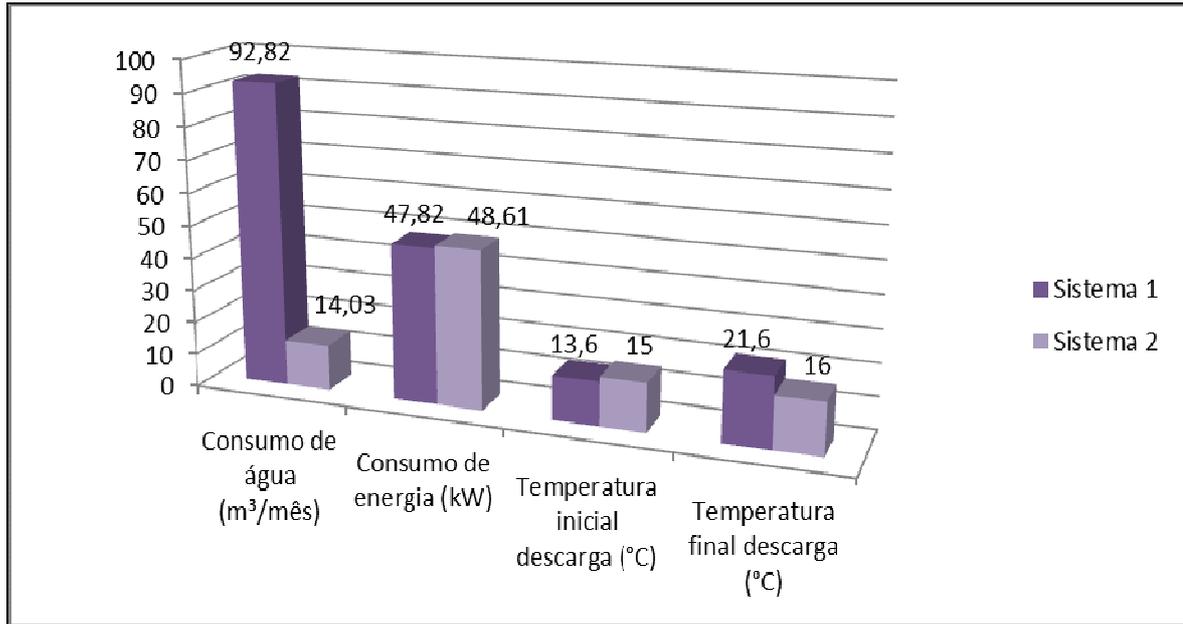


Gráfico 3 - Comparação dos itens avaliados.

Fonte: Do Autor

Como vantagens na troca do sistema de refrigeração pode-se destacar a queda no consumo de água, a maior produtividade da planta com a ausência das paradas durante o período de descarga do adesivo, a redução no espaço ocupado pelos equipamentos de refrigeração, aumento da capacidade calorífica e a baixa oscilação na temperatura da água que proporciona o processo mais contínuo. A desvantagem apresentada é referente ao consumo energético devido à alta capacidade de refrigeração do novo equipamento, contudo este pode ser utilizado em eventual redimensionamento da fábrica com o aumento de produção e é justificável pela melhoria do processo.

CONCLUSÕES

Através deste trabalho, foi possível comparar os diferentes sistemas de refrigeração da água utilizada na descarga de adesivos *hot melt* por meio dos aspectos de consumo de água e energia e do tempo de descarga. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi atingido levando-se em conta os resultados obtidos.

O consumo de água apresentou queda de 84%, em comparação entre o sistema 1 e 2, mostrando que o novo equipamento (2) é muito mais econômico neste aspecto. Considerando-se a questão ambiental, traz mais credibilidade à Empresa devido a redução do consumo deste recurso natural, além de significativa queda nos custos com este recurso.

Através dos dados obtidos com o consumo energético é possível afirmar que o sistema de refrigeração 2 teve aumento de 1,6% quando comparado ao sistema 1.

Por meio dos resultados coletados de tempo de descarga do adesivo, elencado com a temperatura da água é possível confirmar que a produtividade da planta de adesivos *hot melt* aumentou com a troca do sistema de refrigeração. Com a baixa variação na temperatura da água é possível um processo de descarga mais contínuo, o que reflete em maior produtividade para a Empresa.

Com base nos resultados obtidos, valida-se o sistema de refrigeração 2 como boa alternativa para o resfriamento da água de descarga dos adesivos *hot melt*. O baixo consumo da água e os ganhos com produtividade são características aceitáveis para a troca de equipamento.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para a realização de trabalhos futuros as seguintes análises descritas a seguir:

- Verificar o tempo ideal de limpeza e troca da água utilizada no processo;
- Implementar tratamento para a água do processo de descarga do adesivo *hot melt*;
- Verificar qual a capacidade de ampliação que o sistema de refrigeração suporta;
- Estudar os resíduos dos filtros para possível reaproveitamento no processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTECOLA INDÚSTRIAS QUÍMICAS. **Apostila de adesivos** - Módulo I/Universidade Arteccla. Campo Bom, 2012.

ARTECOLA INDÚSTRIAS QUÍMICAS. IND-IT-025. **Instrução de trabalho *hot melt***. Campo Bom, 2012.

BOCKORNY, Geovana de Avila. **Estudo das características mecânicas e reológicas de formulações de adesivos PSA contendo elastômeros de copolímero estireno butadieno e a variação de resinas taquificantes**. 2011. Dissertação de Mestrado. Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 2011.

CALLISTER, William D. Junior. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

ÇENGEL, Yunus A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 3. ed. São Paulo: Mc Graw Hill, 2009.

DANTHERM. **Manual de instruções: trocador de placas**. Guarulhos, 2012.

DOSSAT, Roy J. **Princípios de Refrigeração**. São Paulo: Hemus, 2004.

FOUST, Alan S.; *et al.* **Princípios das operações unitárias**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1982.

FRANÇA, Fernando de. **Controle térmico de ambientes**. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em672/Ciclo_Refrigeracao_Refrigerantes.doc>. Acesso em Outubro de 2012.

GODOY, Sérgio Machado de. **Eficiência térmica de trocadores de calor compactos através de simulação numérica**. 2008. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2008.

GOSSLER, Fabiana Soares. **Estudo de diferentes emulsificantes na síntese de emulsão acrílica para adesivos**. 2010. Trabalho de Graduação de Curso (Monografia) - Curso de Química, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2010.

GUT, Jorge Andrey Wilhelms. **Configurações ótimas para trocadores de calor a placas**. 2003. Tese de doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

HOLMAN, J. P. **Transferência de calor**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MAIA, Maria Fernanda Côrtes Bastos. **Estudo dos efeitos do uso de isolamento térmico em trocadores de calor a placas**. 2012. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do ABC – UFABC, Santo André, 2012.

MILLER, Rex; MILLER, Mark R. **Refrigeração e ar condicionado**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

MOREIRA, J.C. & CIA LTDA. **Catálogo unidades resfriadoras de água**. Novo Hamburgo, 2009.

PERRY, R. H. *et al.* **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1999.

PIZZI, A.; MITTAL, K. I. (Ed). **Hanbook of Adhesive Technology**. New York: Library Of Congress Cataloging-in-publication Data, 2003.

PRODANOV, Cleber; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia de trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo, 2009.

REFRISAT, Santana Refrigeração Instrumentação. **Unidade de água gelada**. Guarulhos, 1995.

SCHIER, Carlos Ubiratan da Costa. **Custos industriais**. 1 ed. Curitiba: Editora IBPEX, 2005.

SILVA, Josué Graciliano da. **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização**. São Paulo: Artliber, 2004.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. Saiz. **Refrigeração industrial**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

STOECKER, Wilbert F. **Industrial Refrigeration Handbbok**. New York: McGraw-Hill, 1998.