

Mestrado Integrado em Engenharia Química

***Aproveitamento energético dos efluentes da
Lavandaria/Tinturaria***

Tese de Mestrado

De

Ana Sofia Rodrigues de Oliveira

desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

Realizado em: Salsa Jeans: Iniciativa Galp 20-20-20:



Departamento de Engenharia Química

Orientador na FEUP: Prof. Fernando Martins

Orientador na empresa: Eng. Jorge Pedrosa

Julho de 2011

Agradecimentos

Durante a realização desta dissertação em ambiente empresarial contei com a ajuda de inúmeras pessoas. Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Fernando Martins, que foi o orientador na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e que me deu apoio em aspectos técnicos.

No que diz respeito ao apoio fornecido por membros da empresa que me recebeu, queria agradecer ao Eng. Jorge Pedrosa e ao técnico responsável de manutenção, Sr. Agostinho Penouço que desde o início se prontificaram a apresentar todo o processo de funcionamento da lavandaria e da tinturaria, bem como o fornecimento dos dados que necessitava para a realização deste trabalho. Também gostaria de agradecer ao Sr. Joaquim Carneiro que me proporcionou um bom ambiente de trabalho assim como o esclarecimento de dúvidas relativamente à empresa.

Deixo também aqui os meus sinceros agradecimentos à Galp Energia pela realização deste tipo iniciativa e pela possibilidade que me deu na realização deste projecto.

Resumo

Com o aumento do preço dos combustíveis fósseis e com as mudanças climáticas tornou-se importante melhorar a eficiência energética dos processos. No sector da indústria têxtil, este melhoramento é conseguido através da minimização do consumo de água e da diminuição do uso intensivo de vapor.

As lavandarias e as tinturarias são unidades da indústria têxtil em que existem vantagens em aproveitar, sob o ponto de vista térmico, os efluentes. No caso da Irmãos Vila Nova Indústria de confecções, S.A (IVN Indústria), a tinturaria gera efluentes com temperaturas mais elevadas do que a lavandaria. Assim sendo, analisaram-se 3 alternativas possíveis para reaproveitar energeticamente os efluentes da tinturaria, não sendo considerado os aproveitamentos energéticos da lavandaria. Através da análise dos consumos, da quantidade de água que efectivamente se conseguiria aquecer e da quantidade de equipamentos que se teria de adquirir optou-se pela alternativa que melhor cumpria as necessidades da empresa.

Esta alternativa consiste na acumulação dos efluentes num tanque, sendo depois direccionados para um permutador de calor, aquecendo água até os 37 °C, sendo parte desta direccionada para a lavandaria, para a tinturaria e para um tanque já existente onde acontecerá o aquecimento até os 60 °C. A água será aquecida até 60 °C através do reaproveitamento do calor dos condensados da indústria e será fornecida somente às máquinas de tingir.

O projecto em questão terá um investimento total de 250000 €. No cálculo do tempo de retorno consideraram-se 3 situações de poupança (aquecimento de 50%, 75% e 100% das necessidades de água quente através da permuta com os efluentes e uma redução de 5%, 8% e 10% na utilização de vapor directo na tinturaria nas situações 1, 2 e 3, respectivamente) sendo que, o consumo de vapor nas diferentes secções foi estimado face à ausência de contadores de vapor à saída das caldeiras. Com estas considerações obtiveram-se tempos de retorno de 4,2 anos, 3,6 anos e 1,9 anos, respectivamente. Fazendo uma análise de sensibilidade, considerando que o gás natural aumenta 10%, os tempos de retorno para as 3 situações passam a ser de 3,8 anos, 2,4 anos, e 1,7 anos.

Palavras Chave: recuperação de calor, quantificação dos efluentes, permutador de calor.

Abstract

The high prices of fossil fuels and the climate changes become the processes' energy efficiency an important goal to be obtained. In textile industry, this goal is commonly achieved by minimizing water consumption and decreasing the use of steam.

In laundries and dyeing units of the textile industry, there are some advantages in the utilization of the effluents, which are usually at moderate temperatures. In the case of Irmãos Vila Nova, SA (IVN Industry), the dyeing effluents generate higher temperatures than the laundry unit. Therefore, three alternatives were analysed for reusing the energy effluents from dyeing unit and the effluents from the laundry unit were not considered in the study. One alternative was selected through the analysis of the water consumption requirements and the new equipment to be installed.

The chosen alternative considers the existence of a wastewater tank in which the effluent is then directed to a heat exchanger heating water to 37 °C. The water of this tank is then forward to the laundry and to a tank which temperature is 60 °C. The heating process to 60 °C is performed through the reuse of heat available in condensate stream. This water fed the dyeing machines.

The estimated total investment of this project is € 250000. In the calculation of the payback time, three situations were analysed with the savings: i) heating 50%; ii) 75% and, iii) 100% of hot water needs and occurring a reduction of 5%, 8% and 10% in the use of direct steam in the laundry, respectively. These assumptions allow calculating the payback times equal to 4,2 years, 3,6 years and 1,9 years, respectively. Through a sensitivity analysis, considering and increase of 10% in natural gas price, the payback times for the three situations are 3,8 years, 2,4 years and 1,7 years.

Keywords: heat recovery, quantification of effluents, heat exchanger.

Índice de Títulos

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Enquadramento e Apresentação do Projecto | 1 |
| 1.2 | Contributos do Trabalho | 2 |
| 1.3 | Organização da Tese | 2 |
| 2 | Estado da arte..... | 4 |
| 3 | Quantificação dos efluentes..... | 6 |
| 3.1 | Lavandaria | 7 |
| 3.2 | Tinturaria | 9 |
| 3.3 | Central térmica | 11 |
| 4 | Aproveitamento dos efluentes..... | 12 |
| 4.1 | Alternativa A..... | 12 |
| 4.2 | Alternativa B..... | 14 |
| 4.3 | Alternativa C..... | 15 |
| 5 | Análise das necessidades de água quente..... | 16 |
| 6 | Seleccção de uma alternativa | 22 |
| 6.1 | Diagrama processual..... | 22 |
| 6.2 | Arranque da instalação e situações extremas | 24 |
| 6.3 | Dimensionamento dos equipamentos | 25 |
| 7 | Análise de investimento | 27 |
| 7.1 | Custos de investimento | 27 |
| 7.2 | Benefícios de implementação do projecto | 29 |
| 7.3 | Análise de rentabilidade | 30 |
| 7.4 | Análise de sensibilidade..... | 31 |
| 8 | Conclusões | 33 |
| 9 | Avaliação do trabalho realizado | 35 |
| 9.1 | Objectivos Realizados | 35 |

| | | |
|---------|---|----|
| 9.2 | Outros Trabalhos Realizados | 35 |
| 9.3 | Limitações e Trabalho Futuro | 35 |
| 9.4 | Apreciação final..... | 36 |
| 10 | Referências | 37 |
| Anexo A | Características químicas dos efluentes | 38 |
| Anexo B | Programa da lavandaria/tinturaria | 39 |
| Anexo C | Balanço mássico e energético | 41 |
| Anexo D | Quantificação dos efluentes da tinturaria..... | 42 |
| Anexo E | Quantificação dos efluentes nas condições de operação do projecto | 45 |
| Anexo F | Dimensionamento do permutador de calor | 48 |
| Anexo G | Características do tanque de armazenamento de água a 37 °C | 52 |
| Anexo H | Características do permutador de calor | 54 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1- Fotografia da IVN Indústria. | 1 |
| Figura 2- Esquema do processo de recuperação de calor centralizada (Elahee, 2010). | 4 |
| Figura 3- Desenho da lavandaria e da tinturaria. | 6 |
| Figura 4- Máquina da lavandaria. | 7 |
| Figura 5- Esquema do modo de funcionamento de máquina de tingimento. | 9 |
| Figura 6- Máquina da tinturaria. | 10 |
| Figura 7- Quantificação dos efluentes da tinturaria do dia 14 de Março de 2011. | 10 |
| Figura 8- Diagrama representativo da alternativa A. | 13 |
| Figura 9- Diagrama representativo da alternativa B. | 14 |
| Figura 10- Diagrama representativo da alternativa C. | 15 |
| Figura 11- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa A, na semana de 28 de Fevereiro a 4 de Março. | 16 |
| Figura 12- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa A, na semana de 14 a 18 de Março. | 17 |
| Figura 13- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa A, na semana de 24 a 30 de Março. | 17 |
| Figura 14- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa B, na semana de 28 de Fevereiro a 4 de Março. | 18 |
| Figura 15- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa B, na semana de 14 a 18 de Março. | 19 |
| Figura 16- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa B, na semana de 24 a 31 de Março. | 19 |
| Figura 17- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa C, na semana de 28 de Fevereiro a 4 de Março. | 20 |
| Figura 18- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa C, na semana de 14 a 18 de Março. | 21 |
| Figura 19- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa B, na semana de 24 a 31 de Março. | 21 |

| | |
|--|----|
| Figura 20- Diagrama processual da alternativa B. | 23 |
| Figura 21- Dimensionamento do permutador de placas através da aplicação informática Aspentech..... | 26 |
| Figura 22- Estimativa dos consumos de gás em cada secção. | 29 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1- Consumos de água com a respectiva temperatura nas duas semanas de análise no sector da lavandaria..... | 7 |
| Tabela 2- Caudais de saída e respectivas temperaturas nas duas semanas de análise no sector da lavandaria. | 8 |
| Tabela 3- Caudais médios das correntes de entrada da lavandaria. | 8 |
| Tabela 4- Caudais médios das correntes de saída da lavandaria. | 8 |
| Tabela 5- Características das caldeiras..... | 11 |
| Tabela 6- Equipamentos principais necessários em cada alternativa. | 22 |
| Tabela 7- Resultados obtidos através do dimensionamento do permutador de calor. | 25 |
| Tabela 8- Custo de aquisição dos equipamento obtidos contactando vários fornecedores. | 27 |
| Tabela 9- Poupança de gás natural em 3 situações possíveis. | 30 |
| Tabela 10- Valor Actual Líquido,Taxa Interna de Rentabilidade e tempo de retorno do investimento nas três soluções possíveis de poupança para o orçamento obtido contactando vários fornecedores. | 31 |
| Tabela 11- Valor Actual Líquido,Taxa Interna de Rentabilidade e tempo de retorno do investimento nas três soluções possíveis de acordo com o orçamento proposto pela empresa de engenharia. | 31 |
| Tabela 12- Valor Actual Líquido,Taxa Interna de Rentabilidade e tempo de retorno do investimento nas três soluções possíveis de poupança para o investimento total de acordo com o orçamento proposto pela empresa de engenharia..... | 32 |

Notação e Glossário

Dimensões em M,L,T, θ

| | | |
|-----------------|---|-------------------------|
| T | Temperatura | θ |
| Q | Calor | ML^2T^{-2} |
| \dot{m} | Caudal | L^3T^{-1} |
| ΔT_{ln} | Temperatura média logaritimica | θ |
| ΔT_m | Temperatura média | θ |
| A | Área | L^2 |
| c_p | Capacidade calorifica | $ML^2T^{-2}\theta^{-1}$ |
| d_e | Diâmetro hidraulico | L |
| F_t | Factor de correcção da temperatura | |
| h_p | Coefficiente de transferencia de calor do filme | $MT^{-2}\theta^{-1}$ |
| K | Conductividade térmica | $MLT^{-3}\theta^{-1}$ |
| L | Comprimento | L |
| M | Espessura | L |
| N | Número de placas | |
| U | Coefficiente global de tranferencia de calor | $MT^{-2}\theta^{-1}$ |
| V | Velocidade | LT^{-1} |

Letras gregas

| | | |
|----------|------------------------|-----------------|
| ρ | Densidade | ML^{-3} |
| μ | Viscosidade | $ML^{-1}T^{-1}$ |
| α | Difusividade | $L^2 T^{-1}$ |
| ν | Viscosidade cinemática | L^2T^{-1} |

Índices

| | |
|------------|----------|
| <i>C</i> | Frio |
| <i>F</i> | Fluido |
| <i>H</i> | Quente |
| <i>Ori</i> | Orifício |
| <i>P</i> | Placas |

Lista de Siglas

| | |
|-----|-------------------------------------|
| IVN | Irmãos Vila Nova |
| NTU | Número de unidades de transferência |
| Pr | Número de Prandtl |
| RE | Número de Reynolds |
| TIR | Taxa interna de rentabilidade |
| VAL | Valor actual líquido |

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

A IVN Indústria (Irmãos Vila Nova- Indústria de confecções, S.A) iniciou a sua actividade em 1987, focando-se na área dos acabamentos têxteis, nomeadamente, na lavandaria e na tinturaria de artigos confeccionados. Em 1990 iniciou a área de confecção a feito e em 1994 criou a sua própria marca, “SALSA”, sendo comercializada através de lojas multimarca (www.ivn.pt, 2011).

Nas instalações industriais realizam-se vários acabamentos têxteis, nomeadamente, lavandaria e tinturaria de artigos confeccionados e executados alguns acabamentos especiais. Assim sendo, pode dividir-se esta indústria em 5 sectores: lavandaria e amostras, tinturaria, secagem, zona de acabamentos especiais e laboratório. Na Figura 1 apresenta-se uma fotografia da empresa.



Figura 1- Fotografia da IVN Indústria.

A IVN Indústria utiliza como principais fontes de energia, electricidade e gás natural. A primeira forma de energia é utilizada para iluminação, climatização, transporte e como força

motriz para o accionamento de diversos equipamentos do processo produtivo. O gás natural é utilizado em duas caldeiras de vapor (produção de vapor saturado), nas três estufas da zona de acabamentos especiais e uma pequena quantidade no esquentador dos balneários.

Este projecto irá focar-se na lavandaria/tinturaria, ou seja, no aproveitamento energético dos efluentes destas secções. No processo de lavagem e de tingimento é necessária a utilização de água a temperaturas de 17 °C, 37 °C ou 41 °C. Durante o funcionamento das máquinas injecta-se vapor, de modo a que a temperatura aumente para que o processo evolua de acordo com o esperado. A introdução deste vapor faz com que a água à saída dos processos de lavagem e tingimento possa ter temperaturas elevadas. As correntes de saída destas máquinas são direccionadas para a estação de tratamento de águas residuais de forma a garantir que a legislação seja cumprida (Anexo A). Além destes efluentes, também o efluente correspondente às purgas das caldeiras é enviado para a estação de tratamento de águas residuais.

1.2 Contributos do Trabalho

O presente projecto destina-se à caracterização quantitativa dos efluentes em termos energéticos com vista ao desenvolvimento de soluções energeticamente eficientes para estes efluentes. Pretende-se diminuir os custos de produção, com base na redução dos tempos de aquecimento e na diminuição do consumo de vapor nos diferentes processos de lavagem e tingimento.

Uma outra mais-valia deste trabalho é a redução da concentração dos sólidos suspensos totais que são enviados para a estação de tratamento de efluentes, por forma a obedecer à legislação em vigor no que respeita à concentração de sólidos suspensos nos efluentes.

1.3 Organização da Tese

Esta dissertação está organizada por capítulos e para além deste é constituída por mais nove capítulos.

O Capítulo 2 efectua um enquadramento da empresa e do problema em estudo, ou seja, o modo de funcionamento das máquinas e as características das caldeiras.

O Capítulo 3 apresenta a quantificação dos efluentes da lavandaria, da tinturaria e da corrente de purga obtida nas caldeiras. A quantificação foi realizada analisando a produção de 2 e 3 semanas de funcionamento das secções referidas anteriormente, respectivamente,

com o objectivo de conhecer mais realisticamente os caudais de efluentes com potencial energético.

O Capítulo 4 descreve 3 alternativas possíveis para o problema em estudo, apresentando as características e o modo de funcionamento das várias propostas.

O Capítulo 5 avalia se o aquecimento de água em cada alternativa satisfaz as necessidades de água quente da indústria.

O Capítulo 6 indica qual é a alternativa que mais se adequa às necessidades da indústria em questão e o dimensionamento dos seus equipamentos.

O Capítulo 7 faz a análise de investimento da alternativa mencionada anteriormente.

O Capítulo 8 apresenta as principais conclusões deste projecto.

O Capítulo 9 efectua uma avaliação do trabalho realizado, as suas limitações e trabalhos futuros. Apresenta também trabalhos realizados em paralelo a este projecto.

2 Estado da arte

O aumento da procura de fontes energéticas, combinado com a escassez de combustíveis fósseis, faz com que se torne importante o desenvolvimento de soluções que aumentem a eficiência energética dos processos. Entende-se por eficiência energética a utilização de menos energia para fornecer a mesma quantidade de valor energético.

A indústria têxtil e de vestuário portuguesa representam 11% do total das exportações portuguesas, 22% do emprego, 8% do volume de negócios e 7% da produção da indústria transformadora nacional (www.atp.pt, 2011). Neste sector, o segmento de tinturaria, é um grande consumidor de energia e de água, sendo importante estudar novas soluções que melhorem a eficiência energética dos processos envolvidos.

O aumento da eficiência energética na indústria têxtil pode ser realizado através da recuperação de calor da água e da recuperação de calor do ar (Elahee, 2010). No caso em estudo só se aplicará a primeira opção.

A recuperação de calor através da água pode ser realizada através da sua reutilização, sendo necessário fazer um tratamento prévio. Especialistas afirmam que esta água pode ser reutilizada mais de 20 vezes. Uma outra forma de aumentar a eficiência energética é a recuperação de calor centralizada, que consiste no armazenamento do efluente num tanque que depois é bombeado para um permutador de placas onde a água é aquecida. Na Figura 2 apresenta-se um esquema do processo de recuperação de calor centralizada (Elahee, 2010).

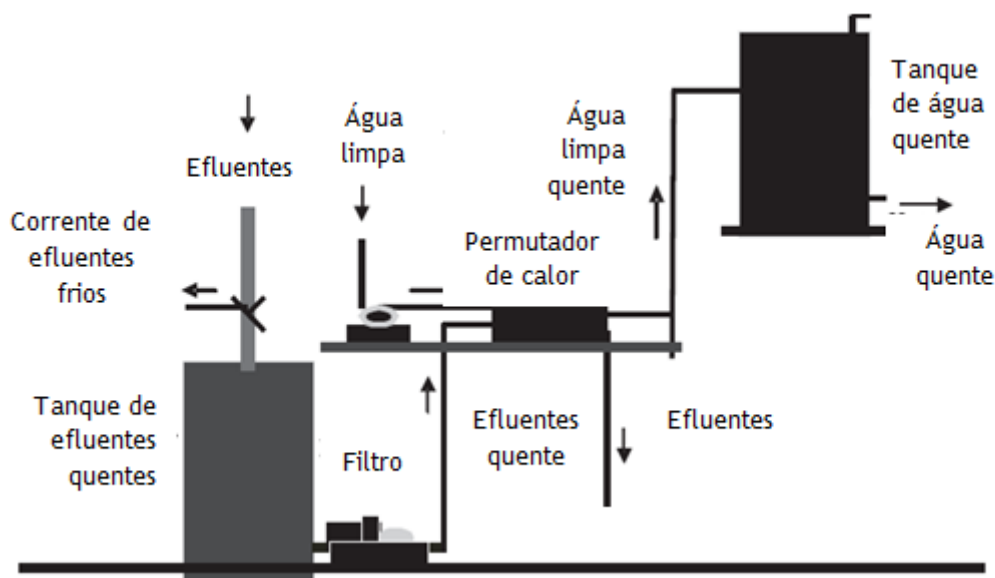


Figura 2- Esquema do processo de recuperação de calor centralizada (Elahee, 2010).

O tempo de retorno deste investimento é maior do que 12 meses, sendo mais comum rondar os 18 a 36 meses (Elahee, 2010).

No que diz respeito aos permutadores de calor, nestas situações são utilizados permutadores tubulares e permutadores de placas, sendo estes últimos os mais indicados porque a eficiência é maior (cerca de 3 a 5 vezes) e mais baratos.

Na IVN Indústria, as correntes de efluente de saída das máquinas de lavar e tingir podem atingir temperaturas na gama dos 17 °C a 90 °C, sendo, actualmente, enviadas para a estação de tratamento de águas residuais.

Indústrias têxteis como a Somelos e a Filcor-Tinturaria e Acabamentos Têxteis, Lda (www.filcor.net, 2011) são exemplos de empresas que já investiram num projecto de recuperação de calor dos efluentes.

3 Quantificação dos efluentes

Na quantificação dos efluentes da lavandaria analisou-se a produção de uma semana do mês de Fevereiro e uma do mês de Março. No que diz respeito aos efluentes da tinturaria analisou-se uma semana do mês de Fevereiro e duas do mês de Março. Adoptou-se este método de quantificação de efluentes para se obter valores mais realistas dos consumos que ocorrem na lavandaria e na tinturaria.

Tanto a lavandaria como a tinturaria funcionam de acordo com programas previamente definidos (Anexo B), existindo na totalidade 60 e 94 programas, respectivamente. A utilização destes programas varia conforme o tipo de roupa e o tingimento que se quer fazer, em que a temperatura da corrente de entrada de água pode ser fria ($T=17\text{ }^{\circ}\text{C}$), morna ($T=37\text{ }^{\circ}\text{C}$) ou quente ($T=41\text{ }^{\circ}\text{C}$). Como consequência, a temperatura da corrente de saída também varia. Por esta razão, todos os balanços mássicos e energéticos foram relacionados em função do volume inicial de água que se coloca nas máquinas (Anexo C).

Na Figura 3 apresenta-se um desenho da lavandaria e da tinturaria com as respectivas máquinas.

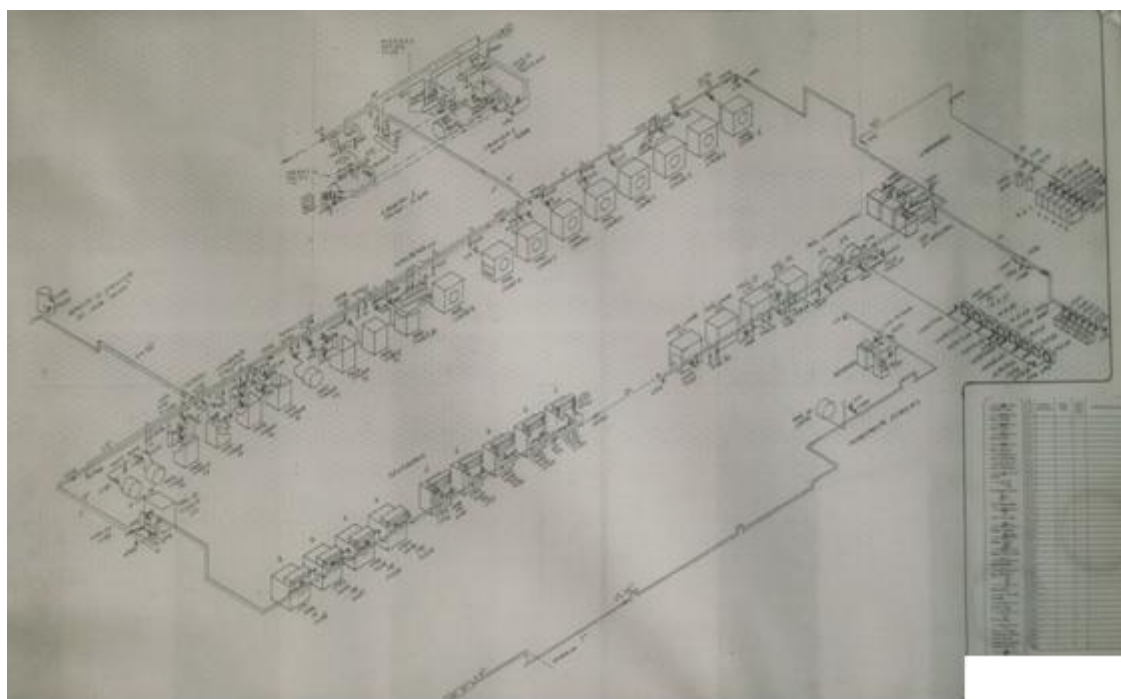


Figura 3- Desenho da lavandaria e da tinturaria.

3.1 Lavandaria

A lavandaria é composta por 8 máquinas de lavar industriais em que cada uma tem uma potência de 18,5 kW. A Figura 4 apresenta uma fotografia de uma destas máquinas.



Figura 4- Máquina da lavandaria.

A quantificação dos efluentes foi realizada através da análise de 2 semanas, verificando-se quantas vezes cada programa era efectuado e quais eram as quantidades de água de entrada e saída e a respectiva temperatura. Considerou-se que a quantidade de água que entrava era a máxima para cada programa, uma vez que este factor é em função do peso da roupa.

Na Tabela 1 apresenta-se os consumos totais de água bem como a respectiva temperatura, para cada semana analisada na lavandaria.

Tabela 1- Consumos de água com a respectiva temperatura nas duas semanas de análise no sector da lavandaria.

| | \dot{m} (m ³ /h) | |
|------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Temperatura (°C) | 7 a 15 de Fevereiro | 28 de Fevereiro a 7 de Março |
| 17 | 19 | 18 |
| 37 | 10 | 10 |

Analisando a tabela anterior verifica-se que o processo de lavagem não necessita de entrada de água quente.

Efectuando-se os balanços mássicos para cada programa obteve-se o caudal de água de saída das máquinas com as respectivas temperaturas (Tabela 2).

Tabela 2- Caudais de saída e respectivas temperaturas nas duas semanas de análise no sector da lavandaria.

| | \dot{m} (m ³ /h) | |
|------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Temperatura (°C) | 7- 15 de Fevereiro | 28 de Fevereiro a 7 de Março |
| 17-37 | 21 | 18 |
| 37-60 | 7 | 8 |
| 60-90 | 0,1 | 0,3 |

Analisando as tabelas anteriores verifica-se que os caudais obtidos nas duas semanas de estudo são concordantes. Na Tabela 3 e na Tabela 4 apresentam-se os caudais médios das correntes de entrada e saída das máquinas de lavar.

Tabela 3- Caudais médios das correntes de entrada da lavandaria.

| Temperatura (°C) | \dot{m} (m ³ /h) |
|------------------|-------------------------------|
| 17 | 19 |
| 37 | 10 |

Tabela 4- Caudais médios das correntes de saída da lavandaria.

| Temperatura (°C) | \dot{m} (m ³ /h) |
|------------------|-------------------------------|
| 17-37 | 20 |
| 37-60 | 7 |
| 60-90 | 0,2 |

Estes resultados permitem inferir que o caudal de efluente encontra-se maioritariamente a uma temperatura baixa, o que corresponde a diminutos reaproveitamentos.

3.2 Tinturaria

Na tinturaria realizam-se as operações de branqueamento e tingimento de tecidos e é necessário a entrada de água fria, morna, quente e vapor directo. Na Figura 5 apresenta-se um esquema do modo de funcionamento de uma máquina de tingir.

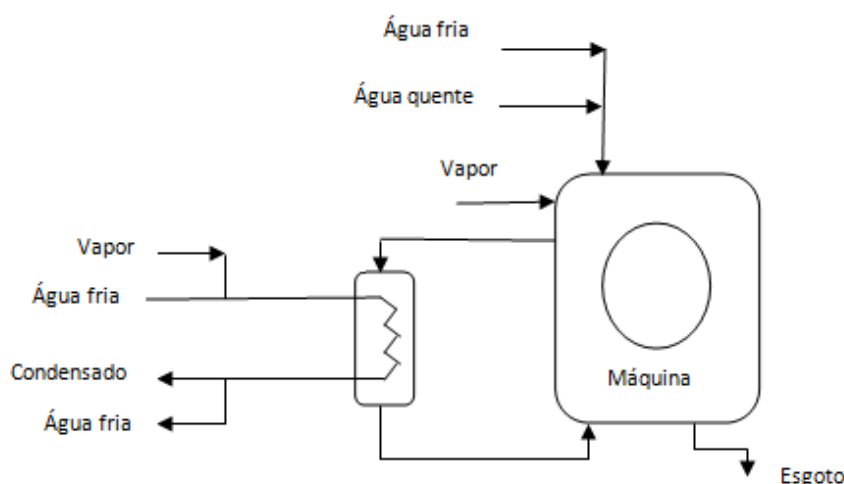


Figura 5- Esquema do modo de funcionamento de máquina de tingimento.

A máquina de tingir tem uma entrada de água quente, uma de água fria e uma de vapor directo. Quando se quer aumentar ou diminuir ligeiramente a temperatura do banho da máquina usa-se uma serpentina onde pode passar condensado ou água fria. A serpentina encontra-se por trás da máquina e a água que passa neste equipamento é recuperada para o tanque de água fria, assim como o condensado é enviado para o tanque de condensados da central térmica.

Na Figura 6 apresenta-se uma fotografia de uma máquina de tingir e os tanques que se podem visualizar na imagem são reservatórios que contêm carbonato de sódio e sal, necessários para o processo de tingimento.



Figura 6- Máquina da tinturaria.

De acordo com o mesmo procedimento apresentado na quantificação dos efluentes da lavandaria, analisou-se três semanas de funcionamento da tinturaria para se obter um conhecimento mais real do consumo de água. Uma vez que esta secção da indústria apresenta uma maior elevação de temperatura, analisou-se os efluentes pelos turnos de cada dia.

Na Figura 7 apresenta-se a quantificação dos efluentes da tinturaria do dia 14 de Março de 2011. Os caudais de saída dos efluentes estão organizados segundo intervalos de temperatura, nomeadamente dos 17 °C a 50 °C, 50 °C a 65°C e 65°C a 90 °C. No Anexo D encontram-se os dados obtidos para todos os dias analisados.

| | | Dia 14 de Março de 2011 | | | | |
|----------------|--|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | 1º Turno | | | | |
| | | T=17 °C | T=37 °C | T=41 °C | T=50 °C | T=65 °C |
| Entradas (L/h) | | 8182 | 15643 | 2989 | | |
| Saídas (L/h) | | | 18179 | | 6154 | 2432 |
| | | 2º Turno | | | | |
| | | T=17 °C | T=37 °C | T=41 °C | T=50 °C | T=65 °C |
| Entradas (L/h) | | 7888 | 16718 | 2436 | | |
| Saídas (L/h) | | | 18155 | | 6427 | 2414 |
| | | 3º Turno | | | | |
| | | T=17 °C | T=37 °C | T=41 °C | T=50 °C | T=65 °C |
| Entradas (L/h) | | 3010 | 4757 | 925 | | |
| Saídas (L/h) | | | 6285 | | 1796 | 599 |

Figura 7- Quantificação dos efluentes da tinturaria do dia 14 de Março de 2011.

Analisando a figura anterior verifica-se que os caudais são bastante variáveis, estando directamente relacionados com a produção.

3.3 Central térmica

A central térmica tem como objectivo produzir vapor saturado e água quente que são utilizados em vários equipamentos do processo fabril. Na produção de vapor existem duas caldeiras interligadas que normalmente funcionam em simultâneo. Na Tabela 5 apresenta-se as características das caldeiras.

Tabela 5- Características das caldeiras.

| | Caldeira 1 | Caldeira 2 |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Pressão máxima admissível | 9,8 bar | 10 bar |
| Capacidade total | 7676 L | 9100 L |
| Temperatura máxima admissível | 183 °C | 183 °C |
| Superfície de aquecimento | 80 m ² | 100 m ² |
| Combustível | Gás natural | Gás natural |
| Vaporização nominal | 3200 kg/h | 4000 kg/h |
| Fluidos a conter | Água e vapor saturado | Água e vapor saturado |

Estes equipamentos dispõem de um sistema de purgas automáticas sendo estas correntes enviadas para a estação de tratamento de águas residuais a uma temperatura de cerca de 95 °C. Tal acontece num intervalo de 20 em 20 minutos e tem uma duração de aproximadamente 4 segundos, com um caudal de 20,2 m³/h. Assim sendo, obtém-se que por turno é enviado para a estação de água residuais cerca de 0,48 m³/h.

O aquecimento de água até uma temperatura de aproximadamente 41 °C é feito através de um tanque, com isolamento térmico, que possui uma serpentina onde passa o condensado que provém de várias unidades da fábrica. Quando este processo não é suficiente para atingir a temperatura desejada injecta-se vapor directo.

4 Aproveitamento dos efluentes

Analisando os valores obtidos na quantificação dos efluentes da lavandaria e da tinturaria verificou-se que, na lavandaria, o caudal de saída dos efluentes que se encontram a uma temperatura morna ou fria é diminuto. Assim sendo, não existe desperdício significativo pelo que não é proposto nenhuma mudança por forma a melhorar a eficiência.

No que diz respeito à tinturaria, o mesmo não acontece. As correntes que se encontram a uma temperatura superior a 50 °C podem ser utilizadas para aquecer água que vai entrar no processo, a uma temperatura de 37 °C ou 60 °C. Actualmente, a água quente que entra nas máquinas está a uma temperatura de 40 °C e quando é necessário elevá-la, injecta-se vapor directo. Com a utilização de água a 60 °C vai-se diminuir o tempo que a máquina demora a efectuar o programa e o consumo de vapor directo, já que não é necessário esperar pela elevação de temperatura dos 40 °C para os 60 °C.

Com esta modificação no processo de tingir é necessário analisar todos os programas de modo a obter os caudais de entrada e saída das máquinas nestas novas condições de operação, Anexo E. Tendo como base estes caudais encontraram-se 3 alternativas possíveis para este problema. Assim, aquecer-se-á água até uma temperatura de 37 °C, que será utilizada na lavandaria e na tinturaria, e até os 60 °C que será utilizada na tinturaria.

Durante o processo de tingimento há libertação de algodão que prejudica a operação de transferência de calor. Por esta razão, é necessário a existência de um tamisador antes do(s) tanque(s) de armazenamento.

4.1 Alternativa A

Na Figura 8 apresenta-se um diagrama representativo de uma das alternativas possíveis para o reaproveitamento energético.

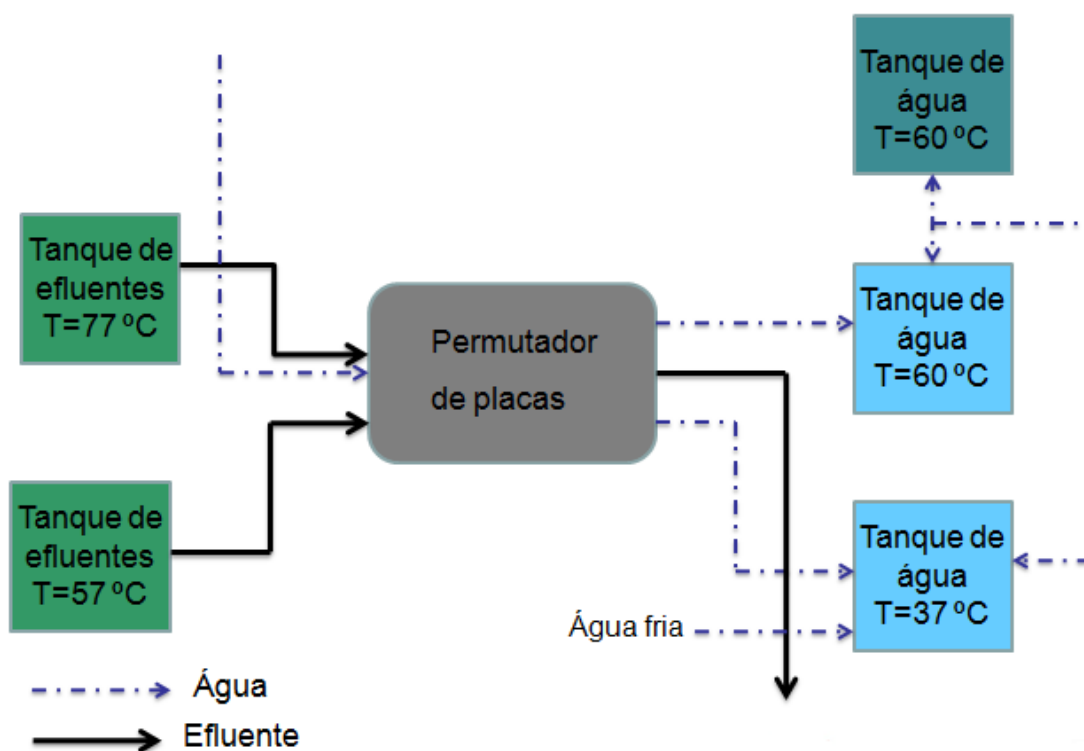


Figura 8- Diagrama representativo da alternativa A.

Esta alternativa consiste na separação e acumulação dos efluentes em dois tanques que estarão a uma temperatura média de 77 °C e de 57 °C. Para o primeiro serão direccionados os efluentes com temperaturas entre os 66 °C e os 90 °C, enquanto que para o segundo, serão direccionados os efluentes que se encontram com temperaturas entre os 50 °C e os 65 °C.

Os efluentes que se encontram a uma temperatura média de 77 °C passarão pelo permutador de placas transferindo calor para a água limpa até esta atingir uma temperatura de 60 °C. Actualmente, existe um tanque situado junto às caldeiras que tem como objectivo aquecer água através do arrefecimento dos condensados provenientes da instalação industrial. Nesta solução considera-se que este tanque poderá aquecer água limpa até à temperatura de 60 °C e estará ligado aos tanques de acumulação de água proveniente do permutador de calor. Quando a água a 60 °C for direccionada para o tanque a 37 °C será necessário adicionar água fria para manter a temperatura desejada dentro do tanque.

Relativamente aos efluentes que se encontram a uma temperatura média de 57 °C, estes são também direccionados para o permutador de calor e aquecerão água até aos 37 °C.

Este processo desenvolver-se-á por turnos ou seja, numa metade do turno passará no permutador de calor o efluente a 77 °C produzindo assim água a 60 °C, enquanto que na outra metade, produzir-se-á água a 37 °C.

4.2 Alternativa B

Na Figura 9 apresenta-se um diagrama representativo da alternativa B.

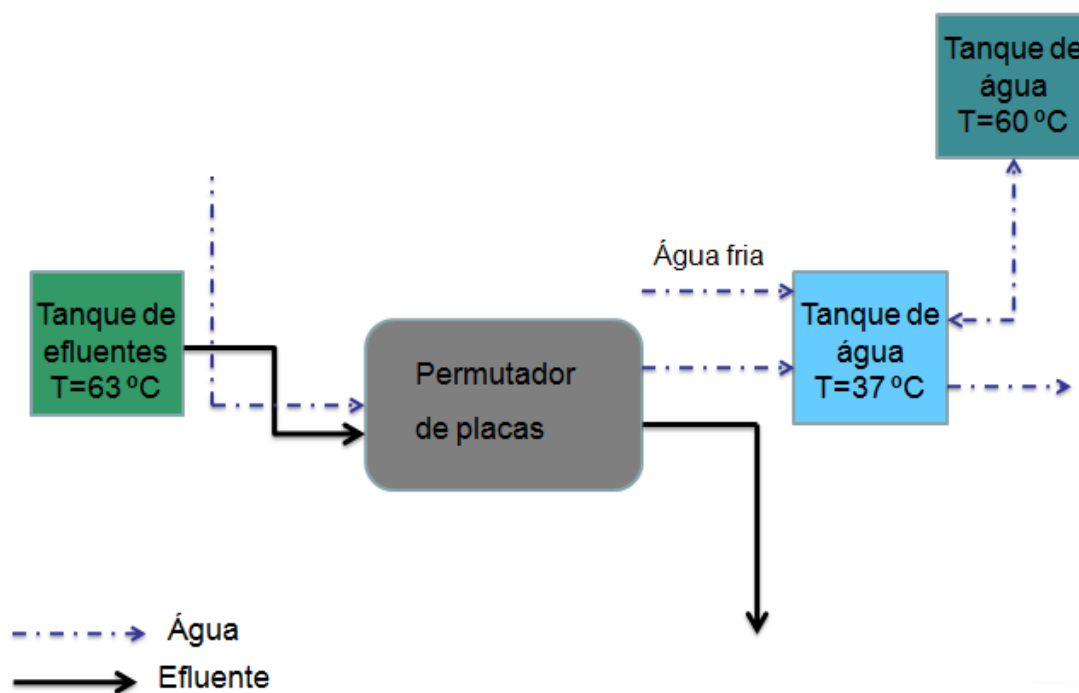


Figura 9- Diagrama representativo da alternativa B.

Esta alternativa consiste em armazenar os efluentes com uma temperatura superior a 50 °C num tanque que terá uma temperatura média de 63 °C. De seguida, este efluente é direccionado para o permutador de calor, onde aquecerá a água até os 37 °C. A elevação de temperatura da corrente de água até os 60 °C será feita através do tanque de água quente, já existente na instalação industrial, por troca de calor com o condensado.

O caudal necessário de água a 60 °C é de aproximadamente 5,3 m³/h e sendo necessário que ocorra um arrefecimento do condensado, poderá ser necessário adicionar-se água a 37 °C neste tanque, de modo que haja sempre troca de calor. Assim o excesso de água a 60 °C será direccionado para o tanque de 37 °C, onde será misturado com água fria ou aumentar-se-á o caudal de água que entra no permutador de calor de forma a que a água à saída deste equipamento não seja de 37 °C mas sim inferior. Assim atingir-se-á a temperatura média do tanque.

4.3 Alternativa C

Na Figura 10 apresenta-se um diagrama representativo de uma terceira alternativa possível para o reaproveitamento energético.

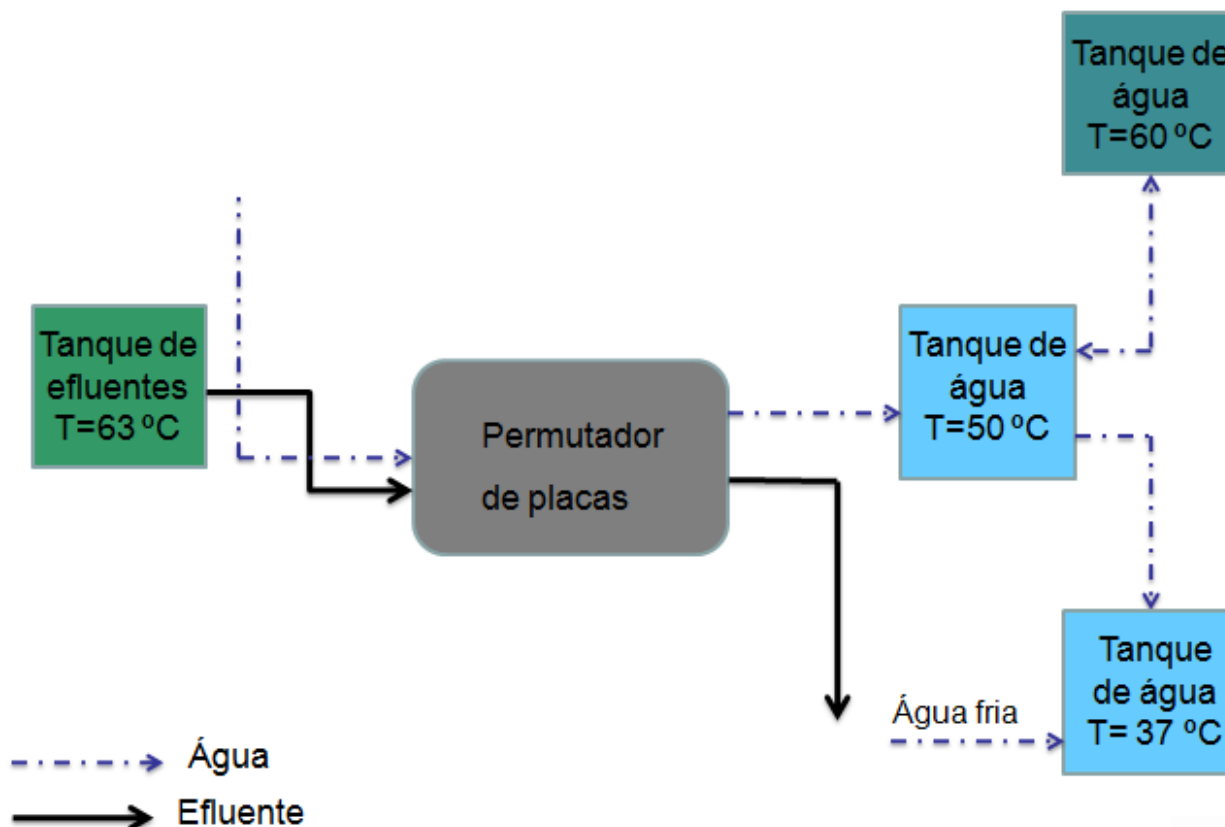


Figura 10- Diagrama representativo da alternativa C.

A solução representada na Figura 10 é bastante parecida com a alternativa B. A diferença reside na troca de calor efectuada no permutador de calor, uma vez que nesta alternativa a água será aquecida até os $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente aquecer-se-á até os $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ no tanque já existente na instalação. Será necessário um novo tanque onde será armazenada água a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ através da adição de água fria. Este tanque tem como objectivo garantir que a água chega às máquinas a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5 Análise das necessidades de água quente

Considerando que as purgas das caldeiras e os efluentes de saída de um turno da tinturaria deveriam conseguir aquecer a água necessária na lavandaria e na tinturaria no turno seguinte, poderá saber-se qual será a alternativa mais adequada no que diz respeito às necessidades de água quente. Nos cálculos efectuados considerou-se a acumulação dentro do tanque de um turno para o outro.

Alternativa A

As Figuras 11,12 e 13 apresentam as necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer utilizando a alternativa A nas semanas de estudo. Os resultados apresentados de seguida não contabilizam o caudal de água que se poderá aquecer através do tanque já existente na instalação.

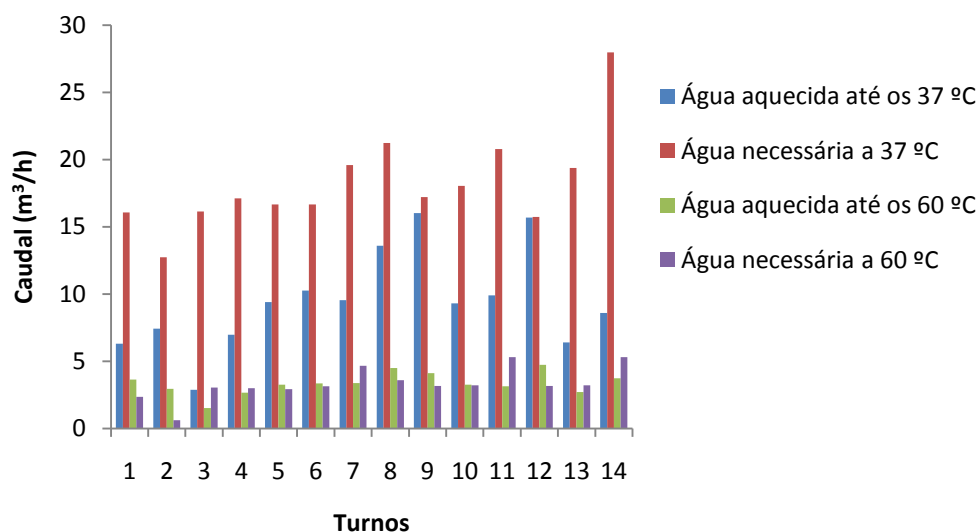


Figura 11- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa A, na semana de 28 de Fevereiro a 4 de Março.

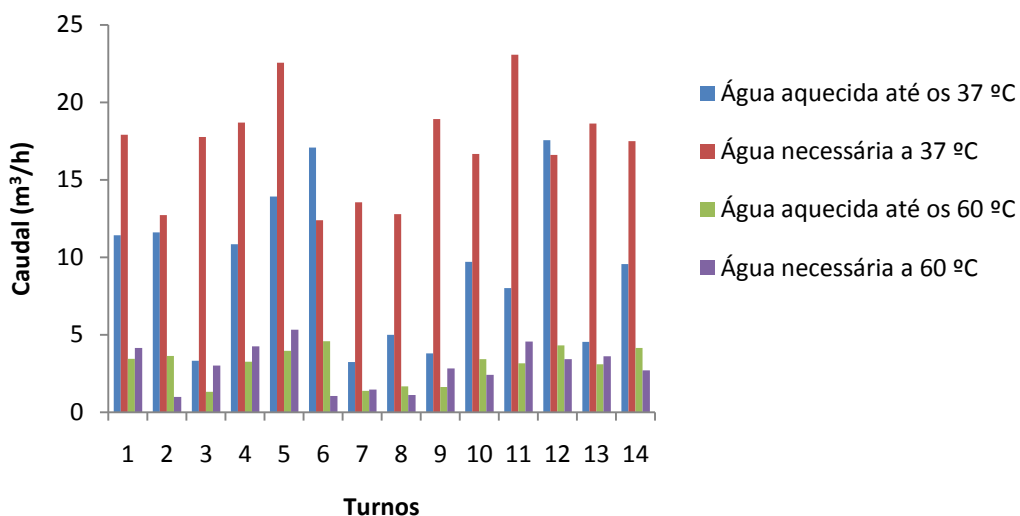


Figura 12- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa A, na semana de 14 a 18 de Março.

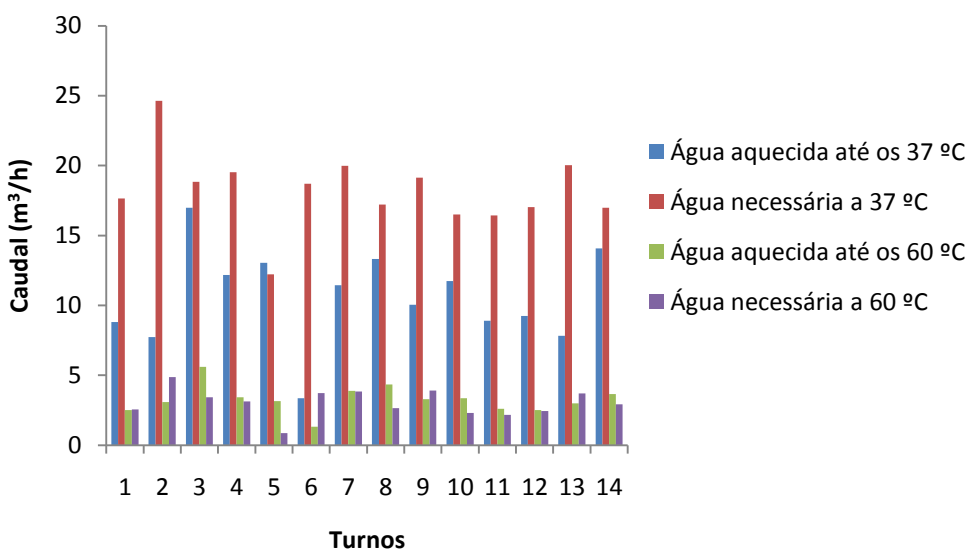


Figura 13- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa A, na semana de 24 a 30 de Março.

Analisando as figuras anteriores verifica-se que as necessidades de água a 60 °C são maioritariamente cumpridas, enquanto que as necessidades de água a 37 °C não são cumpridas em nenhum turno.

Na semana de 28 de Fevereiro a 4 de Março não seria cumprida as necessidades de água a 60 °C num turno e na semana de 14 a 18 de Março não seriam cumpridas em 3 turnos. Por fim, na semana de 24 a 30 de Março as necessidades de água a 60 °C não seriam cumpridas em 2 turnos.

As situações em que não são satisfeitas as necessidades correspondem a 35 GJ (no período de análise).

Alternativa B

Na solução B aquece-se água até uma temperatura de 37 °C através dos efluentes. O posterior aquecimento é efectuado através do condensado até uma temperatura de 60 °C.

Nas Figuras 14,15 e 16 apresentam-se as necessidades da indústria de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa B nas semanas de estudo. Os resultados apresentados de seguida não contabilizam o caudal de água que poderá circular do tanque a 60 °C para o tanque a 37 °C com o objectivo de arrefecer os condensados.

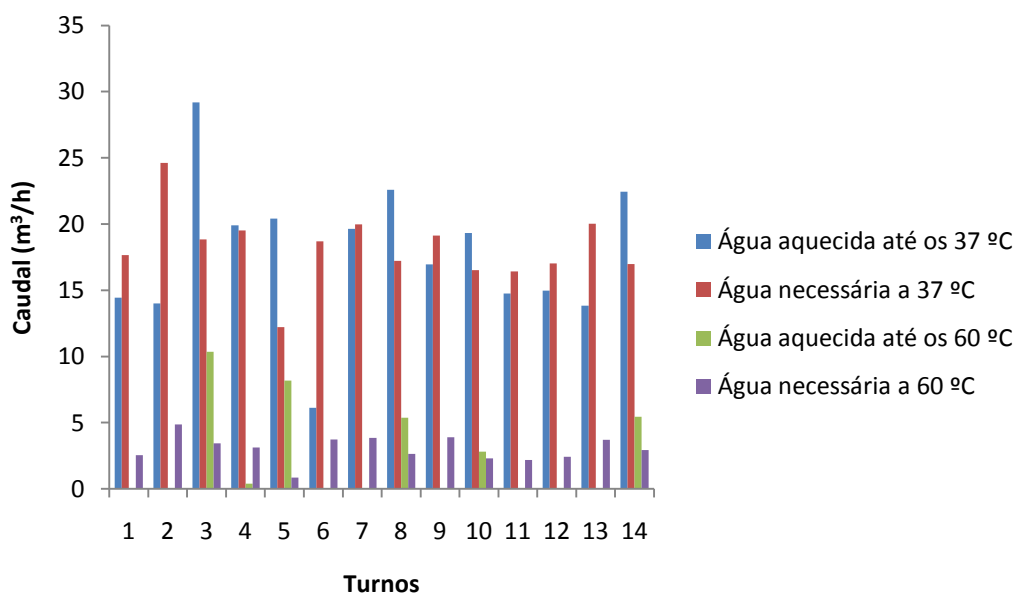


Figura 14- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa B, na semana de 28 de Fevereiro a 4 de Março.

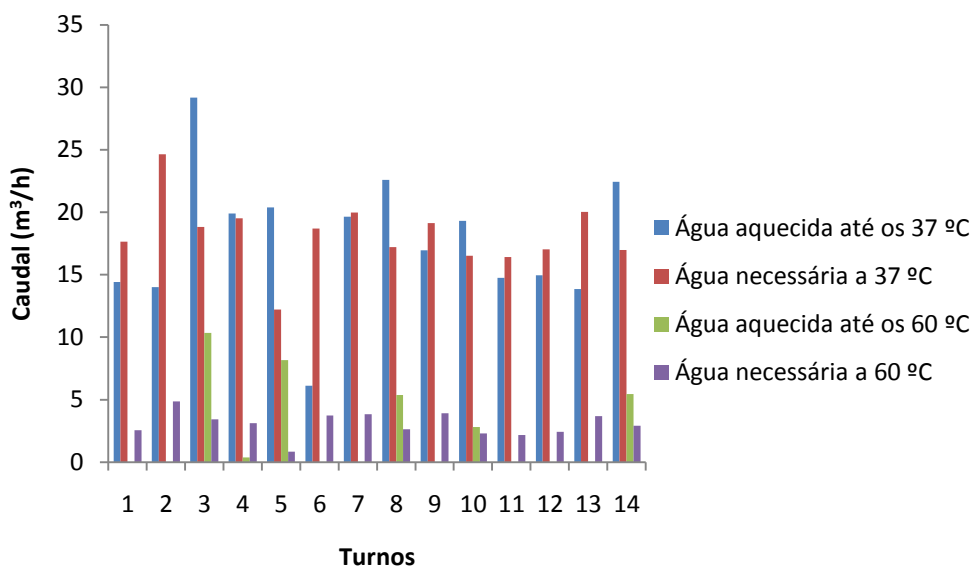


Figura 15- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa B, na semana de 14 a 18 de Março.

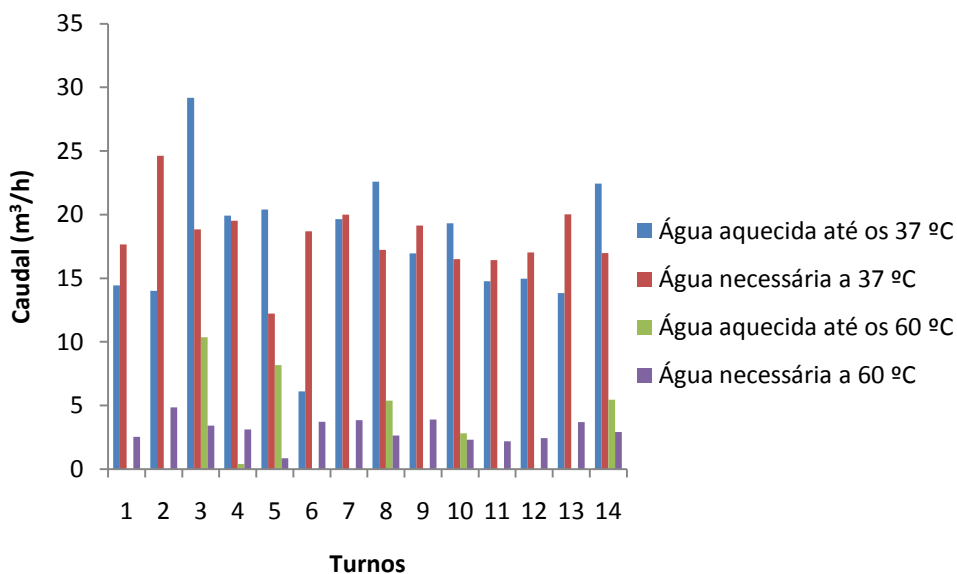


Figura 16- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa B, na semana de 24 a 31 de Março.

Analisando as Figuras 13, 14 e 15 verifica-se que as necessidades de águas não seriam cumpridas em 12 turnos na primeira semana de análise e em 8 turnos nas semanas restantes.

Nesta alternativa seria necessário a existência de mais 17 GJ para se cumprir as necessidades de água quente (no período de análise).

Alternativa C

Nas Figuras 17,18 e 19 apresentam-se as necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa C nas semanas de estudo. Os resultados apresentados de seguida não contabilizam o caudal de água que poderá circular do tanque a 60 °C para o tanque a 37 °C com o objectivo de arrefecer os condensados.

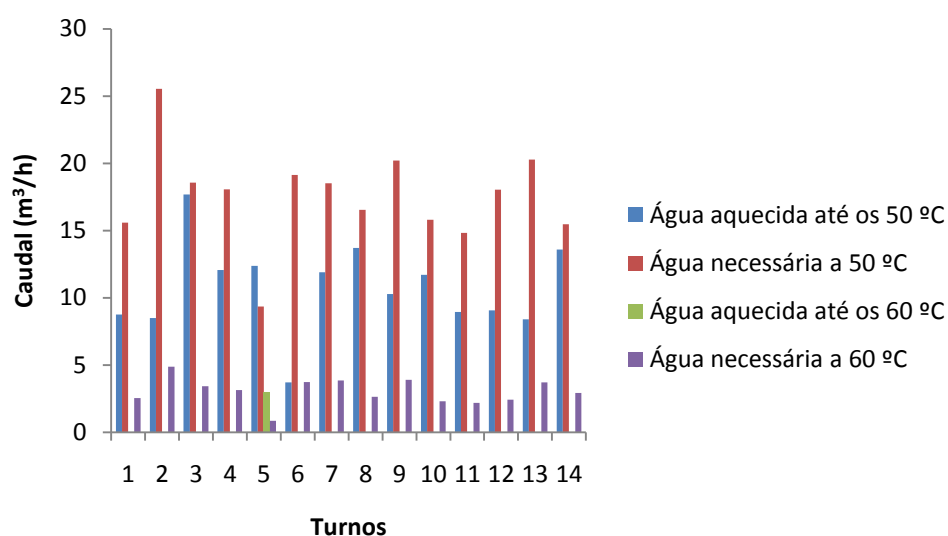


Figura 17- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa C, na semana de 28 de Fevereiro a 4 de Março.

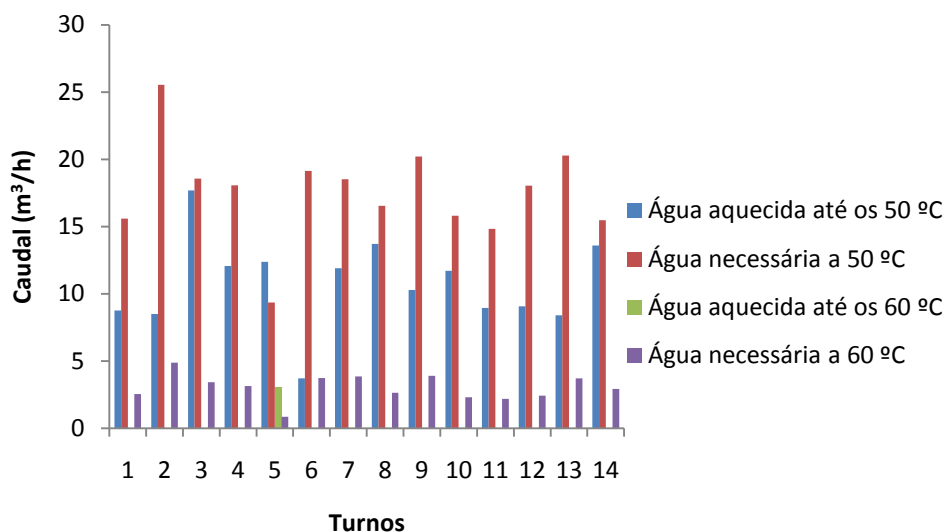


Figura 18- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa C, na semana de 14 a 18 de Março.

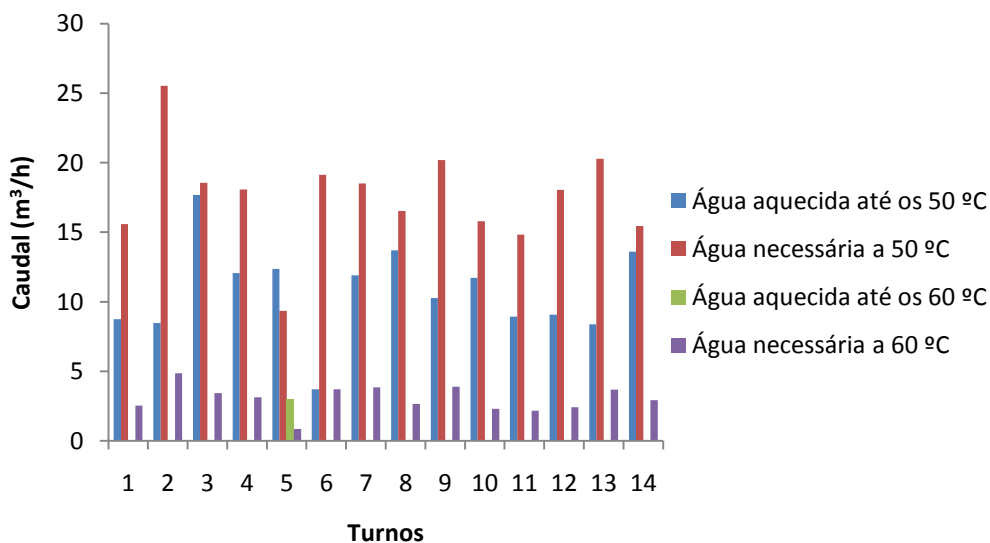


Figura 19- Necessidades de água a 37 °C e a 60 °C e a quantidade de água que se consegue aquecer através da alternativa B, na semana de 24 a 31 de Março.

Analisando as figuras anteriores verifica-se que as necessidades de água quente seriam cumpridas em um turno nas semanas analisadas. Os incumprimentos correspondem a 38 GJ (no período de análise).

A alternativa que melhor cumpre as necessidades de água da empresa é a alternativa B.

6 Selecção de uma alternativa

Na Tabela 6 apresenta-se os equipamentos principais necessários adquirir em cada alternativa.

Tabela 6- Equipamentos principais necessários em cada alternativa.

| Equipamento | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Permutador de placas | 1 | 1 | 1 |
| Tanque de armazenamento | 4 | 2 | 3 |
| Tamisador | 1 | 1 | 1 |

Como se verificou no capítulo anterior, a alternativa B é a que melhor cumpre as necessidades de água quente da indústria e é a que necessita de menor número de equipamentos principais. Por esta razão considerou-se que esta opção é a que mais se adequa à indústria em estudo e será objecto de dimensionamento dos equipamentos.

6.1 Diagrama processual

Para que o processo funcione adequadamente são necessários vários equipamentos auxiliares, nomeadamente de controlo de temperatura e de nível de água nos tanques de armazenamento. Na Figura 20 apresenta-se o diagrama processual da alternativa B onde são apresentados alguns elementos de controlo, centrais de bombagem e os equipamentos principais referidos anteriormente.

Um requisito para que o processo entre em funcionamento é o tanque de armazenamento de efluentes ter um volume mínimo de água, que será de 7,5 m³ (correspondente à acumulação durante 3h do menor caudal obtido nos dias analisados). Caso este nível não seja cumprido, não é necessário a entrada de água limpa no permutador de calor, fechando assim a válvula V2.

Como o objectivo é aquecer água a 37 °C é necessário controlar a entrada de água fria no permutador de calor através da válvula V2. Assim, se a água dentro do tanque estiver a uma temperatura superior a 37 °C, entrará no permutador de calor um caudal superior de água fria do que o que entraria se o tanque se encontra-se a 37 °C, e que por consequência sairá a uma temperatura inferior a 37 °C. Após a mistura destas duas correntes o tanque permanecerá com a temperatura desejada.

Se o tanque de acumulação de água a 37 °C estiver a 90% da sua capacidade, a válvula V2 não permite a passagem de água fria. Por outro lado, se o tanque estiver a 5% da sua capacidade total direcciona-se água fria para este tanque através da válvula V5. Nesta situação a água enviada para as máquinas de lavar e tingir não estará à temperatura esperada, sendo necessário injectar vapor na própria máquina para elevar a temperatura.

A água a 37 °C só será enviada para o tanque de 60 °C quando este estiver abaixo de 60% da sua capacidade, mas nunca ultrapassando os 85%, sendo regulada através da válvula V3. Se a água que se encontrar neste tanque já estiver a 60 °C é necessário enviar água para o tanque de 37 °C de forma a garantir que os condensados provenientes da instalação industrial estão sempre a ser arrefecidos até uma temperatura média de 80 °C. O responsável deste sistema é a válvula V4, que controla o caudal de saída do tanque a 60 °C para o de 37 °C mediante a temperatura da água que está no tanque já existente.

6.2 Arranque da instalação e situações extremas

A lavandaria e a tinturaria trabalham 24 h por dia, durante 5 dias por semana, sendo efectuada a paragem ao fim de semana. No início de sábado (quando acaba o último turno da semana), o tanque de armazenamento terá os efluentes derivados dos últimos tingimentos. Estes serão direccionados para o permutador de calor de forma a aquecer a máxima quantidade de água até os 37 °C e daí são enviados para o tanque a 60 °C atingindo assim o nível máximo de água neste tanque.

Sabe-se que, actualmente, a água que fica armazenada neste tanque durante o fim-de-semana atinge uma temperatura de 60 °C. Este facto acontece porque os secadores são os

últimos equipamentos a deixarem de funcionar, o que faz com que não haja gasto de água e que os condensados troquem calor no tanque.

Assim à segunda, quando a instalação arrancar existirá água a 60 °C no tanque onde os condensados passam e existirá água morna no tanque de 37 °C. A água deste último tanque já não estará a 37 °C, mas sim com menos alguns graus devido as perdas caloríficas durante o fim-de-semana. Uma vez que as necessidades de água a 60 °C são pequenas comparadas com as necessidades de água a 37 °C, será direccionado água a 60 °C para o tanque a 37 °C e misturado com água fria. Assim obter-se-á quantidades de água a 37 °C e a 60 °C para o arranque da indústria até a tinturaria descarregar efluentes com temperaturas superiores a 50 °C. Em casos extremos, em que não é possível aquecer a totalidade da água necessária através da alternativa B direcciona-se água fria para o tanque de armazenamento a 37 °C e o aquecimento da água é efectuado na máquina injectando vapor directo.

6.3 Dimensionamento dos equipamentos

Todos os equipamentos devem ser bem isolados para minimizar as perdas caloríficas. Para o dimensionamento dos equipamentos utilizou-se o maior caudal de efluentes por turno nos dias de análise da tinturaria (15 m³/h).

Considerando-se que o tempo de residência dentro do tanque de efluentes e de água para os processos seria de 3 h, estes devem ter 60 m³ e 100 m³, respectivamente. Estes valores foram sobredimensionados 29% relativamente ao tanque de efluentes e 42% relativamente ao tanque de água quente.

No Anexo F apresenta-se a metodologia de dimensionamento de permutadores de calor de placas (Towler,2008) e na Tabela 7 apresenta-se os resultados obtidos. Considerou-se que cada placa teria uma área de aproximadamente 0,71 m², que o espaçamento entre elas seria de 0,003 m e que o caudal de efluentes seria de 15 m³/h.

Tabela 7- Resultados obtidos através do dimensionamento do permutador de calor.

| | |
|--|------|
| Área (m ²) | 9,2 |
| Número de placas | 57 |
| U(W m ⁻² K ⁻¹) | 1241 |
| Queda de pressão _{efluente} (bar) | 0,01 |
| Queda de pressão _{água} (bar) | 0,04 |

Também se fez a validação do dimensionamento deste equipamento através da aplicação informática da AspenTech (Exchanger Design and Rating) e na Figura 21 apresenta-se os resultados obtidos.

| Design (given plate) | | Hot Side | | Cold Side | | |
|---------------------------------|----------|---------------|------------------------|------------------|---------|----|
| Total mass flow rate | kg/s | 3,8906 | | 7,9693 | | |
| Vapor mass flow rate (In/Out) | kg/s | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Liquid mass flow rate | kg/s | 3,8906 | 3,8906 | 7,9693 | 7,9693 | |
| Vapor mass quality | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Temperatures | °C | 63 | 22 | 17 | 37 | |
| Pressure | bar | 1,01325 | 0,97285 | 1,01325 | 0,85594 | |
| Heat transfer coeff. (mean) | W/(m² K) | 6151 | | 3550 | | |
| Fouling resistance | m² K/W | 0 | | 0 | | |
| Velocity (Port/Plate) | m/s | 0,38 | / 0,09 | 0,77 | / 0,19 | |
| Wall shear stress (mean) | N/m² | 4,68 | | 18,18 | | |
| Pressure drop (allow./calc.) | bar | 0,05 / 0,0404 | | 0,16 / 0,15731 | | |
| Residence volume | m³ | 0,0678 | | 0,0678 | | |
| Residence time | Seconds | 17,27 | | 8,48 | | |
| Total heat exchanged | kW | 668 | Exchangers | 1 | Plates | 51 |
| Overall coef. (dirty/clean) | W/(m² K) | 2073 / 2073 | Passes - hot / cold | 1 / 1 | | |
| Effective surface area | m² | 34,8 | Channels - hot / cold | 25 / 25 | | |
| Effective MTD | °C | 12,74 | Plate - length / width | 1677,67 / 435,86 | mm | |
| Actual/Reqd. area (dirty/clean) | | 1,37 / 1,37 | Plate - pitch / thk | 4,43 / 0,6 | mm | |
| Risk of maldistribution | | No | Port diameter | 115,06 | mm | |
| | | | Chevron angle | 30 | Degrees | |

Figura 21- Dimensionamento do permutador de placas através da aplicação informática AspenTech.

Comparando os resultados obtidos através da metodologia de dimensionamento do permutador de calor de placas e através da aplicação informática verifica-se que o número de placas necessário dá concordante.

7 Análise de investimento

Nesta secção pretende avaliar-se a viabilidade económica da alternativa B. Esta análise encontra-se dividida em custos de investimento, benefícios da implementação do projecto e análise de rentabilidade.

7.1 Custos de investimento

Na Tabela 8 apresenta-se o custo de aquisição dos equipamentos. Para obtenção destes dados foram contactados vários fornecedores, optando-se pelo que apresentava menor custo.

Tabela 8- Custo de aquisição dos equipamento obtidos contactando vários fornecedores.

| Equipamento | Preço (€) |
|--|-----------|
| Tanque de armazenamento de efluentes + obras na instalação | 30000 |
| Tanque de armazenamento de água a 37 °C | 50000 |
| Permutador de calor | 2774 |
| Tamisador | 11000 |
| Material de inox | 30000 |
| Sistemas de controlo | 20000 |
| Alteração da aplicação informática de programação das máquinas | 10000 |
| Centrais de bombagem | 20000 |

Actualmente a instalação industrial tem um canal para onde são enviados os efluentes e com a implementação deste projecto é necessário criar um outro canal, isolado, para onde só irão os efluentes com uma temperatura superior a 50 °C. Este canal deverá ter uma maior cota na zona mais afastada do tanque de armazenamento e ir diminuindo gradualmente, para garantir que o escoamento dos efluentes é feito por gravidade. O tanque de armazenamento de efluentes terá de ser assim construído abaixo do nível da terra. Como se irá aproveitar as purgas das caldeiras é necessário fazer uma ligação das caldeiras para o tanque de

armazenamento de efluentes. As alterações referidas anteriormente representam a primeira parcela apresentada na Tabela 8.

O facto de se construir um novo canal de efluentes obriga a uma alteração na aplicação informática dos programa das máquinas de tingir, uma vez que terá de existir um sensor de temperatura em cada máquina que fará o efluente ir para o canal já existente ou para o outro, conforme a temperatura a que se encontre.

O tanque de armazenamento de água a 37 °C será feito de inox e com isolamento em poliuretano (Anexo G).

Na instalação actual existe uma linha de água quente e uma de água fria que circula em anel e será necessário criar uma nova linha de água. Esta linha será usada para a água a 60 °C e as já existentes ficam para a água a 37 °C e para a água fria, respectivamente. Este facto representa uma grande parte da parcela do custo do material de inox apresentado na Tabela 8.

No que diz respeito às centrais de bombagem apenas vai ser necessário comprar duas centrais de bombagem, a B1 e a B4, as restantes já existem na instalação industrial.

No Anexo H apresenta-se as características do permutador de calor mais adequado para este projecto fornecido por uma empresa de projecto e construção de permutadores de calor. Analisando as características verifica-se que o número de placas deste permutador é concordante com o resultado obtido no dimensionamento feito anteriormente.

Para além dos custos apresentados existem também custos associados à mão de obra. Considerou-se que será necessário 5 empregados, durante um mês, que ganharão 18 €/h o que se traduz num custo de 15840 €. Assim o custo total de investimento será de aproximadamente 209000 €, considerando um coeficiente de segurança de 10%.

Contudo este valor é uma aproximação do custo total de investimento. Foi pedido um orçamento a uma empresa de engenharia que actua no ramo, por forma a validar o valor obtido. A construção do tanque de armazenamento de efluentes e as obras que serão necessárias na instalação industrial não estão complementadas no orçamento fornecido. O valor apresentado por esta empresa foi de 220000 € e considerando que as obras e a construção do tanque custam 30000 €, o custo total de investimento será de 250000€.

7.2 Benefícios de implementação do projecto

Um dos principais benefícios deste projecto é a diminuição do consumo de gás natural. Analisando as facturas de gás natural de um ano verificou-se que o valor médio pago é de 47673 €/mês.

Não existem contadores de vapor à saída da caldeira e portanto não se conhece quais são os consumos de gás em cada secção da indústria. Na Figura 22 apresenta-se uma estimativa destes consumos.

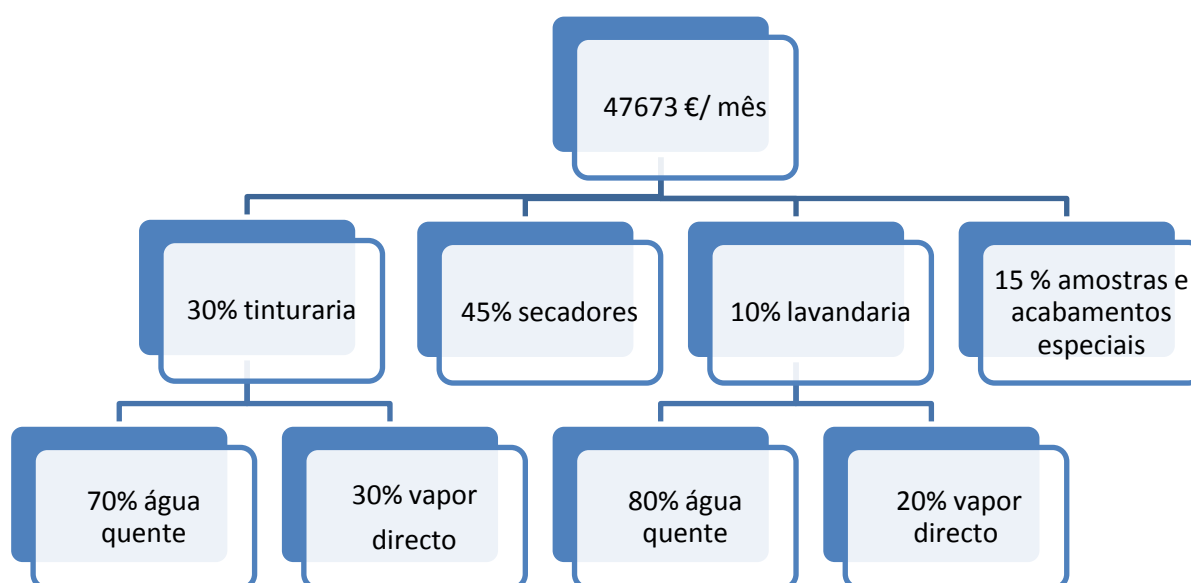


Figura 22- Estimativa dos consumos de gás em cada secção.

Com a implementação deste projecto a água quente será aquecida através dos efluentes, não sendo assim necessário a queima de gás natural, e começará a entrar água a 60 °C nas máquinas de tingir, o que provoca uma diminuição do consumo de vapor directo. Também não são conhecidos quais serão os consumos de vapor com a implementação do projecto, por esta razão será considerada 3 situações possíveis:

- Situação 1: Aquecimento de 50% de água quente usada na tinturaria e na lavandaria através da permuta com os efluentes e uma redução de 30% para 25% na utilização de vapor directo na tinturaria;

- Situação 2: Aquecimento de 75% de água quente através do projecto e uma redução de 8% na utilização de vapor directo na tinturaria;
- Situação 3: Aquecimento de 100% de água quente necessária através da permuta com os efluentes e uma redução de 10% na utilização de vapor directo na tinturaria.

Na Tabela 9 apresenta-se a poupança de gás natural por mês em cada situação apresentada anteriormente.

Tabela 9- Poupança de gás natural em 3 situações possíveis.

| Situação | Poupança (€/mês) |
|----------|------------------|
| 1 | 7127 |
| 2 | 10712 |
| 3 | 14254 |

7.3 Análise de rentabilidade

A análise de rentabilidade implica o cálculo do Valor Actual Líquido (VAL), da Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e do tempo de retorno do investimento. Nos cálculos seguintes considerou-se que os equipamentos do projecto tem um tempo de vida útil de 8 anos, uma taxa mínima de rentabilidade de 12% e uma taxa de imposto de 30%.

Na Tabela 10 apresenta-se a VAL, a TIR e o tempo de retorno do investimento nas três situações possíveis de poupança para o orçamento obtido contactando vários fornecedores.

Tabela 10- Valor Actual Líquido, Taxa Interna de Rentabilidade e tempo de retorno do investimento nas três soluções possíveis de poupança para o orçamento obtido contactando vários fornecedores.

| Situação | VAL (€) | TIR (%) | Tempo de retorno (ano) |
|----------|---------|---------|------------------------|
| 1 | 180837 | 34 | 3,4 |
| 2 | 368900 | 54 | 2,2 |
| 3 | 554707 | 73 | 1,6 |

Analisando a tabela anterior verifica-se que o projecto será um bom investimento, na situação 2 e 3, uma vez que o tempo de retorno não é superior a 3 anos.

Na Tabela 11 apresenta-se a análise de rentabilidade para as três situações consideradas de poupança para o investimento total de acordo com o orçamento proposto pela empresa de engenharia.

Tabela 11- Valor Actual Líquido, Taxa Interna de Rentabilidade e tempo de retorno do investimento nas três soluções possíveis de acordo com o orçamento proposto pela empresa de engenharia.

| Situação | VAL (€) | TIR (%) | Tempo de retorno (ano) |
|----------|---------|---------|------------------------|
| 1 | 142499 | 27 | 4,23 |
| 2 | 330562 | 44 | 3,6 |
| 3 | 516369 | 60 | 1,9 |

Analisando a tabela anterior verifica-se que apenas na situação 3 o projecto terá um tempo de retorno menor de 3 anos.

7.4 Análise de sensibilidade

O benefício deste projecto reside na poupança de gás natural e por esta razão fez-se uma análise de sensibilidade considerando que o preço do gás natural aumenta 10%. Na Tabela 12 apresenta-se os valores obtidos através da análise de rentabilidade nestas novas condições considerando que o custo de investimento será de 250000 €.

Tabela 12- Valor Actual Líquido, Taxa Interna de Rentabilidade e tempo de retorno do investimento nas três soluções possíveis de poupança para o investimento total de acordo com o orçamento proposto pela empresa de engenharia

| Situação | VAL (€) | TIR (%) | Tempo de retorno (ano) |
|----------|---------|---------|------------------------|
| 1 | 179886 | 31 | 3,8 |
| 2 | 386755 | 49 | 2,4 |
| 3 | 591143 | 67 | 1,7 |

Analisando a Tabela 12 verifica-se que o tempo de retorno diminuiu, relativamente à Tabela 11, uma vez que a poupança aumentou. Se existir uma subida de 10% no preço de gás natural, a situação 2 passa a ser também rentável.

8 Conclusões

Da análise de 2 semanas de funcionamento da lavandaria verificou-se que o caudal médio de água que entra nas máquinas a 17 °C e a 37 °C é de 19 m³/h e 10 m³/h, respectivamente. No que diz respeito aos caudais de efluentes, com temperaturas na gama entre os 17 °C e os 37 °C corresponde um caudal de 20 m³/h, na gama entre os 37 °C e os 60 °C, corresponde um caudal de 7 m³/h e por fim, com temperaturas superiores a 60 °C corresponde um caudal de 0,2 m³/h.

Relativamente à tinturaria verificou-se que os caudais tanto de entrada como de saída das máquinas são bastante variáveis, dependendo do tipo de tingimento que se faz e do tipo de tecido. Analisando os dados obtidos em 3 semanas verificou-se que a menor necessidade neste sector seria de água a 60 °C em que o maior caudal verificado foi de 5,3 m³/h.

Com base nos resultados anteriores conclui-se ser adequado o reaproveitamento dos efluentes quentes da tinturaria com uma temperatura superior a 50 °C, sendo os restantes direccionados para a estação de tratamento de águas residuais. Estes efluentes permitem aquecer água limpa para a lavandaria e para a tinturaria até uma temperatura de 37 °C e indirectamente até 60 °C. Estas são as temperaturas mais adequadas a este tipo de indústria porque a lavandaria necessita de água morna para que a roupa fique como o desejado e os tingimentos são realizados com temperaturas superiores a 60 °C.

Através destes factos conclui-se que a alternativa que melhor cumpre as necessidades de água na empresa é a alternativa B, que consiste na acumulação dos efluentes num tanque que depois serão direccionados para o permutador aquecendo a água até os 37 °C. A elevação desta temperatura até os 60 °C é feita através da passagem dos condensados num tanque já existente.

Assim a empresa diminui a quantidade de vapor que é injectado nas máquinas de tingir uma vez que a água entrará com uma temperatura superior (60 °C) da que entra actualmente (45 °C) e também não necessita de utilizar vapor para aquecer a água. Uma diminuição do consumo de vapor traduz-se numa diminuição do consumo de gás natural.

O investimento deste projecto será de 250000 €. Face ao desconhecimento dos consumos de vapor em cada secção consideram-se 3 situações (aquecimento de 50%, 75% e 100% das necessidades de água quente através da permuta com os efluentes e uma redução de 5%, 8% e 10% na utilização de vapor directo na tinturaria nas situações 1, 2 e 3, respectivamente) de poupança de gás natural. Os tempos de retorno seriam de 4,2 anos, 3,6 anos e 1,9 anos,

respectivamente. Se o preço do gás natural aumentar 10%, os tempos de retorno para as 3 situações passam a ser de 3,8 anos, 2,4 anos, e 1,7 anos.

9 Avaliação do trabalho realizado

9.1 Objectivos Realizados

Um dos objectivos deste trabalho era a caracterização dos efluentes em termos energéticos e esta tarefa foi realizada na totalidade através da análise de algumas semanas de produção.

No que diz respeito ao desenvolvimento de alternativas energeticamente eficientes para estes efluentes foram propostas 3 alternativas, em que através de cálculo da quantidade de água que se conseguiria aquecer e através do custo de investimento escolheu-se a alternativa mais adequada a esta indústria. Assim sendo, este objectivo foi totalmente cumprido.

9.2 Outros Trabalhos Realizados

Para além dos objectivos do trabalho também foi realizado uma verificação dos programas da tinturaria de forma a optimizá-los, relativamente às temperaturas de entrada de águas.

9.3 Limitações e Trabalho Futuro

No dimensionamento do equipamento utilizou-se o maior caudal presente nas três semanas de análise. Se a tinturaria funcionar em pleno, o permutador de calor e os tanques de armazenamento podem não ser os suficientes para o caudal verificado nesta situação.

Por outro lado, se a tinturaria estiver a funcionar com pouca carga, os efluentes provenientes das máquinas podem não ser suficientes para superar o nível mínimo de efluentes no tanque de armazenamento, não começando assim a funcionar o processo apresentado neste trabalho.

As condições operatórias apresentadas anteriormente advêm do facto de a produção na tinturaria ser variável, tentando-se com este projecto cumprir as necessidades de água quente utilizando uma gama de caudais mais frequentes nesta instalação.

Um trabalho futuro que poderá ser realizado é a construção de um tanque de armazenamento e homogeneização de efluentes com controlo de pH posteriormente ao permutador de calor. Este tanque é obrigatório na legislação em vigor, podendo não ser cumprida quando a estação de tratamento de águas residuais se responsabiliza por este facto.

Um outro projecto que poderia ser realizado era a utilização de um tanque de armazenamento para onde só iriam os efluentes das lavagens das máquinas, uma vez que

estes efluentes encontram-se em bom estado. Posteriormente passariam pelo permutador de calor e entrariam novamente nas máquinas, assim gastar-se-ia menos água.

9.4 Apreciação final

Na minha opinião os objectivos do projecto foram cumpridos, atendendo sempre às necessidades da empresa o que provoca uma grande satisfação da estudante.

Durante a procura da melhor alternativa teve-se sempre em conta o espaço livre, os recursos já existentes e o modo de funcionamento da indústria, de forma a minimizar o número de obras e de aquisição de equipamentos.

10 Referências

- Associação Têxtil e Vestuário de Portugal, www.atp.pt acessido em 25 de Fevereiro de 2011.
- Elahee, K, *Heat recovery in the textile dyeing and finishing industry: lessons from developing economies*, Journal of Energy in Southern Africa, Vol 21, August 2010.
- Filcor-Tinturaria e Acabamentos Têxteis, www.filcor.net acessido a 1 de Março de 2011.
- Irmãos Vila Nova, www.ivn.pt/, acessido em 25 de Fevereiro de 2011.
- Oliveira,A.,Gonçalves, R., *Auditoria energética- Irmãos Vila Nova II-Indústria de confecções*, S.A, Ramalhão, Fevereiro de 2009.
- Towler, G.,Sinnott,R., *Chemical Engineering Design-Principles, practice and economics of plant and process design*, Elsevier, 2008.

Anexo A Características químicas dos efluentes

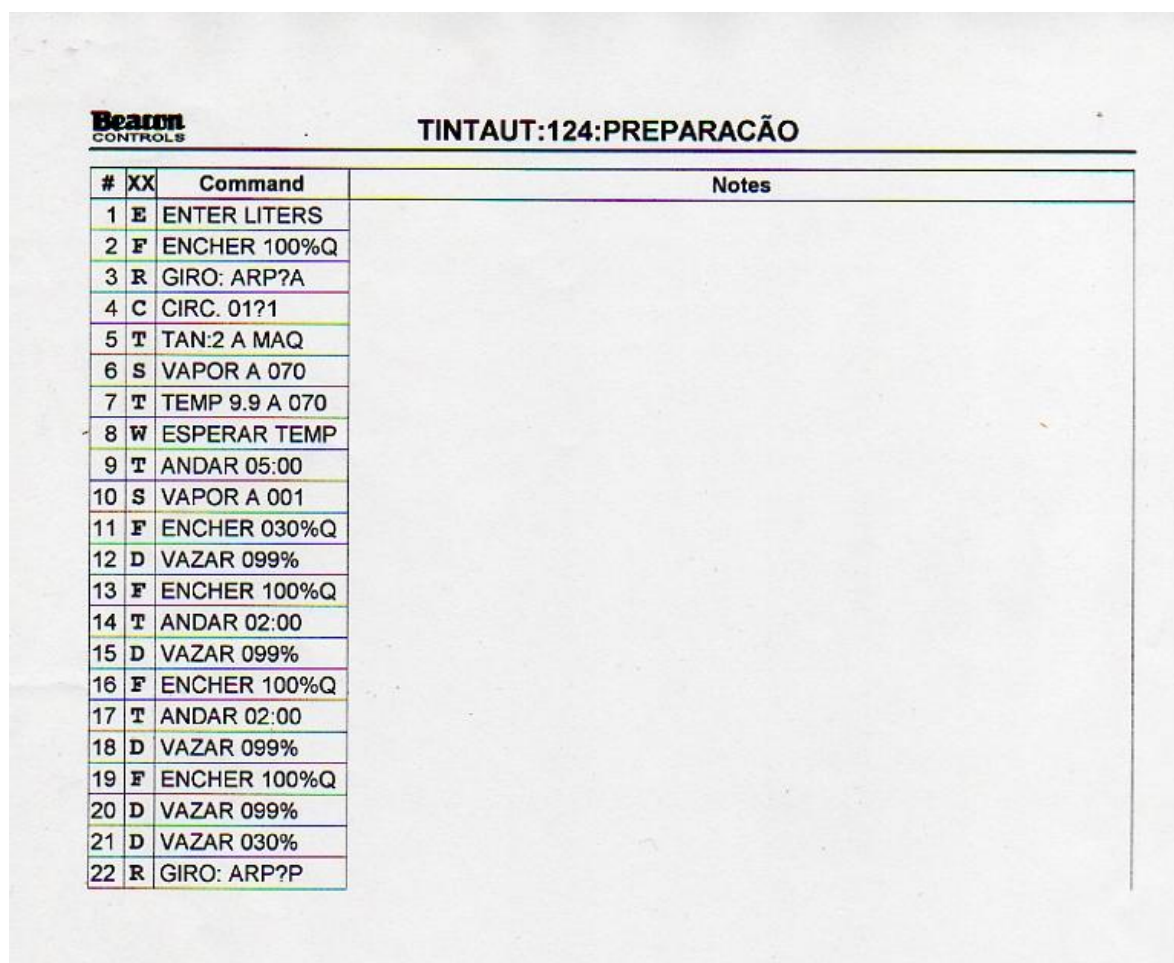
Na Tabela A.1 apresenta-se as características químicas dos efluentes e o valor máximo admitido.

Tabela A.1- Caracterização química do efluente enviado para o esgoto.

| Parâmetros | Expressão dos resultados | Valor máximo | Valor |
|---------------------------------|--------------------------|--------------|----------|
| CBO ₅ | mg/L O ₂ | 500 | 25 |
| CQO | mg/L O ₂ | 1000 | 161 |
| SST | mg/L | 1000 | 22 |
| Condutividade | µS/cm | 3000 | 720 |
| Cloretos totais | mg/L Cl | 1500 | 13 |
| Boro | mg/L B | 1,0 | <0,2 |
| Arsénio total | mg/L As | 0,05 | <0,001 |
| Chumbo total | mg/L Pb | 0,05 | 0,004 |
| Cianetos totais | mg/L CN | 1,0 | 1 |
| Cobre total | mg/L Cu | 1,0 | <0,2 |
| Crómio | | | |
| • Hexavalente | mg/L Cr (VI) | 2,0 | <0,08 |
| • Trivalente | mg/L Cr (III) | 2,0 | 0,008 |
| Ferro total | mg/L Fe | 2,5 | <0,01 |
| Níquel total | mg/L Ni | 2,0 | <0,0005 |
| Selénio total | mg/L Se | 0,05 | 0,01 |
| Zinco total | mg/L Zn | 5,0 | <0,00082 |
| Hidrocarbonetos totais | mg/L | 50 | 11 |
| Cloro residual disponível total | mg/L CL ₂ | 1,0 | <0,1 |
| Sulfuretos | mg/L S | 2,0 | <0,01 |
| Azoto amoníacal | mg/L NH ₄ | 100 | <0,08 |
| Nitritos | mg/L NO ₂ | 10 | <0,006 |
| Detergentes (lauril-sulfato) | mg/L | 50 | <0,05 |

Anexo B Programa da lavandaria/tinturaria

As máquinas da lavandaria e da tinturaria funcionam através programas que variam conforme o tipo de roupa. Na Figura B.1 apresenta-se um exemplo de um programa.



| # | XX | Command | Notes |
|----|----|----------------|-------|
| 1 | E | ENTER LITERS | |
| 2 | F | ENCHER 100%Q | |
| 3 | R | GIRO: ARP?A | |
| 4 | C | CIRC. 01?1 | |
| 5 | T | TAN:2 A MAQ | |
| 6 | S | VAPOR A 070 | |
| 7 | T | TEMP 9.9 A 070 | |
| 8 | W | ESPERAR TEMP | |
| 9 | T | ANDAR 05:00 | |
| 10 | S | VAPOR A 001 | |
| 11 | F | ENCHER 030%Q | |
| 12 | D | VAZAR 099% | |
| 13 | F | ENCHER 100%Q | |
| 14 | T | ANDAR 02:00 | |
| 15 | D | VAZAR 099% | |
| 16 | F | ENCHER 100%Q | |
| 17 | T | ANDAR 02:00 | |
| 18 | D | VAZAR 099% | |
| 19 | F | ENCHER 100%Q | |
| 20 | D | VAZAR 099% | |
| 21 | D | VAZAR 030% | |
| 22 | R | GIRO: ARP?P | |

Figura B.1- Exemplo de um programa para a preparação do tingimento.

No início da Figura B.1 aparece o número do programa, neste caso 124 e para qual é a finalidade. No que diz respeito aos comandos, sempre que aparece a linha de código “ encher 100%Q” significa que vai entrar uma quantidade de água, a uma temperatura de aproximadamente 41 °C, que corresponde a dez vezes mais do peso da roupa da partida. Quando aparece “encher 030%Q” significa que só entra 30% desse volume inicial. A letra Q significa que a água entra a 41°C, a letra M que entra a 37 °C e a letra F significa que a água

entra a 17°C. Por vezes, durante o processo é necessário aumentar a temperatura dentro da máquina, sendo injectado vapor ou é utilizado a serpentina de aquecimento que se situa na parte detrás da máquina. Esta situação acontece quando no programa aparece “vapor a 070” e neste caso o vapor está a entrar com a finalidade de atingir a temperatura de 70 °C. A água sai da máquina sempre que no programa aparece a linha de código “vazar 099%”, e o número que aparece é a percentagem de água que vai ser descarregada.

Anexo C Balanço mássico e energético

A análise de cada programa, tanto na lavandaria como na tinturaria, consiste em balanços mássicos e energéticos. Na Figura C.1 apresenta-se uma folha de Excel que representa a análise de um programa.

| | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------------|------------------------------|--|--------------|---------|---------|---------|-------|
| Peso (Kg) | 100 | | | | | | | | |
| Volume (L) | 1000 | | | | | | | | |
| Posição | Quantidade | Temperatura (°C) | Elevação de Temperatura (°C) | | | | | | |
| entrada | 700 | 17 | | | | T=17 °C | T=37 °C | T=50 °C | Total |
| saída | 693 | 17 | | | Entradas (L) | 3700 | 3000 | | 6700 |
| maq | 7 | 17 | | | Saídas (L) | 3693 | 2000 | 997 | 6690 |
| entrada | 1000 | 37 | | | | | | | |
| maq | 1007 | 37 | 50 | | | | | | |
| saída | 997 | 50 | | | | | | | |
| maq | 10 | 50 | | | | | | | |
| entrada | 1000 | 17 | | | | | | | |
| maq | 1010 | 17 | | | | | | | |
| saída | 1000 | 17 | | | | | | | |
| maq | 10 | 17 | | | | | | | |
| entrada | 1000 | 37 | | | | | | | |
| maq | 1010 | 37 | | | | | | | |
| saída | 1000 | 37 | | | | | | | |
| maq | 10 | 37 | | | | | | | |
| entrada | 1000 | 17 | | | | | | | |
| maq | 1010 | 17 | | | | | | | |
| saída | 1000 | 17 | | | | | | | |
| maq | 10 | 17 | | | | | | | |
| entrada | 1000 | 17 | | | | | | | |
| maq | 1010 | 17 | | | | | | | |
| saída | 1000 | 17 | | | | | | | |

Figura C.1- Exemplo da análise de um programa (balanço mássico e energético).

O volume inicial de água a entrar na máquina é de 10:1 relativamente ao peso da roupa de cada partida. A primeira coluna mostra em que posição a água se encontra, ou seja se está a entrar, a sair ou se está efectivamente dentro da máquina enquanto a quarta representa as elevações de temperatura devidas à injeção de vapor. O quadro que se encontra ao lado diz respeito aos caudais que entram e que saem de cada máquina com a respectiva temperatura.

Anexo D Quantificação dos efluentes da tinturaria

Na Figura D.1 apresenta-se a quantificação dos efluentes nas condições actuais de funcionamento. No que diz respeito aos caudais de saída, estes foram analisados segundo intervalos de temperatura (17 °C-50 °C, 50 °C-65 °C, 65 °C-90 °C).

| | | Dia 28 de Fevereiro | | | | | Dia 1 de Março | | | | |
|---------------|--|---------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|--------|-------|-------|-------|
| | | 1º Turno | | | | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 7818 | 11046 | 2064 | | | 11248 | 9715 | 4681 | | |
| Saídas (L/h) | | | 16317 | | 3525 | 2714 | | 14697 | | 3843 | 1673 |
| | | 2º Turno | | | | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 7518 | 11382 | 3022 | | | 10937 | 10444, | 4926 | | |
| Saídas (L/h) | | | 15916 | | 4136 | 1849 | | 18631 | | 5174 | 2153 |
| | | 3º Turno | | | | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 2491 | 5332 | 495 | | | 6595 | 13290 | 4128 | | |
| Saídas (L/h) | | | 7932 | | 1587 | 731 | | 13671 | | 5635 | 2267 |
| | | Dia 2 de Março | | | | | Dia 3 de Março | | | | |
| | | 1º Turno | | | | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 5605 | 13217 | 3602 | | | 7465 | 14169 | 3293 | | |
| Saídas (L/h) | | | 15382 | | 5238 | 2224 | | 17702 | | 5408 | 2134 |
| | | 2º Turno | | | | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 11589 | 17232 | 5042 | | | 8238 | 15337 | 3138 | | |
| Saídas (L/h) | | | 23555 | | 8013 | 3295 | | 18910 | | 5741 | 2040 |
| | | 3º Turno | | | | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 6900 | 22290 | 4378 | | | 9974 | 21156 | 5906 | | |
| Saídas (L/h) | | | 20706 | | 10006 | 2826 | | 24412 | | 9224 | 3339 |

| | | Dia 4 de Março | | | | |
|---------------|--|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 7820 | 8276 | 3401 | | |
| Saídas (L/h) | | | 14336 | | 5043 | 1860 |
| | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 7148 | 17965 | 3897 | | |
| Saídas (L/h) | | | 18180 | | 8257 | 2556 |
| | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 6469 | 11681 | 3088 | | |
| Saídas (L/h) | | | 13787 | | 5442 | 1996 |

| | | Dia 14 de Março | | | | |
|---------------|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 8182 | 15643 | 2989 | | |
| Saídas (L/h) | | | 18179 | | 6154 | 2432 |
| | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 7888 | 16718 | 2436 | | |
| Saídas (L/h) | | | 18155 | | 6427 | 2414 |
| | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 3011 | 4757 | 925 | | |
| Saídas (L/h) | | | 6285 | | 1796 | 599 |

| | | Dia 15 de Março | | | | |
|---------------|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 6644 | 14125 | 3434 | | |
| Saídas (L/h) | | | 16018 | | 5863 | 2304 |
| | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 7972 | 16420 | 4299 | | |
| Saídas (L/h) | | | 18587 | | 7244 | 2642 |
| | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 10419 | 24186 | 4460 | | |
| Saídas (L/h) | | | 23049 | | 9321 | 3356 |

| | | Dia 16 de Março | | | | |
|---------------|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 2245 | 4886 | 738 | | |
| Saídas (L/h) | | | 5448 | | 1751 | 661 |
| | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 3370 | 6773 | 1070 | | |
| Saídas (L/h) | | | 7586 | | 2750 | 870 |
| | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 2820 | 4789 | 1112 | | |
| Saídas (L/h) | | | 5539 | | 2229 | 944 |

| | | Dia 17 de Março | | | | |
|---------------|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 9460 | 17714 | 2265 | | |
| Saídas (L/h) | | | 21759 | | 5315 | 2321 |
| | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 6890 | 12274 | 2278 | | |
| Saídas (L/h) | | | 14937 | | 4394 | 2092 |
| | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 10665 | 25204 | 3301 | | |
| Saídas (L/h) | | | 26481 | | 9580 | 3081 |

| | | Dia 18 de Março | | | | |
|---------------|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 7138 | 13852 | 2342 | | |
| Saídas (L/h) | | | 16041 | | 5364 | 1910 |
| | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 11640 | 12806 | 4824 | | |
| Saídas (L/h) | | | 20153 | | 6223 | 2865 |
| | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 9341 | 13180 | 2971 | | |
| Saídas (L/h) | | | 16525 | | 5630 | 2036 |

| | | Dia 24 de Março | | | | | Dia 25 de Março | | | | |
|---------------|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1º Turno | | | | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 5647 | 17491 | 2311 | | | 6831 | 17828 | 2866 | | |
| Saídas (L/h) | | | 18904 | | 4963 | 1562 | | 17853 | | 6856 | 2353 |
| | | 2º Turno | | | | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 7715 | 13395 | 2701 | | | 8146 | 17108 | 4502 | | |
| Saídas (L/h) | | | 17939 | | 4350 | 1971 | | 20255 | | 7346 | 2133 |
| | | 3º Turno | | | | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 10807 | 28298 | 3972 | | | 1411 | 4037 | 1079 | | |
| Saídas (L/h) | | | 28708 | | 9563 | 4110 | | 4022 | | 1888 | 613 |
| | | Dia 28 de Março | | | | | Dia 29 de Março | | | | |
| | | 1º Turno | | | | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 6985 | 18689 | 2100 | | | 7525 | 20297 | 2260 | | |
| Saídas (L/h) | | | 18666 | | 6447 | 2642 | | 21173 | | 6614 | 2276 |
| | | 2º Turno | | | | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 9930 | 17777 | 4567 | | | 4703 | 13703 | 2381 | | |
| Saídas (L/h) | | | 22503 | | 7508 | 3016 | | 14038 | | 5019 | 1715 |
| | | 3º Turno | | | | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 5307 | 14794 | 2384 | | | 3999 | 12223 | 2571 | | |
| Saídas (L/h) | | | 14673 | | 5654 | 2142 | | 11950 | | 5213 | 1618 |
| | | Dia 30 de Março | | | | | | | | | |
| | | 1º Turno | | | | | | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | | | | | |
| Entrada (L/h) | | 5817 | 17065 | 1961 | | | | | | | |
| Saídas (L/h) | | | 18548 | | | 4406 | 1867 | | | | |
| | | 2º Turno | | | | | | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | | | | | |
| Entrada (L/h) | | 6116 | 20425 | 3624 | | | | | | | |
| Saídas (L/h) | | | 19664 | | | 7931 | 2551 | | | | |
| | | 3º Turno | | | | | | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 41 °C | 50 °C | 65 °C | | | | | |
| Entrada (L/h) | | 7208 | 13182 | 5521 | | | | | | | |
| Saídas (L/h) | | | 15069 | | | 6212 | 2147 | | | | |

Figura D.1- Quantificação dos correntes de entrada e saída da tinturaria nas condições actuais de funcionamento.

Anexo E Quantificação dos efluentes nas condições de operação do projecto

Uma vez que as temperaturas de entrada de água nas máquinas vão ser modificadas é necessário ajustar os programas e obter os caudais de efluentes nestas novas condições de operação. Na Figura E.1 apresenta-se a quantificação dos efluentes da tinturaria, utilizando os dados recolhidos nas 3 semanas analisadas anteriormente.

| | | Dia 28 de Fevereiro | | | | | Dia 1 de Março | | | | |
|---------------|--|---------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1º Turno | | | | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 13024 | 5621 | | 3018 | | 14583 | 6121 | | 3038 | |
| Saídas (L/h) | | | 15545 | | 3543 | 2336 | | 15073 | | 3928 | 1583 |
| | | 2º Turno | | | | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 13700 | 6068 | | 2357 | | 16449 | 7113 | | 2996 | |
| Saídas (L/h) | | | 16120 | | 4183 | 1800 | | 19125 | | 5289 | 2046 |
| | | 3º Turno | | | | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 5105 | 2733 | | 616 | | 12824 | 6659 | | 2918 | |
| Saídas (L/h) | | | 8068 | | 1618 | 698 | | 14306 | | 5780 | 2115 |
| | | Dia 2 de Março | | | | | Dia 3 de Março | | | | |
| | | 1º Turno | | | | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 13983 | 6668 | | 3125 | | 15179 | 7194 | | 3157 | |
| Saídas (L/h) | | | 15960 | | 5370 | 2129 | | 18493 | | 5241 | 2048 |
| | | 2º Turno | | | | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 20467 | 9574 | | 4663 | | 16090 | 8028 | | 3197 | |
| Saídas (L/h) | | | 24026 | | 7651 | 3001 | | 19655 | | 5574 | 1945 |
| | | 3º Turno | | | | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 19644 | 11226 | | 3592 | | 21702 | 10785 | | 5311 | |
| Saídas (L/h) | | | 22823 | | 9024 | 2699 | | 25750 | | 8833 | 3188 |

| | | Dia 4 de Março | | | | | Dia 14 de Março | | | | |
|---------------|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1º Turno | | | | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 12505 | 5723 | | 3073 | | 16069 | 8031 | | 3893 | |
| Saídas (L/h) | | | 14535 | | 4832 | 1613 | | 19363 | | 6427 | 2185 |
| | | 2º Turno | | | | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 16798 | 9366 | | 3740 | | 15475 | 7913 | | 4142 | |
| Saídas (L/h) | | | 19733 | | 7749 | 2405 | | 18644 | | 6540 | 2330 |
| | | 3º Turno | | | | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 12330 | 17965 | | 3897 | | 5295 | 2716 | | 983 | |
| Saídas (L/h) | | | 14840 | | 5689 | 1753 | | 6589 | | 1866 | 531 |
| | | Dia 15 de Março | | | | | Dia 16 de Março | | | | |
| | | 1º Turno | | | | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 14517 | 7760 | | 3002 | | 4725 | 2396 | | 1049 | |
| Saídas (L/h) | | | 17105 | | 6112 | 2044 | | 5752 | | 1822 | 592 |
| | | 2º Turno | | | | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 17177 | 8682 | | 4254 | | 6503 | 3537 | | 1461 | |
| Saídas (L/h) | | | 19444 | | 7845 | 2589 | | 7874 | | 2817 | 803 |
| | | 3º Turno | | | | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 23535 | 12563 | | 5332 | | 5195 | 2787 | | 1101 | |
| Saídas (L/h) | | | 24341 | | 9620 | 3068 | | 6152 | | 2142 | 784 |
| | | Dia 17 de Março | | | | | Dia 18 de Março | | | | |
| | | 1º Turno | | | | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 18371 | 8914 | | 2816 | | 13356 | 6607 | | 3422 | |
| Saídas (L/h) | | | 22428 | | 468 | 2178 | | 16076 | | 5379 | 1913 |
| | | 2º Turno | | | | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 12884 | 6657 | | 2403 | | 17626 | 8626 | | 3600 | |
| Saídas (L/h) | | | 15444 | | 4510 | 1971 | | 20743 | | 6358 | 2724 |
| | | 3º Turno | | | | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 22956 | 13069 | | 4563 | | 14672 | 7500 | | 2689 | |
| Saídas (L/h) | | | 27812 | | 9888 | 2861 | | 17187 | | 5781 | 1877 |

| | | Dia 24 de Março | | | | | Dia 25 de Março | | | | |
|---------------|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1º Turno | | | | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 16328 | 7551 | | 2064 | | 15686 | 8830 | | 3429 | |
| Saídas (L/h) | | | 19445 | | 5102 | 1456 | | 18697 | | 7058 | 2173 |
| | | 2º Turno | | | | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 14466 | 7655 | | 2547 | | 17968 | 9516 | | 3128 | |
| Saídas (L/h) | | | 18295 | | 4443 | 1905 | | 20992 | | 7514 | 1956 |
| | | 3º Turno | | | | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 26886 | 14627 | | 4862 | | 3800 | 2218 | | 851 | |
| Saídas (L/h) | | | 30028 | | 9903 | 3853 | | 4362 | | 1968 | 535 |
| | | Dia 28 de Março | | | | | Dia 29 de Março | | | | |
| | | 1º Turno | | | | | 1º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 15850 | 8697 | | 3724 | | 18215 | 9131 | | 3904 | |
| Saídas (L/h) | | | 19153 | | 6564 | 2534 | | 22285 | | 6816 | 2129 |
| | | 2º Turno | | | | | 2º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 19790 | 9984 | | 3850 | | 12683 | 6510 | | 2301 | |
| Saídas (L/h) | | | 23096 | | 7653 | 2889 | | 14763 | | 5178 | 1538 |
| | | 3º Turno | | | | | 3º Turno | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C |
| Entrada (L/h) | | 12906 | 7221 | | 2645 | | 10824 | 6428 | | 2176 | |
| Saídas (L/h) | | | 14963 | | 5720 | 2072 | | 12594 | | 5357 | 1465 |
| | | Dia 30 de Março | | | | | | | | | |
| | | 1º Turno | | | | | | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | | | | | |
| Entrada (L/h) | | 15520 | 7024 | | 2431 | | | | | | |
| Saídas (L/h) | | | 18680 | | 4437 | 1836 | | | | | |
| | | 2º Turno | | | | | | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | | | | | |
| Entrada (L/h) | | 17101 | 10019 | | 3696 | | | | | | |
| Saídas (L/h) | | | 20448 | | 8103 | 2360 | | | | | |
| | | 3º Turno | | | | | | | | | |
| | | 17 °C | 37 °C | 50 °C | 60 °C | 65 °C | | | | | |
| Entrada (L/h) | | 13909 | 6984 | | 2926 | | | | | | |
| Saídas (L/h) | | | 15445 | | 6298 | 2057 | | | | | |

Figura E.1- Quantificação dos correntes de entrada e saída da tinturaria nas condições de operação.

Anexo F Dimensionamento do permutador de calor

O permutador de calor existente na alternativa B foi dimensionado através da seguinte metodologia (Towler, 2008):

1. Calculou-se a transferência de calor necessária para a elevação de temperatura, Q , Equação 1;

$$Q = \dot{m} \times c_p \times \Delta T \quad (1)$$

Em que:

\dot{m} = Caudal;

C_p = Capacidade calorífica;

ΔT = Diferença de temperaturas.

2. Calculou-se a temperatura média logarítmica, ΔT_{ln} ;
3. Determinou-se o factor de correcção (F_t) da temperatura através da Figura F.1. Considerou-se que a passagem seria de 1:1;

Em que: $NTU = \frac{T_{c,in} - T_{c,out}}{\Delta T_{ln}}$

Nota: O separador decimal da Figura F.1 é o “ponto” uma vez que a figura foi retirada da literatura mencionada.

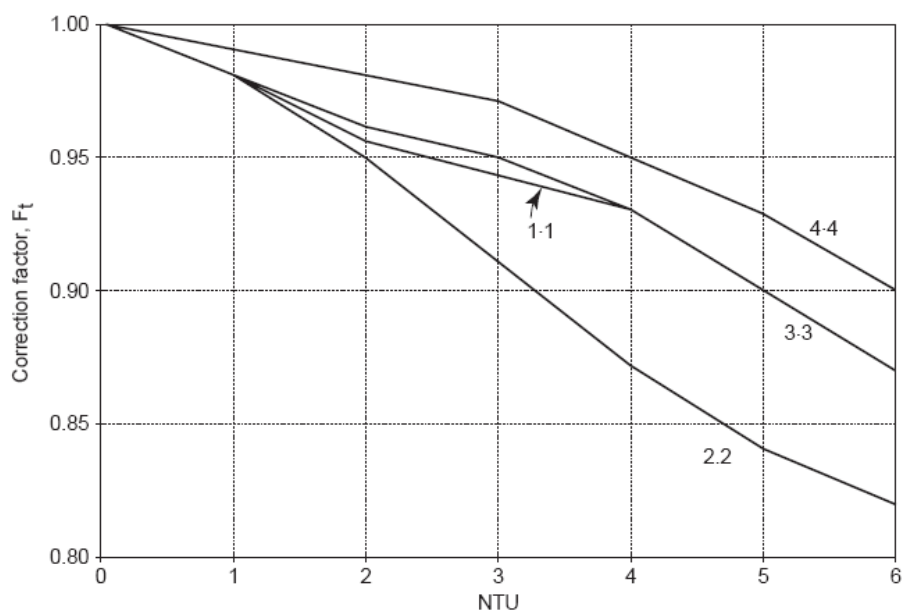


Figura F.1- Factor de correcção da temperatura média logarítmica para permutadores de calor de placas (Towler, 2008).

- Calculou-se a correcta temperatura média logarítmica, Equação 2;

$$\Delta T_m = F_t \times \Delta T_{ln} \quad (2)$$

- Estimou-se o coeficiente global de transferência, U;
- Calculou-se a área de transferência (A), Equação 3.

$$Q = UA\Delta T_m \quad (3)$$

- Determinou-se o número de placas (N), Equação 4, e decidiu-se o número de passagens de fluido por cada placa;

$$N = \frac{A}{A_p} \quad (4)$$

- Calculou-se o coeficiente de transferência de calor do filme para cada fluido (h_p), Equação 5.

$$\frac{h_p d_e}{k_f} = 0,26 Re^{0,65} Pr^{0,4} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (5)$$

Em que :

h_p = Coeficiente de transferência de calor do filme;

d_e = Diâmetro hidráulico;

k_f = Condutividade térmica do fluido;

$Re = \frac{\rho v d_e}{\mu}$ = Número de Reynolds;

ρ = Densidade;

v = Velocidade;

$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$ = Número de Prandtl;

ν = Viscosidade cinemática;

α = Difusividade térmica;

μ = Viscosidade absoluta;

9. Calculou-se o coeficiente global de transferência com os coeficientes obtidos anteriormente, Equação 6;

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{p,h}} + \frac{1}{h_{h,h}} + \frac{m}{k} + \frac{1}{h_{p,c}} + \frac{1}{h_{h,c}} \quad (6)$$

Em que:

m = Espessura da placa;

k_p = Condutividade térmica da placa;

10. Comparou-se o coeficiente global obtido com o assumido. Se o erro for de até 10% considera-se que o número de placas é o adequado, caso contrário é necessário repetir o procedimento a partir do passo 7.

11. Calculou-se a queda de pressão para cada fluido, Equação 7 e Equação 8.

$$\Delta P_p = 8 j_f \frac{L_p}{d_e} \frac{\rho v_p^2}{2} \quad (7)$$

Em que:

$$j_f = 0,6 Re^{-0,3};$$

L_p = Comprimento da placa

$$\Delta P_{ori} = 1,3 \frac{\rho v_p^2}{2} \quad (8)$$

Anexo G Características do tanque de armazenamento de água a 37 °C

A Figura G.1 apresenta as características do tanque de armazenamento de água a 37 °C.

Orçamento N° 214/11

Pelo presente submetemos à vossa consideração a nossa melhor oferta para o eventual fornecimento do seguinte equipamento:

NOTA: As cotas apresentadas, têm apenas, carácter indicativo, podendo ser alteradas na fase do projecto.

| |
|--|
| 1 Reservatório Isotérmico, capacidade 100.000 Lts |
|--|

Um reservatório Isotérmico cilíndrico vertical, com fundo plano Inclinado e tampo ligeiramente cónico com a capacidade de 100.000 Lts, construído em aço inoxidável Aisi 304.

Dimensões: Interiores

- Diâmetro do corpo cilíndrico 3550 mm
- Altura do corpo cilíndrico 10 500 mm
- Altura total aproximada 11 500 mm
- Espessura: Corpo 2,5 mm
Fundo 3 mm
Tampo 2,5 mm

Acessórios:

No Tampo:

- 1 Porta de visita Ø 400 mm com câmara de expansão e com sistema de fecho e abertura rápida
- 1 Respiro entrada/saída de ar Ø 154 com capacete
- 2 Olhais de elevação
- 1 Suporte escada

No Corpo:

- 1 Saída de Produto Ø 60 mm, com válvula inox de vedação esférica
- 1 Entrada de homem oval 305x430
- 1 Conjunto de nível completo graduado e torneira de nível e escala
- 1 Torneira de prova Ø ½
- 1 Termómetro Ø 100 com escala 0-10 Neg. 0-60 Posit.

No Fundo:

- 1 Descarga total de produto para limpeza Ø 60 mm, equipada com válvula inox vedação esférica.

Isolamento:

- Poliuretano expandido em toda a superfície, incluindo fundo e tampo com 100 mm de espessura.

Revestimento:

- Chapa inox aisi 304 de espessura 1,5 mm em toda a superfície, incluindo fundo e tampo.

Acabamento:

- Interior e exterior: Superfícies no estado natural, laminagem a frio (2B), sendo as soldaduras decapadas e lavadas.

Figura G.1- Características do tanque de armazenamento de água a 37 °C.

Anexo H Características do permutador de calor

A Figura H.1 apresenta-se a ficha de especificações do permutador de calor.

| PERMUTADOR DE PLACAS (PHE) | | | |
|----------------------------|--|------------------|-----------------|
| | | | Data:02-06-2011 |
| Cliente | : | | |
| Destino | : | | |
| Local | : | | |
| Item No. | : | | |
| V. Ref. No. | : | | |
| N. Ref. No. | : | :111338 | |
| Serviço | | | |
| Tipo | FHR10 -HJ -45 | Número de PHE | 1 Unid(s) |
| Superfície | 10.97 [m2/unid] | Número de Placas | 45 [pcs/unid] |
| (Performance por PHE) | | Lado Quente | Lado Frio |
| ----- | | ----- | |
| Fluido | Efluentes | Água | |
| Caudal | 15.00 [m3/h] | 30.75 | [m3/h] |
| Peso Específico | 1.000 [-] | 1.000 | [-] |
| Calor Específico | 4.186 [kJ/(kgC)] | 4.186 | [kJ/(kgC)] |
| Conductividade Térmica | 0.631 [W/(mC)] | 0.608 | [W/(mC)] |
| Viscosidade | 0.630 [mPas] | 0.850 | [mPas] |
| Temperat. de Entrada | 63.00 [C] | 17.00 | [C] |
| Temperat. de Saída | 22.00 [C] | 37.00 | [C] |
| Perda de Carga | 0.012 [MPa] | 0.050 | [MPa] |
| Pressão de Trabalho | - [MPa G] | - | [MPa G] |
| Pot. Calorífica | 715.11 [kW] | | |
| Circulação | ContraCorrente | | |
| (Construção) | | | |
| ----- | | | |
| Arranjo das Placas | 22 x 1 | 22 x 1 | |
| Max. Pressão | 1.00 [MPa G] | 1.00 | [MPa G] |
| Pressão de Ensaio | 1.30 [MPa G] | 1.30 | [MPa G] |
| Max. Temperatura | 100.00 [C] | 100.00 | [C] |
| Peso Vazio/Cheio | 350 / 380 [kg] | | |
| Dimensões Aprox. | C 851 x L 450 x A 1080 [mm] | (C= 700 | P= 801) |
| Entradas/Saídas | DIN DN 100 PN 10 | DIN DN 100 PN 10 | |
| (Material) | | | |
| ----- | | | |
| Placas | AISI 316L 0,5mm | | |
| Juntas | NBR-SI | NBR-SI | |
| Entradas/Saídas | NBR | NBR | |
| Estrutura/Tirantes | Aço Carbono, Pintada / Aço Carbono Zincado | | |

Figura H.1- Ficha de especificação do permutador de calor.

Na Figura H.2 apresenta-se um desenho do permutador de calor.

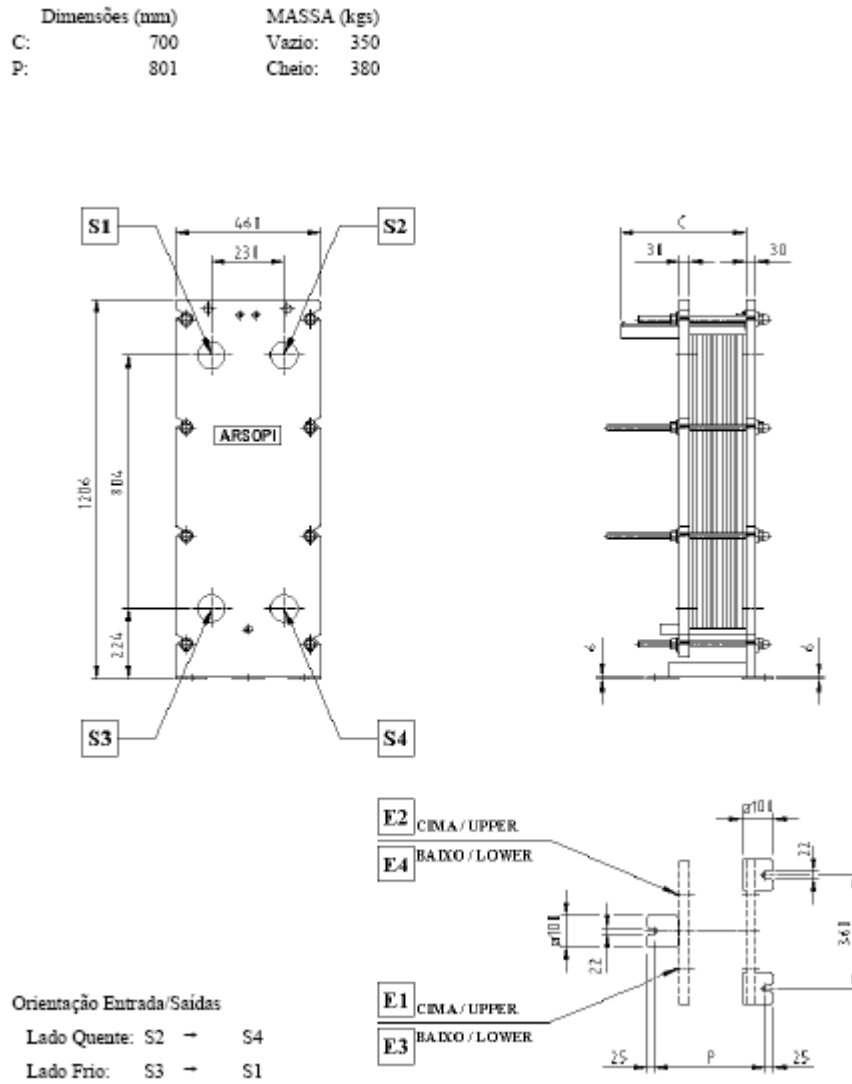


Figura H.2- Desenho do permutador de calor