

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS – MG**

**ENGENHARIA MECÂNICA**

**UBIRATÃ ANDERSON CLÁUDIO**

Biblioteca Monsenhor Domingos Prado Fonseca
N. Class. <i>M621.4022</i>
Cutter <i>C.G.I.S.m</i>
Ano/Ed. _____

**MELHORIA DO TROCADOR DE CALOR DE PLACAS PHE UTILIZADO EM UMA  
BANHEIRA DE RESFRIAMENTO NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE TUBOS DE  
NYLON**

**Varginha - MG  
2010**

**UBIRATÃ ANDERSON CLÁUDIO**

**MELHORIA DO TROCADOR DE CALOR DE PLACAS PHE UTILIZADO EM UMA  
BANHEIRA DE RESFRIAMENTO NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE TUBOS DE  
NYLON**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, sob a orientação do Prof. Ms Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha - MG  
2010**

**UBIRATÃ ANDERSON CLÁUDIO**

**MELHORIA DO TROCADOR DE CALOR DE PLACAS PHE UTILIZADO EM UMA  
BANHEIRA DE RESFRIAMENTO NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE TUBOS DE  
NYLON**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia Mecânica  
do Centro Universitário do Sul de Minas –  
UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção  
do grau de Engenheiro Mecânico pela banca  
Examinadora composta pelos membros: Prof.  
Esp. Márcio de Santana, Prof. Ms. Alexandre  
Soriano e Prof. Ms Luiz Carlos Vieira Guedes.

Aprovado em 13/12/2010

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Esp. Márcio de Santana

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ms. Alexandre Soriano

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ms Luiz Carlos Vieira Guedes

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a meus pais João e Maria, pela dedicação e empenho durante todo o período deste curso. Também dedico este trabalho para a minha esposa Ana que tanto me incentivou e me acalmou nas horas mais difíceis.

**SISTEMA DE BIBLIOTECAS**  
**FEPESMIG**  
BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

Agradeço aos meus irmãos que sempre estiveram ao meu lado durante todo curso. Agradeço aos professores, que se empenharam ao máximo para transmitir todo o conhecimento possível para a minha formação. E agradeço aos amigos engenheiros que me auxiliaram durante a execução deste trabalho com suas ideias e opiniões.

“Ser capaz de prestar atenção a si mesmo é pré-requisito para ter a capacidade de prestar atenção aos outros; sentir-se bem consigo mesmo é a condição necessária para relacionar-se com os outros”.

*Erich Fromm,  
Ética e psicanálise*

## RESUMO

Este trabalho consiste em apresentar uma melhoria em uma banheira de resfriamento de uma linha de extrusão de tubos de nylon. Foram utilizadas técnicas para a otimização de um trocador de calor de placas do tipo PHE (Plate Heat Exchanger). Buscando assim uma maior eficiência na troca térmica, fazendo com que a peça acabada fique dentro das especificações padronizadas pela norma interna do fornecedor. Neste aspecto são mostradas as medições de vazões e temperaturas realizadas antes do projeto de aperfeiçoamento, provando a necessidade de ajuste do trocador de calor com o objetivo de se obter um maior ganho no processo. E por último é mostrado os resultados alcançados com a melhoria realizada no trocador de calor.

**Palavras-chave:** Trocador de Calor. Tubos de Nylon.

## **ABSTRACT**

*This work is to show an improvement in a cooling bath of pipe extrusion line nylon. Techniques were used for the optimization of a plate heat exchanger type of PHE (Plate Heat Exchanger). Thus seeking a more efficient heat exchange, making the finished part is within the specifications standardized by the internal rule of the supplier. In this respect they are shown the measurements of flow rates and temperatures taken before the improvement project, proving the necessity of adjusting the heat exchanger in order to obtain a higher gain in the process. The latter is shown the results achieved with the improvement made in the heat exchanger.*

**Key words:** Heat Exchanger PHE. Tube Nylon.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Mostra as duas fontes que faz realizar a troca térmica.....	16
Figura 02 – Trocador de calor de placas .....	19
Figura 03 – Trocadores de calor PHE de diversos tamanhos.....	21
Figura 04 – Sentido do fluxo de saída/entrada da água do Chiller e do Processo.....	22
Foto 01 – Placas metálicas montadas do PHE.....	22
Foto 02 – Placa fixa e placa de aperto .....	23
Figura 05 – Variedade de tamanhos e desenhos de placas para os PHEs .....	24
Figura 06 – Configuração de um PHE com nove placas.....	25
Foto 03 – Extrusão do tubo de nylon.....	28
Figura 07 – Partes de uma extrusora .....	28
Figura 08 – Banheira de resfriamento .....	29
Foto 04 – Banheira de resfriamento e Termômetro.....	29
Foto 05 – Termômetro da banheira .....	29
Foto 06 – Colocação de oito placas para ampliação do trocador de calor .....	33
Foto 07 – Incrustações nas placas .....	33
Foto 08 – Limpeza das placas incrustadas .....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – O Fator de incrustação F em equipamentos de transferência de calor .....	20
Tabela 02 – Vantagens e desvantagens do PHE.....	26
Tabela 03 – Tabela das medidas da vazão da bomba da água do Chiller .....	31
Tabela 04 – Tabela das medidas da vazão da bomba da água do Processo .....	31
Tabela 05 – Tabela das medidas de temperatura do Chiller e da água do Processo antes da melhoria .....	32
Tabela 06 – Tabela das medidas de temperatura do Chiller e da água do Processo depois melhoria .....	35

## **LISTA DE FLUXOGRAMAS**

Fluxogramas 01 – Classificação dos trocadores de calor.....	18
Fluxogramas 02 – Tipos de construção dos trocadores de calor.....	19

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

TEMA – Associação dos fabricantes de equipamentos tubulares.....	20
PHE – Plate heat exchanger .....	21
PA 12 – Poliamida.....	27

**SISTEMA DE BIBLIOTECAS**

**FEFESMIG**

**BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivo .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Transferência de calor .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Trocadores de calor.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Natureza da transferência .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Tipos de construção.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Trocadores de calor tipo placa .....</b>	<b>19</b>
<b>2.6 Incrustação.....</b>	<b>20</b>
<b>3 CONHECENDO O TROCADOR DE CALOR.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Construção e materiais.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Configuração.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Vantagens e Desvantagens .....</b>	<b>25</b>
<b>4 A EMPRESA ESTUDADA E SEUS EQUIPAMENTOS .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Nylon extrudado pelo fornecedor.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Banheira de resfriamento .....</b>	<b>29</b>
<b>5. MEDIÇÕES REALIZADAS ANTES DO PROJETO.....</b>	<b>30</b>
<b>5.1 Medições de vazão do chiller e da água do processo .....</b>	<b>30</b>
<b>5.2 Medições da temperatura do chiller e da água de processo antes da melhoria.</b>	<b>32</b>
<b>6 RESULTADOS ALCANÇANDO COM A MELHORIA.....</b>	<b>35</b>
<b>6.1 Medições da temperatura do chiller e da água de processo depois da melhoria</b>	<b>35</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade para a renovação do projeto da banheira de resfriamento surgiu quando percebemos, observando as medições de temperatura, que o tubo de Nylon extrudado com medidas de 9,00 mm de diâmetro externo e espessura de 2,5 mm estava fazendo a água da banheira de resfriamento esquentar. A mesma tem sua temperatura controlada para 16°C pela norma interna do fornecedor. Isso se configurou como uma falha no processo, pois a temperatura estava chegando a 22°C. O controle ideal para a banheira, que utiliza água como fluido, é permanecer na temperatura especificada pela norma. E isso para que possa assegurar a qualidade dos tubos, garantindo resultados satisfatórios durante os testes de destruição e ensaio de materiais.

Outro problema observado foi nas placas do trocador de calor. Verificaram-se grandes camadas de incrustações. Isto ocorre durante a operação dos trocadores. Os incrustados ficam depositados nas superfícies de transferência, impossibilitando assim a máxima eficiência. Danos econômicos também podem ser atribuídos às incrustações, citamos alguns exemplos abaixo:

- ✚ Perda de energia devido à falta de eficiência térmica.
- ✚ A perda de produção durante o desmonte para a limpeza.
- ✚ Aos custos associados à limpeza periódica dos trocadores de calor.
- ✚ Ao dispêndio mais alto de capital em virtude de unidades superdimensionadas.

Com o objetivo de adequar aos procedimentos solicitados à norma foi alterada a configuração do trocador de calor de placas, foi feito também a limpeza dos equipamentos que já se encontram em utilização, tudo isso monitorando o intervalo desta limpeza (que quase não era feita).

## 1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo de caso em uma banheira de resfriamento do tipo industrial, que utiliza trocador de calor de placas para a transferência de energia térmica, buscando uma melhora na sua eficiência. Fazer uma análise da atual situação do processo, provando a necessidade para tal.

## 1.2 Objetivos específicos

Tem como objetivo este trabalho os seguintes itens abaixo:

- ❖ Fazer comparativos que mostrem a necessidade da melhoria.
- ❖ Alterar a estrutura do trocador de calor.
- ❖ Realizar melhorias e dar manutenção no trocador de calor, em uso.

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este item irá fazer uma abordagem bem resumida do que é transferência de calor, depois passará para trocadores de calor explicando o que vem a ser e passando para sua classificação e os tipos de trocadores de calor mais usuais no mercado. Também será relatado neste referencial teórico um dos grandes problemas que é incrustação. A partir deste ponto será que dado o início das pesquisas para consolidação deste trabalho.

### 2.1 Transferência de calor

Transferência de calor nada mais do que a energia transferida de um corpo para outro, em virtude unicamente da diferença de temperaturas entre eles. Quando este corpo cede ou recebe calor ocorre uma variação de temperatura ou uma mudança de estado físico. No primeiro caso dizemos que se trata de calor latente. No segundo caso de calor sensível. Na figura 01 temos um exemplo ilustrando uma transferência.



Figura 01: Mostra as duas fontes que faz realizar a troca térmica.  
Fonte: O Autor

Todo este conjunto de fenômenos caracteriza uma transmissão de calor. A quantidade de calor a ser retirada ou recebida de um fluido para outro é definida pela equação abaixo:

$$Q = m.c.\Delta t$$



Onde:

$Q$  = Calor Total Necessário.

$c$  = Calor específico.

$m$  = Vazão mássica.

$\Delta t$  = Diferença entre temperatura de entrada e saída.

Através da taxa de transferência de calor, se consegue definir a área da troca térmica necessária ao equipamento. Veja a equação:

$$Q = U.A.LMDT$$

Onde:

$Q$  = Calor total disponível.

$U$  = Coeficiente global de troca térmica.

$A$  = Área de troca térmica.

LMDT = Média logarítmica das diferenças de temperaturas.

## 2.2 Trocadores de calor

Trocadores de calor são equipamentos que facilitam a transferência de calor entre dois ou mais fluidos de temperaturas diferentes (OZISK, 1990, p.447). Foram desenvolvidos inúmeros trocadores de calor dos mais diversos tipos, para os mais diversos processos industriais, desde os mais simples até os mais complexos. Os permutadores de calor<sup>1</sup> podem ser classificados, quanto ao modo de operação, ao número e natureza dos fluidos envolvidos, ao tipo de construção, etc. De uma forma mais simples podemos dizer que duas classificações vão nos interessar para o equipamento são: àquela que divide os permutadores pelos seus processos internos de transferência de energia (envolvendo contato direto ou indireto) e outra que os classifica em função das suas características de construção.

---

<sup>1</sup>Permutadores de calor nome também dado aos trocadores de calor



Fluxograma 01: Classificação dos trocadores de calor.

Fonte: O Autor.

### 2.3 Natureza da transferência

Nesta categoria, os trocadores de calor são classificados como de contato direto e de contato indireto. Não vemos por hora a necessidade de entrar em detalhes sobre o contato direto, pois este trabalho tem como foco o contato indireto. Usados aqui nos trocadores de placas.

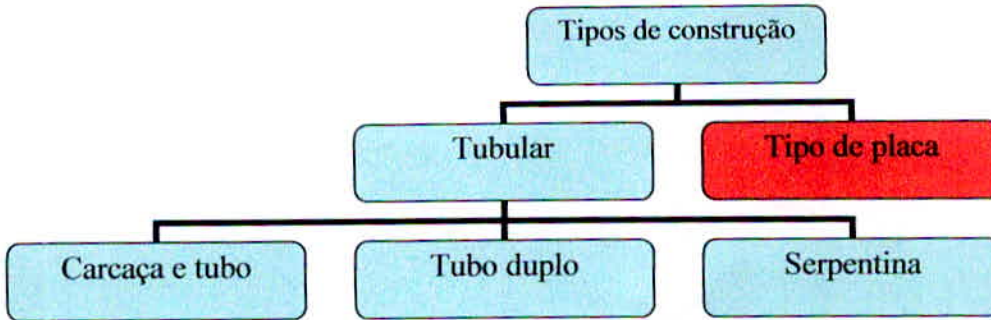
“Trocador de calor de contato indireto, os fluidos permanecem separados e o calor é transferido continuamente através de uma parede, pela qual se realiza a transferência de calor”. (BRAGA FILHO, 2004, p.546)

“Neste tipo, há um fluxo contínuo de calor do fluido quente ao frio através de uma parede que os separa. Não há mistura entre eles, pois cada corrente permanece em passagens separadas. Alguns exemplos de trocadores de transmissão direta são os trocadores de placas. (BRAGA FILHO, 2004, p.546)

### 2.4 Tipos de construção

Os principais tipos de trocadores de calor são os tubulares, os de placas, os de superfície estendida ou aletada e os regenerativos. Como já foi dito antes o foco é o do tipo de placa, que está preenchido de vermelho no esquema abaixo.

Este esquema mostra como é feita a divisão por construção, esta divisão se divide em trocadores de placas e trocadores de calor tubular. Sendo este último o mais usual do mercado, ele se divide em três seguimentos, como é mostrado abaixo. Estes seguimentos são os casco e tubo, o duplo tubo e as serpentinas, normalmente eles são mais robustos o que dificulta sua manutenção e instalação em certos tipos de locais.



Fluxograma 02: Tipos de construção dos trocadores de calor.

Fonte: O Autor.

## 2.5 Trocadores de calor tipo placa

Este tipo de trocador normalmente é construído com placas planas lisas ou com alguma forma de ondulação. Geralmente, esse trocador não pode suportar pressões muito altas, se comparado ao trocador tubular equivalente (BRAGA FILHO, 2004, p.551). Existem muitos tipos de trocadores de calor de placa permanentemente ligadas, tais como variedades de placa brasadas por imersão e brasadas a vácuo, e muitas vezes são especificadas para aplicações de circuito fechado, como refrigeração.

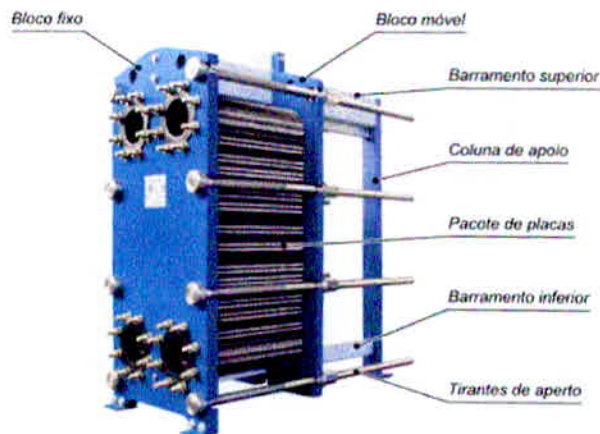
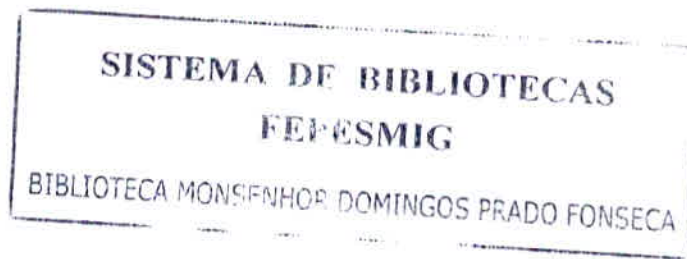


Figura 02: Trocador de calor de placas

Fonte: Alfa Laval

Acima podemos observar uma configuração básica do trocador de calor placas corrugada e alguns de seus componentes que o integra.



## 2.6 Incrustação

É complicado o mecanismo da incrustação, pois não se detém de nenhuma técnica confiável para prever a sua incrustação. Quando um permutador novo é posto em serviço, seu rendimento vai se deteriorando progressivamente em virtude do desenvolvimento da resistência das incrustações. A temperatura e a velocidade das correntes parecem estar ligadas entre os fatores que afetam a taxa de incrustação sobre uma dada superfície. Aumentando a temperatura do fluido como um todo, aumenta a taxa de crescimento das incrustações. Agora com o aumento da velocidade a taxa de depósito diminui e também a quantidade final do depósito sobre a superfície.

A Associação dos Fabricantes de Equipamentos Tubular (TEMA) preparou a tabela abaixo de fatores de incrustação.

<i>Fator de Fuligem</i>	<i>m<sup>2</sup> K / W</i>
Água do rio, abaixo de 50° C	0,0002-0,0001
Vapor	0,00009
Ar industrial	0,0004
Óleo combustivel	0,0009

Tabela 01. O Fator de incrustação F em equipamentos de transferência de calor  
Fonte: TEMA

Na falta de melhor a tabela é a única referência para se avaliar os efeitos das incrustações na redução da transferência de calor, a tabela acima mostra só alguns fatores de fuligens, ou seja, os mais usuais em cálculos. Mas existem diversos deles que não foram mencionados e que são usados de acordo com o ambiente e fluido.

### 3 CONHECENDO O TROCADOR DE CALOR PHE

Os trocadores de calor PHE, foram introduzidos comercialmente na década de 30 pela sua fácil higienização, podendo ser facilmente desmontados, limpos e inspecionados. Mas este equipamento só foi se tornar popular nos anos 60, como uma alternativa aos trocadores de calor tipo casco e tubos, no qual se observava certa dificuldade para sua manutenção e limpeza, além de ocupar um maior espaço do que os PHE. Até então os fabricantes dos PHE eram os detentores de toda a tecnologia relacionada a este tipo de trocador. Boas partes das publicações referentes ao assunto foram de autoria de engenheiros ligados a fabricantes destes tipos de trocadores. Tanto que a maior parte do conteúdo só é achada em sites de empresas fabricantes sendo sua bibliografia mais difícil de ser encontrada e restrita aos fabricantes.

O termo “trocador de calor a placas” e a sigla PHE (Plate Heat Exchanger) são normalmente usados para representar o tipo mais comum de trocador a placas: o “trocador de calor a placas com gaxetas” (gasketed plate heat exchanger ou plate and frame heat exchanger). Em todos eles, os fluidos escoam por estreitos canais e trocam calor através de finas chapas metálicas. Alguns exemplos de PHEs são mostrados na figura 03.

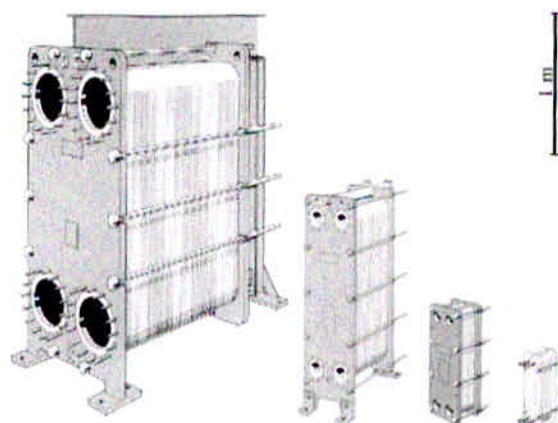


Figura 03 – Trocadores de calor PHE de diversos tamanhos  
Fonte: Alfa Laval

Entretanto, existem ainda outros tipos menos comuns de trocadores a placas, como o espiral ou o de lamela.

Os trocadores de calor mostrados na figura 03 são os que tem gaxetas nas vedações e podem ser também observados diversos tamanhos deles, verificando o quanto eles são compactos.

Pode se observar a configuração esquemática de um trocador de calor de dez placas, como exemplo mostradas abaixo na figura 04.

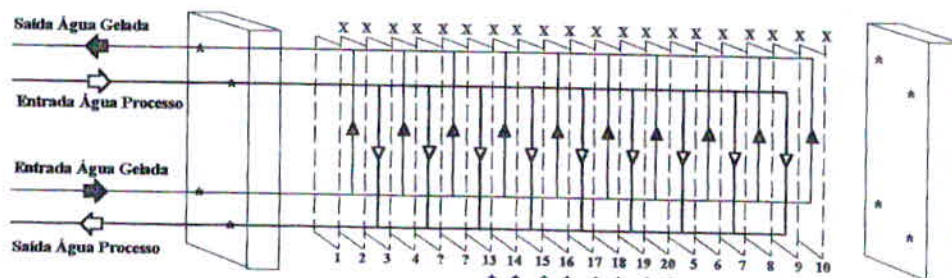


Figura 04 – Sentido do fluxo de saída/entrada da água do Chiller e do Processo

Fonte: Fish Term

Tem o sentido de entrada e saída da água do processo, que é a com a temperatura ambiente, no outro orifício tem a entrada e a saída de água do Chiller que é o dispositivo que a finalidade de resfriar a água da banheira.

### 3.1 Construção e materiais

Os PHEs são formados basicamente por um pacote de finas placas metálicas prensadas em um pedestal, como mostra a foto 01.

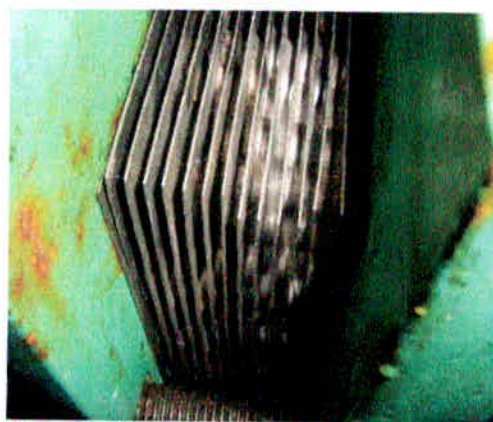


Foto 01: Placas metálicas montadas do PHE

Fonte: O Autor.

O pedestal possui uma placa fixa, uma placa de aperto móvel, barramentos inferior e superior e parafusos de aperto, como mostra a foto 02. A placas fixa e de aperto possuem bocais para conexão das tubulações de alimentação e de coleta dos fluidos.

As placas do PHE possuem orifícios nos cantos para a passagem dos fluidos e são seladas nas extremidades por gaxetas (também chamadas de juntas) de material elastomérico. Quando as placas são alinhadas e prensadas no pedestal, forma-se entre elas uma série de canais paralelos de escoamento.

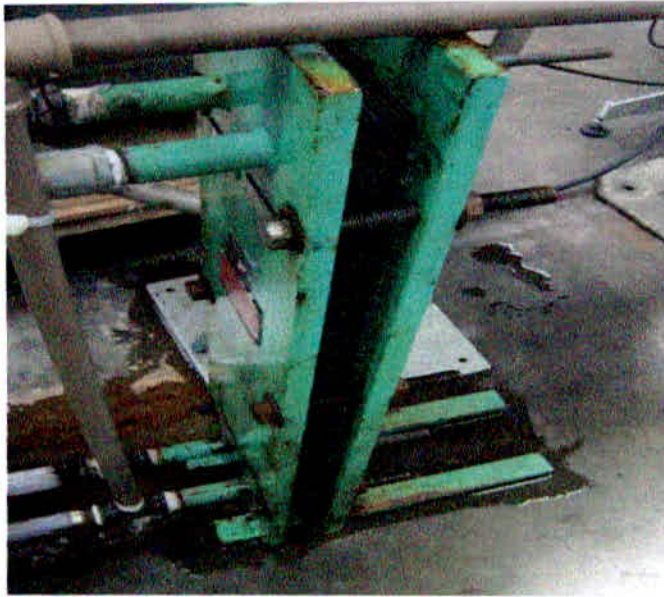


Foto 02: Placa fixa e placa de aperto  
Fonte: O Autor.

A parte central da placa é corrugada (ondulada) para aumentar a turbulência do escoamento dentro destes canais, aumentando assim também sua eficiência na troca térmica e também para aumentar a resistência mecânica do pacote de placas, que pode ter de três a setecentas placas dependendo da capacidade do pedestal e da necessidade a que se deseja.

Existe uma grande variedade de tamanhos e desenhos de placas, como pode ser visto na figura 05. A área de troca térmica por placa varia de  $0,03$  a  $3,6 \text{ m}^2$  e a espessura da chapa é de cerca de  $1 \text{ mm}$ . Os tipos mais comuns de corrugações são a chevron (ou “espinha de peixe”) e a washboard (ou “tábua de lavar”), indicados na figura 05. O ângulo de inclinação das ranhuras chevron é um parâmetro muito importante para o dimensionamento do PHE pois ele tem forte influência sobre os coeficientes de troca térmica e sobre a perda de carga dos fluidos.

O pedestal do PHE é normalmente construído em aço carbono com pintura anticorrosiva. Já as placas são feitas de algum metal dúctil que possa ser laminado e prensado e que também seja resistente à corrosão. Para a maior parte das aplicações usa-se o aço

inoxidável AISI-316, mas outros materiais mais nobres podem ser utilizados como o titânio ou ligas de cobre e níquel, dependendo das condições de processo.

As gaxetas são fabricadas com elastômeros, em especial as borrachas butílicas e nitrílicas, mas existem uma grande variedade de materiais compressíveis dependendo do fluido empregado e das condições de operação. O uso de gaxetas impõe limitações quando se fala de temperaturas acima de 150° C.

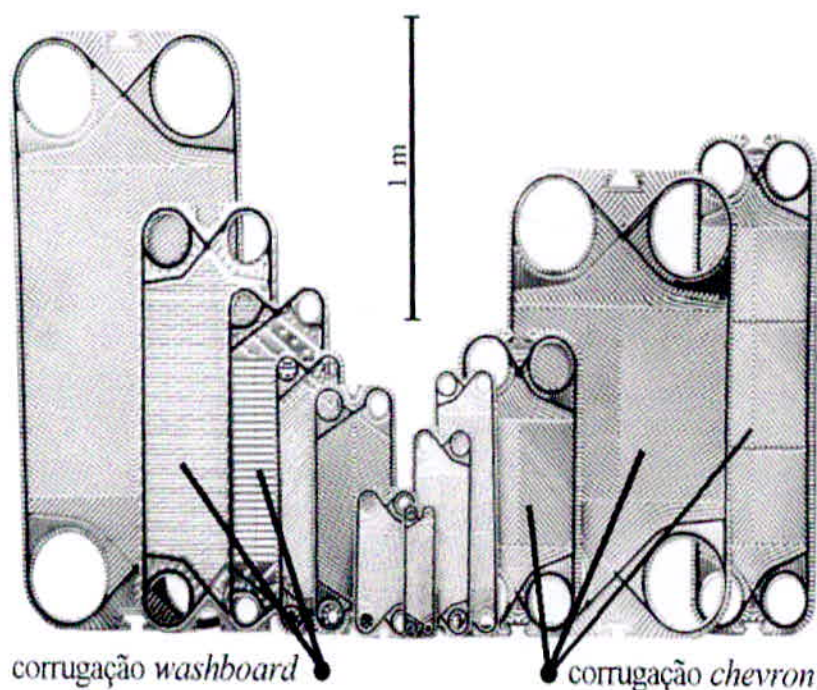


Figura 05: Variedade de tamanhos e desenhos de placas para os PHEs

Fonte: PHE do Brasil

### 3.2 Configuração

O espaço compreendido entre duas placas é um canal de escoamento, que pode ter uma espessura de 1,5 a 5 mm. O fluido entra e sai dos canais através dos orifícios nas placas e o seu caminho por dentro do PHE é definido pelo desenho das gaxetas, pelos orifícios abertos e fechados das placas e pela localização das conexões de alimentação. A configuração do



PHE define as trajetórias dos fluidos quente e frio dentro do trocador e existe um grande número de possibilidades de configuração.

A distribuição do fluxo pelos canais do PHE é feita na forma de “passes”, compostos por um certo número de “passagens”. Cada vez que o fluxo muda de sentido, muda-se de passe. Na Figura 06 é mostrado um exemplo de configuração para um PHE com nove placas, onde é possível observar os orifícios abertos e fechados das placas e também o desenho das gaxetas que definem a direção e o sentido do escoamento em cada canal. No caso deste exemplo têm-se oito canais de escoamento, o fluido quente faz dois passes de duas passagens e o fluido frio faz quatro passes de uma passagem.

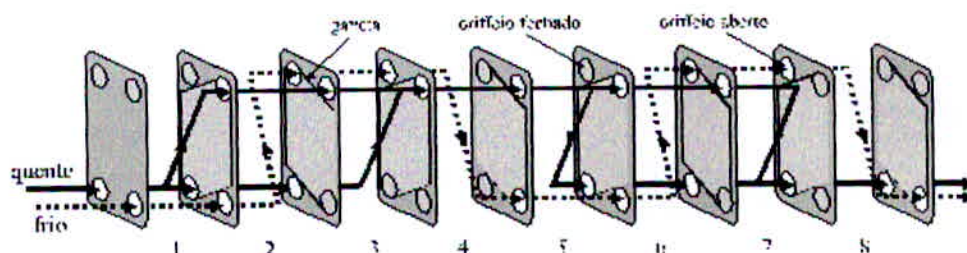


Figura 6 – Configuração de um PHE com nove placas.

Fonte: PHE do Brasil.

Os números de passes e de passagens definem o “arranjo de passes” do PHE. Os tipos de arranjos mais comuns são aqueles em paralelo onde os dois fluidos fazem apenas um passe e aqueles em série onde os fluxos não sofrem divisões, ou seja, cada passe tem apenas uma passagem. Quando um outro tipo de arranjo é necessário, procura-se configurá-lo para que o fluxo entre os canais vizinhos no PHE seja predominantemente contracorrente, o que maximiza a troca térmica.

### 3.3 Vantagens e Desvantagens

Mesmo sendo um trocador versátil, compacto e de alta eficiência térmica, o PHE possui limitações de operações impostas pelo uso intensivo de suas gaxetas. Elas vão ficando gastas com o tempo, aumentando os riscos de vazamentos. Para manter estes riscos sob controle foi elaborada uma tabela com as vantagens e desvantagens. Dando uma maior importância para as suas desvantagens.

A seguir são mostradas as principais vantagens e desvantagens dos permutadores de placas que utilizam o sistema de gaxetas. Ver tabela 02.

Vantagens	Desvantagens
- <u>Limpeza</u> : como o PHE é desmontável, é possível limpar e inspecionar todas as partes em contato com os fluidos.	- <u>Pressão</u> : pressões superiores a 1,5 MPa não são toleradas, pois ocasionam vazamentos nas gaxetas.
- <u>Flexibilidade</u> : os PHEs são muito flexíveis; adicionando ou removendo placas eles podem ser redimensionados para novas condições de processo.	- <u>Temperatura</u> : para que o PHE possa trabalhar acima de 150 °C é necessário o uso de gaxetas especiais, pois as de material elastomérico não suportam tal condição.
- <u>Economia</u> : como os PHEs são compactos, podem ser usados materiais mais nobres na fabricação das placas, o que seria proibitivo em trocadores mais robustos como o casco-e-tubos.	- <u>Mudança de Fase</u> : em casos especiais os PHEs podem ser usados em operações de condensação ou de evaporação, mas eles não são recomendados para gases e vapores devido ao espaço reduzido dentro dos canais e às limitações de pressão.
- <u>Rendimento Térmico</u> : os PHEs são trocadores de alta eficiência térmica, sendo possível obter diferenças de temperatura de até 1° C entre os fluidos.	- <u>Vazamentos nas placas</u> : a fricção entre placas pode desgastar o metal e formar pequenos furos de difícil localização.
- <u>Turbulência</u> : as placas corrugadas aumentam a turbulência do escoamento dentro dos canais. Desta forma, é possível obter o regime turbulento de escoamento com valores de número de Reynolds da ordem de 20 a 400 dependendo do tipo de placa.	- <u>Dimensionamento</u> : os métodos rigorosos de dimensionamento dos PHEs ainda são propriedade dos fabricantes e são específicos aos modelos comercializados.
- <u>Vazamentos nas gaxetas</u> : as gaxetas possuem respiros que impedem que os fluidos se misturem no caso de alguma falha, o que também facilita a localização de vazamentos.	- <u>Fluidos</u> : o processamento de fluidos de alta viscosidade ou contendo materiais fibrosos não é recomendado por causa da alta perda de carga e de problemas de distribuições de fluxo dentro do PHE.

Tabela 02: Vantagens e desvantagens do PHE  
Fonte: APV do Brasil

Antes de iniciar qualquer projeto envolvendo este tipo de trocador de calor, ou até mesmo uma reforma do mesmo, deve-se atentar para a tabela 02, pois ela tem a finalidade de mostrar alguns conceitos que facilita a execução de um projeto e até mesmo a sua recuperação.

**SISTEMA DE BIBLIOTECAS**  
**FEPESMIG**  
BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

## 4 A EMPRESA ESTUDADA E SEUS EQUIPAMENTOS

A empresa estudada é uma multinacional do ramo de extrusão de perfis de borrachas, de pvc, de tubos de nylon. O nylon é derivado de polímeros PA 12 que podem ser rígidos ou flexíveis, que são moldados logo após a extrusão.

A empresa concedeu o direito de se realizar um estudo de caso em seu interior, desde que seu nome não fosse divulgado no trabalho. Por este motivo a empresa neste trabalho é chamada de fornecedor, para que não ocorra problemas futuros.

### 4.1 Nylon extrudado pelo fornecedor

O nylon é derivado da extrusão de polímeros PA 12 (poliamida), ver foto 03. Estes polímeros são chamados de termoplásticos de alta performance para revestimento anti-corrosivo, eles são fabricados a partir de monômeros extraídos de hidrocarbonetos. São muito utilizados na indústria, por terem uma boa resistência mecânica, térmica e por serem termoformáveis.

Abaixo é citado algumas de suas características:

- Resistência mecânica a tração e compressão.
- Resistência a UV (ultra violeta).
- Ótima resistência química contra ácidos e cloretos.
- Fácil aplicação em geometrias complexas.

A foto três ilustra uma extrusora e uma caixa fechada a vácuo que é chamada de melt, com um gabarito em seu interior que é utilizado pelo fornecedor para garantir que seu diâmetro fique dentro do especificado do fornecedor.

O funcionamento do melt é bem simples. Ele retira todo o ar da caixa, com isto faz com que o tubo de nylon tenha uma passagem constante pelo gabarito. É este gabarito que determina a espessura da parede do tubo.

No processo do fornecedor existe uma gama destes gabaritos com diversos diâmetros, para diversos perfis de nylon, com paredes de espessura de 1 mm até 2,5 mm.

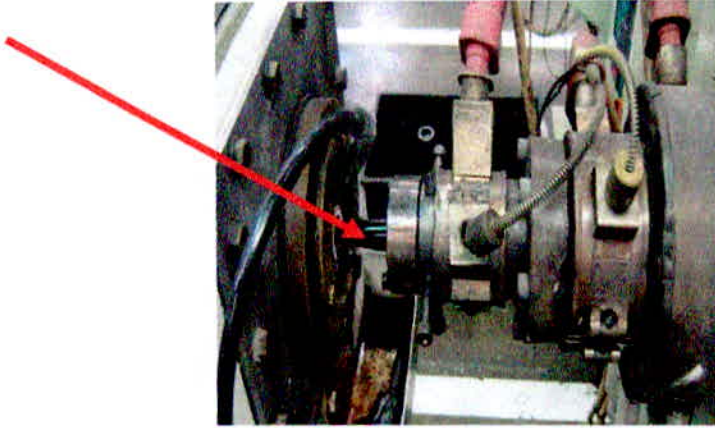


Foto 03: Extrusão do tubo de nylon  
Fonte: O Autor

Esta extrusão é a passagem forçada do material através de uma matriz, tendo a sua forma pré definida pelo projetista, vide figura 07. Uma extrusora desta temperatura chega em média aos 180° C. Veja a seta indicativa mostrando o nylon em processo de fabricação e a extrusora.

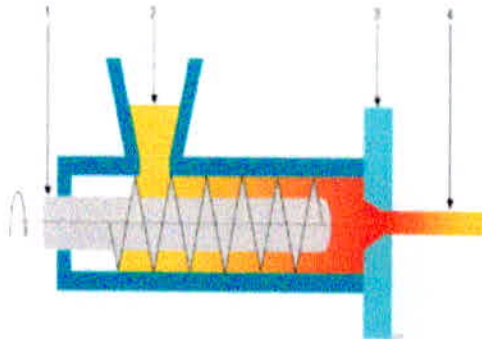


Figura 07: Partes de uma extrusora  
Fonte: Laurens van Lieshout

Segue o esquema do processo de extrusão mostrado acima na figura 07:

- 1 Rosca sem fim.
- 2 Alimentador.
- 3 Matriz.
- 4 Produto extrudado, no caso o nylon.

## 4.2 Banheira de resfriamento

A banheira de resfriamento tem como finalidade resfriar o tubo de nylon assim que ele sai da extrusora para garantir uma ótima cristalização dos grãos, figura 08 e seta indicativa.

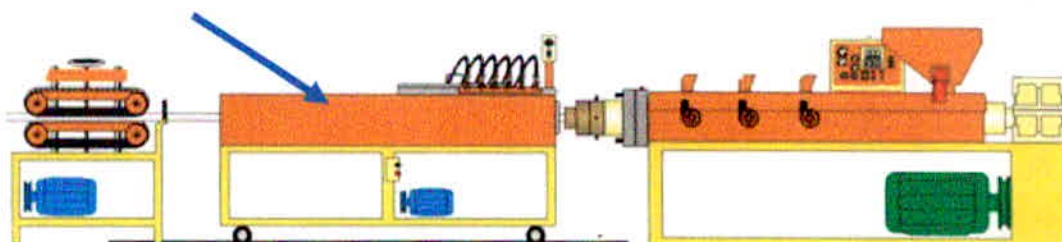


Figura 08: Banheira de resfriamento  
Fonte: Aja Plástico S.A.

Este resfriamento que utiliza água como fluido, tem a temperatura controlada de  $16^{\circ}\text{C}$  para que o tubo conforme no diâmetro desejado e não perca a suas propriedades de alongamento durante os testes de destruição. Só que a temperatura estava chegando aos  $23^{\circ}\text{C}$ , temperatura acima do especificado, foto 04 e 05. Vide seta apontando o termômetro na foto 04.

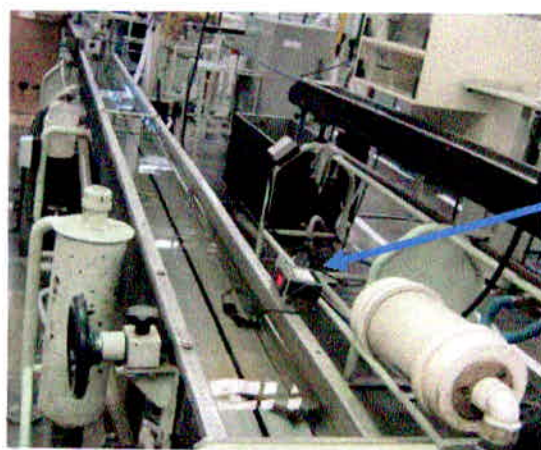


Foto 04: Banheira de resfriamento e Termômetro  
Fonte: O Autor



Foto 05: Termômetro da banheira  
Fonte: O Autor

Observe que a temperatura do termômetro da banheira mostra como a temperatura está fora do especificado, justificando este estudo.

## **5 MEDIÇÕES REALIZADAS ANTES DO PROJETO**

Para solicitar o aumento da quantidade do número de placas do trocador de calor foram medidas as vazões de água gelada provenientes do equipamento Chiller e da água do processo onde resfria os tubos de Nylon extrudados, pois através das vazões que se determina a configuração do trocador de calor.

Após esta análise, é necessário saber as temperaturas de entrada e saída do Chiller, bem como a entrada e saída da água de processo.

Essas medidas foram o único estudo da ampliação do trocador de placas, além de conhecer o tipo de fluido, neste caso a água.

Embora o dimensionamento otimizado de um trocador de calor a placas seja de tamanha complexidade, as empresas que representam este tipo de equipamento possuem Softwares de patente própria, impedindo o detalhamento deste estudo, pois a forma como é realizado os cálculos do projeto é de extrema confidencialidade da empresa que fornece estes trocadores.

### **5.1 Medições de vazão do chiller e da água do processo**

A medição de vazão do Chiller e da água de processo tem como objetivo verificar a pressão da entrada do trocador de calor e a quantidade de calor trocado, verificando assim seu poder de troca térmica.

A tabela 03 e a tabela 04 logo abaixo, do seu lado esquerdo, destacam as dimensões da caixa de água da linha de extrusão.

Do seu lado direito, mostra como foi feita a medição da vazão da bomba do Chiller e do Processo, verificando a sua altura, volume e quantidade total de água.

Todas as medidas são reais, elas foram medidas durante uma parada na linha de extrusão para a manutenção.

VAZÃO DA BOMBA DA ÁGUA DO CHILLER					
CAPACIDADE DA CAIXA			MEDIÇÃO INICIAL DA ÁGUA		
MEDIDA	DIMENSÃO	UD	MEDIDA	DIMENSÃO	UD
Largura	0,425	m	Altura inicial da água	0,08	m
Comprimento	1,195	m	Volume inicial da água	0,04	m <sup>3</sup>
Profundidade	0,545	m	Quantidade inicial da água	40,63	l
Volume Total	0,277	m <sup>3</sup>	MEDIÇÃO FINAL DA ÁGUA		
Litros Total	277	l	MEDIDA	DIMENSÃO	UD
			Altura final da água	0,35	m
			Volume final da água	0,18	m <sup>3</sup>
			Quantidade final da água	177,76	l
			Qtd de água retirada	137,13	l
			Tempo de retirada de água	100,00	s
			Vazão total	4936,68	l/h
			Vazão total	5	m <sup>3</sup> /h

Tabela 03: Tabela das medidas da vazão da bomba da água do Chiller .

Fonte: O Autor

VAZÃO DA BOMBA DA ÁGUA DO PROCESSO					
CAPACIDADE DA CAIXA			MEDIÇÃO INICIAL DA ÁGUA		
MEDIDA	DIMENSÃO	UD	MEDIDA	DIMENSÃO	UD
Largura	0,425	m	Altura inicial da água	0,35	m
Comprimento	1,195	m	Volume inicial da água	0,18	m <sup>3</sup>
Profundidade	0,545	m	Quantidade inicial da água	177,76	l
Volume Total	0,277	m <sup>3</sup>	MEDIÇÃO FINAL DA ÁGUA		
Litros Total	277	l	MEDIDA	DIMENSÃO	UD
			Altura final da água	0,11	m
			Volume final da água	0,06	m <sup>3</sup>
			Quantidade final da água	55,87	l
			Qtd de água retirada	121,89	l
			Tempo de retirada de água	172,00	s
			Vazão total	2551,19	l/h
			Vazão total	2,6	m <sup>3</sup> /h

Tabela 04: Tabela das medidas da vazão da bomba da água do Processo.

Fonte: O Autor

Através destas duas tabelas tem se dado suficientes para os cálculos de uma nova configuração dos permutadores de calor e juntando com os dados abaixo, poderemos analisar qual atenderá as necessidades da empresa.

## 5.2 Medições da temperatura do chiller e da água de processo antes da melhoria

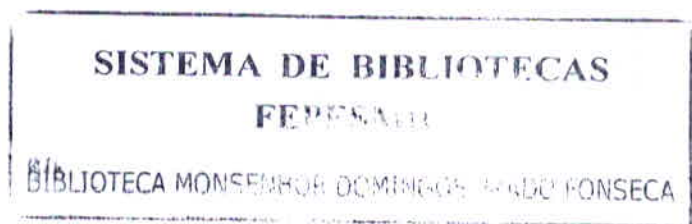
Foram realizadas medições de temperatura em intervalos de uma hora durante cinco dias consecutivos de trabalho na unidade de água gelada Chiller, onde se faz a troca térmica no trocador de calor com a água já aquecida e na banheira de água do processo, conforme Tabela 05.

MEDIDAS DE TEMPERATURAS DO CHILLER EM C° ANTES DA MELHORIA					
HORAS	2ª FEIRA	3ª FEIRA	4ª FEIRA	5ª FEIRA	6ª FEIRA
08:00	6	6	6	6	6
09:00	6	6	6	6	6
10:00	6	7	6	6	7
11:00	6	7	7	6	6
12:00	6	6	7	7	6
13:00	7	6	6	7	6
14:00	6	6	6	7	6
15:00	7	6	6	6	7
16:00	6	6	6	6	7
<b>MÉDIA</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
MEDIDAS DE TEMPERATURAS DA ÁGUA DO PROCESSO EM C° ANTES DA MELHORIA					
HORAS	2ª FEIRA	3ª FEIRA	4ª FEIRA	5ª FEIRA	6ª FEIRA
08:00	10	12	12	11	10
09:00	12	13	14	13	13
10:00	16	16	15	16	14
11:00	16	18	15	17	23
12:00	20	18	23	17	23
13:00	20	18	23	21	21
14:00	22	21	22	23	21
15:00	23	23	22	22	21
16:00	23	22	22	23	22
<b>MÉDIA</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>19</b>

Tabela 05: Tabela das medidas de temperatura do Chiller e da água do Processo antes da melhoria.  
Fonte: O Autor

Com as medidas de vazão e temperatura do Chiller e da água do processo, quantidade de placas inicial de projeto, 12 no total, tipo de fluido utilizado água, foi solicitado à empresa Alfa Laval que dimensiona os trocadores de calor a seguinte configuração que se segue abaixo.

Segue a configuração do trocador; referente à ampliação do jogo de 12 placas modelo Eu-08 tipo RS-B intermediárias construídas em aço inox 316, com 0,6 mm de espessura e gaxetas nitrílicas, modelo RS-270.





Novo Regime de trabalho: Resfriar 2,6 m<sup>3</sup>/h de água de processo entrando a 23.0 °C e saindo a 12.0 °C mediante troca térmica com 5,0 m<sup>3</sup>/h de água gelada entrando a 6.0 °C e saindo a 12.0 °C.

Para essa condição será necessário a ampliação de mais oito placas do mesmo modelo, tendo em vista também ampliar os tirantes de fechamento das placas.

Neste caso foi feito a colocação de mais oito placas no trocador de calor conforme foto 06.



Foto 06: Colocação de oito placas para ampliação do trocador de calor.  
Fonte: O Autor.

Durante a ampliação, foi encontrada nas placas antigas, altas quantidade de incrustações e sujeiras que são responsáveis pela queda de eficiência do trocador de calor, conforme foto 07.



Foto 07: Incrustações nas placas.  
Fonte: O Autor.

Na foto 07 consegue se observar o grau elevado de incrustações na superfície das placas que já estava em uso no processo. Estas incrustações são decorrentes da própria água do processo, que vai acumulando resíduos da extrusão dos tubos de nylon e já que a entrada

de água nos bocais não tem nenhum tipo de filtro, estes resíduos vão acumulando no trocador de calor.

Neste caso foi feita a limpeza de todas as placas antigas do trocador de calor, retirando as incrustações nele contida com escova de aço e água limpa. Tomou certo cuidado com a limpeza para não danificar as gaxetas conforme foto 08.



Foto 08: Limpeza das placas incrustadas.  
Fonte: O Autor.

Desde então passou a realizar limpezas com frequência nas placas, para a retirada das incrustações diminuindo assim a queda da eficiência do trocador. Esta limpeza passou a fazer parte da manutenção preventiva, diminuindo assim os problemas gerados com as fuligens do processo.

## 6 RESULTADOS ALCANÇANDO COM A MELHORIA

### 6.1 Medições da temperatura do chiller e da água de processo depois da melhoria

Foram feitas as mesmas condições de monitoramento das temperaturas da água do Chiller e do processo conforme tabela 06. Na tabela pode se observar as medições realizadas:

<b>MEDIDAS DE TEMPERATURAS DO CHILLER EM C° DEPOIS DA MELHORIA</b>					
<b>HORAS</b>	<b>2ª FEIRA</b>	<b>3ª FEIRA</b>	<b>4ª FEIRA</b>	<b>5ª FEIRA</b>	<b>6ª FEIRA</b>
08:00	6	6	6	6	6
09:00	6	6	6	6	6
10:00	6	6	6	6	6
11:00	7	7	6	6	6
12:00	7	7	6	7	7
13:00	7	7	7	7	7
14:00	6	7	6	7	7
15:00	6	6	6	6	6
16:00	7	6	6	6	6
<b>MÉDIA</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>MEDIDAS DE TEMPERATURAS DA ÁGUA DO PROCESSO EM C° ANTES DA MELHORIA</b>					
<b>HORAS</b>	<b>2ª FEIRA</b>	<b>3ª FEIRA</b>	<b>4ª FEIRA</b>	<b>5ª FEIRA</b>	<b>6ª FEIRA</b>
08:00	10	11	11	11	10
09:00	10	12	11	11	10
10:00	10	12	11	11	12
11:00	10	12	10	12	12
12:00	11	12	10	12	11
13:00	11	12	11	12	11
14:00	11	12	11	12	11
15:00	11	12	10	12	11
16:00	11	12	11	11	11
<b>MÉDIA</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>11</b>

Tabela 06 – Tabela das medidas de temperatura do Chiller e da água do Processo depois melhoria.  
Fonte: O Autor

Pode se notar nas tabelas acima a diminuição das temperaturas da água da banheira, ficando conforme a especificação interna do fornecedor.

## CONCLUSÃO

Todas as medidas aqui citadas são medidas reais, o que comprova toda a veracidade deste trabalho. Os componentes da linha de extrusão que compõe a banheira de resfriamento foram analisados e medidos cuidadosamente para não haver falhas no projeto.

Os trocadores de calor são equipamentos indispensáveis para o equilíbrio de um processo de produção de borracha ou injeção plástica.

O monitoramento de seu rendimento deve ser constante além da manutenção preventiva e limpezas devem estar fixadas em um cronograma para execução de tempos em tempos.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se notar o ganho que se obteve com o novo projeto e com a melhoria imposta no trocador de calor.

A ajuda do fornecedor deste equipamento é de suma importância, pois ele detém-se de todos os conhecimentos dos trocadores de calor de placa, ajudando o seu cliente nas dificuldades do dia a dia.

Após análise do antes e depois das temperaturas, baseando-se na ampliação otimizada do trocador de calor, bem como sua limpeza por completo, verificou-se que o resultado obtido foi satisfatório para o processo. Assim sendo o processo de extrusão do tubo de nylon 9,00 mm de diâmetro externo e 2,5 mm de espessura está seguindo os padrões de qualidade interna do produto, adequando seus resultados às normas exigidas pelos clientes.

## REFERÊNCIAS

- BRAGA FILHO, WASHINGTON. **Transmissão de calor**. 1. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- HEWITT, G.F. (Ed.) **Handbook of heat exchanger design**. New York: Begell House, 1992. s.3.7, s.4.4.
- INCROPERA, FRANK P., AND DAVID P. DEWITT. **Fundamentals of heat transfer**. 1. ed. New York; Wiley, 1981.
- OZISKI, M. NECATI. **Transferência de calor um texto básico**. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990.
- PHE Brasil, Disponível em 20/06/2010  
<http://www.phe.com.br>
- Acesso em: 20/06/2010
- PINTO, J.M.; GUT, J.A.W. **A screening method for the optimal selection of plate heat exchanger configurations**. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v.19, n.4, p.433-439, 2002.
- Tubular exchanger manufactures association. New York: TEMA, 1959.