

AGRADECIMENTOS

O trabalho apresentado contou com o apoio de algumas pessoas, sem menosprezar todas as contribuições, agradeço às mais importantes.

Ao Professor Doutor António Crispim agradeço a orientação e toda a disponibilidade prestada ao longo deste trabalho.

A todos os colaboradores da empresa, *Curtumes Aveneda, Lda.* pela forma como me receberam, pela colaboração e por proporcionarem as melhores condições na realização deste trabalho. Um agradecimento especial ao Sr. António Novo, Sr. Carlos Chaves, Sr. José Andrade e ao Sr. Fernando Martins pelo permanente apoio, orientação, disponibilidade e o carinho com que sempre me trataram.

Aos meus pais e irmã e toda a família pelo apoio e incentivo durante a realização deste trabalho e durante a vida académica.

Aos meus amigos pelas palavras de estímulo e pelo apoio demonstrado.

RESUMO

A necessidade de diminuir os consumos de energia, não só por questões financeiras mas também por questões ambientais, faz com que sejam feitos esforços no sentido da implementação de energias renováveis bem como da melhoria e expansão das soluções técnicas já conhecidas.

Uma das maiores fontes de energia renovável, senão mesmo a maior, é a energia solar que, no futuro, terá uma contribuição muito significativa, quer na satisfação dos consumos energéticos, quer na racionalização da sua utilização, isto é, na melhoria da eficiência do consumo.

O presente trabalho focou-se na procura de um sistema solar térmico para o pré-aquecimento da água quente a ser utilizada numa fábrica de curtumes, a empresa *Curtumes Aveneda, Lda*. Em simultâneo, desenvolveram-se e optimizaram-se processos de produtos específicos que o mercado exige actualmente, visando uma economia de recursos (matérias-primas, água e energia), objectivando sempre a sua viabilidade económica.

No que respeita à procura do sistema solar térmico, inicialmente foram realizados levantamentos relativos ao consumo de água, quente e fria, na respectiva empresa. Esta avaliação focou-se em todos os sectores consumidores intensivos de água, tais como a ribeira, curtume e a tinturaria, excluindo o sector de acabamento uma vez que o consumo aqui é insignificante relativamente aos sectores citados anteriormente.

Com base no levantamento efectuado foi dimensionado um sistema solar térmico para o pré aquecimento da água quente que conduz a uma economia anual de 107.808,3 kWh de energia térmica, representativa de 29% do consumo anual de energia térmica de aquecimento de água. Foi efectuada análise económica deste investimento que mostrou um índice de rentabilidade superior à unidade e um tempo de retorno do investimento de 9 anos.

Desenvolveu-se com sucesso um produto de couro a partir de *wet-blue*, designado por *crispado*, produto normalmente produzido a partir da pele em tripa e muito difícil de obter a partir de *wet-blue*. Este produto caracteriza-se pela sua forma granular irregular e firme da pele. O processo desenvolvido foi ainda optimizado no sentido da redução do consumo de água e de energia.

Tendo em conta a necessidade da empresa também se tentou melhorar as características do couro *wet-white*, muito solicitado actualmente, com resultados positivos no que respeita à temperatura de contracção do couro e às propriedades físico-mecânicas mas sem se atingir o principal objectivo que seria tornar a cor mais clara e mais pura.

Foram desta forma dados contributos importantes para a empresa que, assim, dimensionou um sistema mais económico para o aquecimento de água que vai adoptar e ficou com um processo disponível para produzir um produto até então não conseguido.

Palavras-chave: *couro, wet-white, crispado, tinturaria, energia solar*

ABSTRACT

The need to reduce energy consumption, not only for financial reasons but also for environmental reasons, makes necessary efforts towards the implementation of renewable energy and the improvement and expansion of the technical solutions already known.

One of the largest sources of renewable energy, if not the largest, is solar energy that, in the future, will have a very significant contribution, both in the satisfaction of energy consumption, as in the rationalization of energy use, i.e., improving the efficiency of consumption.

This study focused on the search for a solar thermal system to preheat the hot water used in a tannery, the company *Curtumes Aveneda, Lda*. Simultaneously, were developed and optimized processes of specific products requests by the market today, seeking a resource saving (raw materials, water and energy) and always evaluating its economic viability.

Regarding the search for the solar thermal system, the hot and cold water consumption in the company was evaluated. This evaluation focused on all sectors using water such beamhouse, tanning and dyeing, excluding the finishing sector since its water consumption is negligible.

Based on the survey carried out, a solar heating system was designed to preheat the water which leads to a saving of 107.808,3 kWh of thermal energy for heating water, corresponding to 29% of the annual consumption. An economic evaluation of this investment was made showing a profitability index greater than one and a *Pay Back Period* of 9 years.

A product was developed successfully, from the wet-blue state, the shrunken leather, normally produced from the liming state and very difficult to produce from the wet-blue. The process developed was yet optimized in order to reduce the water and energy consumption.

Taking into account the company needs, it was tried to improve the wet-white, product very requested currently, properties with positive results concerning the shrinkage temperature and the mechanical properties, but without to achieve the main objective that would be to improve a lighter color and pure.

In this way, it were given important contributions for the company that designed a more economical system to heat the water, in adoption, and get a new process to produce a product not so far succeeded.

Keywords: *leather, wet-white, shrunken, dyeing, solar energy.*

ÍNDICE

1. Introdução	1
1.1 <i>Enquadramento</i>	2
1.2 <i>Indústria de Curtumes</i>	4
Enquadramento histórico da indústria de curtumes em Portugal.....	4
Processo produtivo de uma unidade de curtumes	5
Necessidades e impactos ambientais do processamento.....	14
1.3 <i>Energia Solar</i>	17
Recurso Solar	17
Radiação solar	18
Energia Solar Térmica	20
Colectores Solares Planos	21
Colectores Concentradores	21
Colectores Concentradores Parabólicos.....	22
Colectores de Tubos de Vácuo	23
1.4 <i>Sistemas Solares Térmicos</i>	24
Circulação de termosifão	24
Circulação Forçada.....	25
Armazenamento	26
2. Desenvolvimento de Artigos em couro	27
2.1 <i>Artigo Crispado</i>	27
Ensaio I	28
Ensaio II	30
Ensaio III	32
Ensaio IV.....	34
Ensaio V.....	36
Ensaio VI.....	37
Ensaio VII.....	40
2.2 <i>Nappa soft</i>	42
2.3 <i>Curtume de biocouro</i>	43
3. Análise e optimização do artigo crispado	47

4.	Sistema de monitorização de água.....	51
4.1	<i>Instalação actual.....</i>	51
4.2	<i>Consumo de água</i>	53
4.3	<i>Consumo de energia térmica</i>	55
5.	Projecto de instalação do Sistema Solar	57
5.1	<i>Determinação da radiação solar incidente</i>	57
5.2	<i>Dimensionamento da área de colectores solares</i>	59
5.3	<i>Caracterização do Sistema Solar Térmico.....</i>	63
6.	Análise económica do sistema solar térmico	65
7.	Conclusões	67
8.	Referências Bibliográficas	68
	Nomenclatura	69
	Anexos	70
A.	<i>Comparação económica dos artigos crispado e a respectiva optimização.....</i>	70
B.	<i>Levantamento do Consumo de água</i>	71
	Consumo no dia 8 de Fevereiro	71
	Consumo no dia 9 de Fevereiro	73
	Consumo no dia 10 de Fevereiro	74
	Consumo no dia 11 de Fevereiro	75
	Consumo no dia 12 de Fevereiro	76
C.	<i>Estimativa das necessidades de água quente.....</i>	78
D.	<i>Energia térmica dispendida ou necessária.....</i>	79
E.	<i>Determinação da radiação solar incidente</i>	82
F.	<i>Valores consultados para os parâmetros K_T e \dot{G}_H</i>	85
G.	<i>Dimensionamento da área de colectores</i>	86
H.	<i>Recursos – análise económica.....</i>	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Conservação de peles em bruto através da salga, na empresa <i>Curtumes Aveneda, Lda.</i>	6
Figura 1.2 – Diagrama de fluxo do sistema de processamento do couro	7
Figura 1.3 - Processo da descarna usado na empresa <i>Curtumes Aveneda, Lda.</i>	8
Figura 1.4 - <i>Wet-blue</i>	10
Figura 1.5 - Operação de escorrimento efectuado na empresa <i>Curtumes Aveneda, Lda.</i>	11
Figura 1.6 - Processos de divisão e rebaixamento na empresa <i>Curtumes Aveneda, Lda.</i>	11
Figura 1.7 - Processo de recurtume e tingimento efectuado em fulões	12
Figura 1.8 - Processos de escorrimento e alisamento e secagem efectuados na empresa <i>Curtumes Aveneda, Lda.</i>	13
Figura 1.9 - Processos de amaciamento, lixagem e prensagem na empresa <i>Curtumes Aveneda, Lda.</i>	14
Figura 1.10 – Diagrama referente aos diferentes tipos de resíduos produzidos	15
Figura 1.11 – Pirelióforo ^[5]	17
Figura 1.12 - Recurso solar na Europa e em Portugal Continental ^[6]	18
Figura 1.13 - Radiação Solar que atravessa a atmosfera ^[7]	18
Figura 1.14 - Colector Solar Plano ^[10]	21
Figura 1.15 - Colectores Concentradores ^[11]	22
Figura 1.16 - Colectores Concentradores Parabólicos ^[11]	23
Figura 1.17 - Colectores de tubos de vácuo ^[10]	24
Figura 1.18 - Esquema de um sistema de termossifão ^[10]	25
Figura 1.19 - Esquema de um sistema de circulação forçada ^[10]	26
Figura 4.1 - Válvula misturadora e termómetro existentes na empresa <i>Curtumes Aveneda, Lda.</i>	51
Figura 4.2 - Esquema representativo da instalação da linha de água	52
Figura 4.3 - Volume de água utilizado nas diferentes fases e nos respectivos dias	53
Figura 4.4 - Picos de consumo de água quente e água fria para o dia 11 de Fevereiro	54
Figura 4.5 - Comparação dos consumos de água nas três fases do processo	54
Figura 4.6 - Cotação percentual do consumo de energia térmica	55
Figura 5.1 - Esquema representativo ao projecto de instalação do sistema solar térmico	64
Figura 9.1 - Picos de volume de água e respectiva temperatura consumida no dia 8 de Fevereiro	72
Figura 9.2 - Picos de consumo referente ao dia 9 de Fevereiro	73
Figura 9.3 - Picos de consumo relativos ao dia 10 de Fevereiro	74
Figura 9.4 - Necessidades de água e respectivas temperaturas referentes ao dia 11 de Fevereiro	76
Figura 9.5 - Picos de consumo de água no dia 12 de Fevereiro	77
Figura 9.6 - Parâmetros consultados relativamente à energia solar	85
Figura 9.7 - Especificações técnicas dos colectores SOLID 14.3	86

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Processo efectuado no ensaio I.....	28
Tabela 2.2 - Processo efectuado no ensaio II.....	30
Tabela 2.3 - Processo efectuado no ensaio III.....	32
Tabela 2.4 - Ensaio IV.....	34
Tabela 2.5 - Formulação do ensaio V.....	36
Tabela 2.6 - Procedimento utilizado no ensaio VI.....	38
Tabela 2.7 - Formulação correspondente ao ensaio VII.....	40
Tabela 2.8 - Formulação da <i>nappa</i> desenvolvida.....	42
Tabela 2.9 - Ensaio de biocouro com Sellatan CFX.....	44
Tabela 2.10 - Ensaio de biocouro.....	45
Tabela 2.11 - Propriedades físicas e mecânicas dos três ensaios.....	46
Tabela 3.1 - Processo desenvolvido para a optimização do artigo crispado.....	48
Tabela 3.2 - Comparação dos dois processos.....	49
Tabela 3.3 - Comparação entre os artigos desenvolvido e optimizado.....	49
Tabela 4.1 - Energia térmica dispendida nas diferentes operações consumidoras de água.....	55
Tabela 5.1 - Dados relativos às coordenadas equatoriais ^[9]	57
Tabela 5.2 - Declinação média mensal.....	58
Tabela 5.3 – Parâmetros necessários ao cálculo da radiação directa média mensal e respectivos valores.....	58
Tabela 5.4 – Valores da radiação média mensal, radiação global média mensal em superfície horizontal e da radiação global média mensal em superfície inclinada.....	59
Tabela 5.5 - Valores necessários para o cálculo do rendimento do colector e da área total de colectores.....	62
Tabela 5.6 - Determinação do rendimento dos colectores e respectiva área total.....	62
Tabela 6.1 - Investimento anualizado para o sistema solar térmico proposto.....	65
Tabela 6.2 – Parâmetros correspondentes à viabilidade económica determinados.....	66
Tabela 9.1 - Consumo de água no dia 8 de Fevereiro.....	72
Tabela 9.2- Consumo de água referente ao dia 9 de Fevereiro.....	73
Tabela 9.3 - Consumo de água relativo ao dia 10 de Fevereiro.....	74
Tabela 9.4 - Consumos referentes ao dia 11 de Fevereiro.....	75
Tabela 9.5 - Consumo de água no dia 12 de Fevereiro.....	77
Tabela 9.6 - Estimativa para o consumo máximo de água quente e água fria.....	79
Tabela 9.7 - Valores de energia térmica relativos à estimativa máxima de consumo de água.....	80
Tabela 9.8 - Valores de declinação para cada dia do ano e respectiva declinação média mensal.....	83
Tabela 9.9 - Características e valores cedidos pela empresa Spin Energia, SA.....	89
Tabela 9.10 - Mapa de <i>cash-flow</i>	90

1. INTRODUÇÃO

No decorrer dos últimos anos, tem-se vindo a verificar um crescente interesse de questões ligadas à degradação para que caminha o nosso planeta, devendo encontrar-se soluções que permitam inverter a tendência do consumo desregrado de recursos naturais e a conseqüente poluição decorrente do estilo de vida da sociedade que se reflecte nas mudanças climáticas, na poluição atmosférica, na diminuição dos recursos hídricos e no aumento do buraco de ozono. É urgente que se use cada vez mais fontes energéticas renováveis, seja pelo elevado e incerto preço do petróleo, fonte de energia pelo qual o mundo é dependente, seja pela necessidade de proteger o meio ambiente.

A indústria de curtumes, transformadora de peles animais em couro, é caracterizada pelo consumo de grandes quantidades de água em todo o seu processo produtivo. Para que uma pele se transforme em couro, esta passa por quatro operações distintas: ribeira, curtume, recurtume e acabamento.

No processo geral de curtumes, o volume de água utilizado e a respectiva temperatura varia em função das matérias-primas, dos processos e das práticas operacionais. A fase da ribeira é a que consome maior volume de água, mas no entanto é no recurtume que se utilizam águas com temperaturas mais elevadas.

A *Curtumes Aveneda, Lda.* sensibilizada quer pelo impacto do consumo de combustível (energia fóssil) quer pela minimização de custos de produção, está a direccionar os seus recursos no aproveitamento da energia solar para o aquecimento de água.

A empresa *Curtumes Aveneda, Lda.* aposta na investigação e desenvolvimento de novos artigos tendo em conta a moda e as solicitações do mercado, assim como procura melhorar a qualidade dos artigos existentes e otimizar os processos praticados no sentido da redução de recursos como a água e a energia para benefício ambiental e económico.

1.1 ENQUADRAMENTO

Fundada em Fevereiro de 1998 pelos sócios António Novo, José Andrade e Pedro Marques da Silva em S. Vicente de Pereira Jusã (Ovar), a *Curtumes Aveneda, Lda.* conta com cerca de 40 funcionários e tem uma capacidade de produção mensal de 200 mil ft² de couro ^[1]. Esta empresa de curtumes está vocacionada para todas as operações de curtimenta, desde a Ribeira até ao Acabamento, com a particularidade de produzir produtos curtidos ao crómio ou em biocouro. A produção desta empresa está orientada essencialmente para a produção de calçado e marroquinaria, em que cerca de 30% dos produtos é destinado ao mercado nacional, 60% para o mercado Francês e o restante para outros mercados internacionais (Alemanha, China, Índia, Áustria, etc.). Os couros são produzidos a partir de peles de bovinos (touros, vacas, vitelas) e são classificados como artigos de média e alta qualidade. Estes artigos podem ser adquiridos em Nubucks, Anilinas e Croutes; e também podem ter várias formas: gravados, fantasias, estampados, pull-up, crazy horse, etc.

Com a crescente preocupação a nível ambiental e da saúde humana, o mercado exige inovação e a empresa aposta em produtos biodegradáveis, o biocouro. Sendo um produto isento de metais, este também revela como aspectos positivos o facto de a sua produção implicar a diminuição de efluentes líquidos poluentes e o aproveitamento para a agricultura dos resíduos sólidos, constituindo cerca de 20% da produção da empresa.

Numa indústria de características tão sensíveis, a redução na utilização de matérias-primas essenciais e a redução de efluentes produzidos é um passo de extrema relevância para a minimização do impacto da actividade da empresa no ambiente. Assim, a empresa *Curtumes Aveneda, Lda.* pretende adoptar medidas de optimização do recurso a combustíveis fósseis para o aquecimento de água com a implementação de recursos renováveis. A tinturaria, processo que requer maior quantidade de água quente e consequentemente que consome mais combustível (nafta) para a produção de vapor, é o alvo primordial no estudo para o recurso a painéis solares térmicos.

Nos últimos anos, a empresa tem direccionado os seus recursos na inovação e no progresso, através da colaboração em projectos de investigação e desenvolvimento com entidades científicas e tecnológicas. O desenvolvimento de novos artigos ou mesmo a identificação de melhorias de processos já desenvolvidos contribui para a optimização de recursos e respectivamente no cumprimento das exigências ambientais.

Na sequência destas ideias, os objectivos deste trabalho são a minimização do consumo de energia pela avaliação ao recurso a painéis solares térmicos para o pré-

aquecimento de água quente e o desenvolvimento e melhoria de processos de produção de couro.

1.2 INDÚSTRIA DE CURTUMES

A indústria de curtumes, uma das mais antigas do país, produz couros (pele curtida e acabada) a partir da pele do animal, subproduto da indústria de carnes. Sendo uma matéria-prima natural e renovável, a indústria de curtumes reduz de forma considerável o impacto ambiental causado pela acumulação de peles, dando destino a um produto que de outra forma seria constituído um resíduo.

Contudo, esta indústria é conhecida como sendo bastante nociva para o ambiente, devido às emissões de resíduos sólidos. Assim sendo, as empresas deste sector, são forçadas a investir em sistemas de tratamento e gestão das suas emissões, o que origina aumentos significativos nos custos de produção, repercutindo-se conseqüentemente nos preços do produto final, o que diminui a competitividade. Os aspectos ambientais têm um peso na tomada de decisão equivalente a outros factores, como a qualidade do produto final, a optimização do processo produtivo, a introdução de novas tecnologias e a qualificação dos recursos humanos.

ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DA INDÚSTRIA DE CURTUMES EM PORTUGAL

A indústria de curtumes é uma das mais antigas actividades conhecidas pelo Homem. Desde a era primitiva, que o homem usava peles de animais para seu agasalho. Desde sempre a pele foi reconhecida como um material de extremo valor para diversas aplicações, satisfazendo as necessidades de diversos povos e civilizações, que pela necessidade de adaptação ao meio sofreu diversas inovações.

Também os portugueses, através dos descobrimentos, influenciaram o desenvolvimento dos curtumes através da introdução de novas substâncias vegetais, curtentes e gorduras. Segundo a Associação Portuguesa da Indústria de Curtumes (APIC), em Portugal, os primeiros esboços do que viria a ser a indústria de curtumes remontam aos séculos XVI e XVII nos quais se assistiu a uma concentração de artesãos dos curtumes em Guimarães, Porto e Alcanena, que continuam a ser os maiores pólos aglutinadores do sector em Portugal. Sabe-se que no mandato de D. João V, no século XVIII apareceram as primeiras unidades de fabricação do couro em Portugal. Em consequência da revolução industrial, meados do século XIX, a manufactura artesanal deu lugar à mecanização, aumentando o rendimento e a produção global. Até ao início do século XX, a introdução do curtume vegetal teve bastante importância, sendo que daí em diante o curtume a crómio deu os seus primeiros passos, sendo hoje o processo de curtume mais utilizado.

Actualmente esta indústria é composta por cerca de 60 empresas, na maioria pequenas e médias empresas que empregam menos de 100 trabalhadores, situadas nos distritos de Alcanena, Porto, Seia e Guimarães.

As indústrias de Alcanena contribuem com cerca de 90% da produção nacional de curtumes, representando um valor de 85% das indústrias de curtumes. O Porto tem 5 indústrias do sector enquanto as restantes estão distribuídas por Seia e Guimarães ^[1].

A maioria da indústria de curtumes no nosso país está direccionada para a transformação de peles de bovinos adultos para a indústria de calçado e também, mas com menor relevo, para a confecção de vestuário em couro, marroquinaria, fabrico de estofos, etc. O sector de curtumes português tem atingido uma posição de destaque no panorama internacional, tendo contribuído para a implementação do calçado português ao nível mundial, através da sua presença directa em mercados compradores.

Contudo, o maior obstáculo do sector dos curtumes não é só influenciado pela crise proveniente dos mercados consumidores, mas também dos países concorrentes, como Itália e Espanha, que apresentam uma crescente produtividade. O que acontece é que algumas empresas nacionais apostam mais no acabamento de peles, do que nas fases de transformação anteriores: curtume e tinturaria. Para tal importam peles em *crust* (tingidas e secas) de países menos desenvolvidos e com mão-de-obra mais barata.

Como infra-estruturas de apoio ao sector existem a APIC (Associação Portuguesa da Indústria de Couro) e o CTIC (Centro Tecnológico da Indústria de Curtumes), infra-estrutura tecnológica promotora da valorização e inovação na indústria de curtumes nacional, visando a competitividade do sector.

PROCESSO PRODUTIVO DE UMA UNIDADE DE CURTUMES

O curtume das peles é um processo complexo que objectiva a transformação de um produto, de forma a conferir-lhe propriedades apropriadas como resistência, maleabilidade, textura, etc. para a fabricação de produtos de uso comum. O produto final obtido no processo é designado *couro*.

A pele ^[1] (matéria-prima da indústria de curtumes) é a estrutura externa do corpo dos animais, geralmente coberta com pêlo ou lã e formada por várias camadas sobrepostas. Esta exerce uma função protectora, assim como cumpre funções como a regulação da temperatura do corpo, eliminação de substâncias indesejáveis, armazena substâncias gordas e protege o corpo da entrada de bactérias. A pele responde a muitas transformações fisiológicas do animal, reflectindo características importantes e específicas como: idade, sexo, alimentação, meio ambiente e estado de saúde.

A estrutura histológica da pele consiste em três camadas principais ^[2]: epiderme, derme ou *corium* (constituída pelas camadas papilar e reticular) e o tecido subcutâneo. A pele de bovino, mais utilizada neste sector, é composta essencialmente por água (64%) mas também por proteínas (cerca de 33%), gorduras (2%) e outras substâncias (1%).

As peles provenientes da matança do animal são normalmente adquiridas em estado verde ou então já salgadas, processo de conservação por sal ou salmoura com a finalidade de evitar a decomposição das mesmas.

A conservação das peles pode ser efectuada de várias formas (salga, salmoura, secagem, etc.) e baseia-se na desidratação das peles de forma a impedir que haja um desenvolvimento de bactérias e de acção enzimática ^[1]. Na figura 1.1 pode-se observar o processo de conservação através da salga. Na recepção devem ser controlados a qualidade, o peso total e o peso por peça, de forma a preparar lotes para posterior tratamento. Quando necessárias, as peles são aparadas de forma a retirar partes que não servem para a produção, como por exemplo na zona da cabeça, patas etc.



Figura 1.1 – Conservação de peles em bruto através da salga, na empresa *Curtumes Aveneda, Lda.*

O sistema de processamento do couro, desde a aquisição da pele em bruto até ao produto final, compreende um conjunto de operações físico-químicas (com a utilização de fulões/barcas) e mecânicas (com máquinas apropriadas). Em geral, o processamento do couro pode ser descrito através das seguintes etapas, representadas no diagrama da figura 1.2:

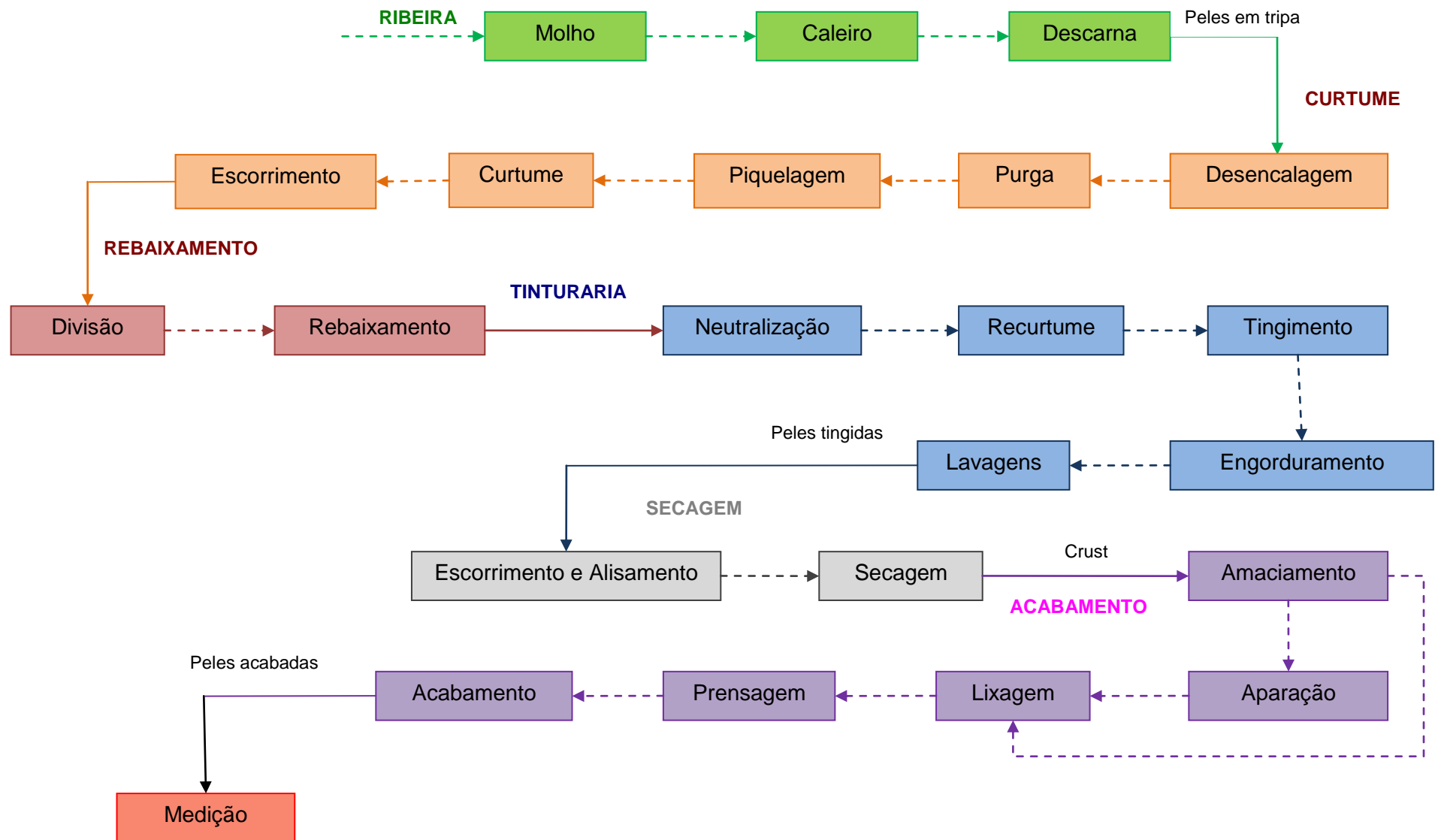


Figura 1.2 – Diagrama de fluxo do sistema de processamento do couro

O processo produtivo da indústria de couro é caracterizado por três fases principais^[3] e uma fase de acabamento, em que cada fase tem várias etapas:

Fase da ribeira: esta é a primeira fase a que se submetem as peles e consiste numa sequência de operações em que a pele é preparada para a fase de curtume. A pele é submetida a processos químicos e mecânicos para limpeza e hidratação. Nestas fases processam-se três operações, duas em meio aquoso (dentro de fulões) o molho e o caleiro, e outra de carácter mecânico, a descarna.

- **Molho:** esta operação visa a lavagem do sal usado para a conservação e de impurezas agarradas aos pêlos, e a reposição do teor de água natural da pele fresca. O banho deve ser alcalino, com pH de aproximadamente 10, para que as peles estejam preparadas para o tratamento posterior. A quantidade de água utilizada é de cerca de 200% a mais ou menos 28°C, podendo durar entre 6 a 48 horas. Neste processo são usados carbonato de sódio, agentes bacteriológicos, preparados enzimáticos, etc.

Quando as peles estão salgadas há muito tempo, é necessário um molho mais prolongado.

- **Caleiro:** nesta operação procede-se à remoção de pêlos e ao relaxamento da estrutura fibrosa da pele, em meio alcalino. Ao mesmo tempo que se procede à depilação, têm lugar processos de inchamento e afloramento da estrutura fibrosa da pele. Opera-se normalmente com 150% de água a 25°C, cerca de 16 a 48 horas com rodagens e repousos intermitentes. É seguido de uma lavagem com água para eliminação das substâncias provenientes da depilação. Os produtos químicos usados são a cal, sulfureto de sódio, sulfiidrato de sódio, aminas, etc.

- **Descarna:** nesta operação mecânica, realizada em máquinas apropriadas, são removidos os tecidos adiposos da pele e a matéria subcutânea por acção de um rolo de lâminas. Como se pode reparar na seguinte figura 1.3. Desta operação resultam resíduos sólidos, conhecidos como raspa de tripa.



Figura 1.3 - Processo da descarna usado na empresa *Curtumes Aveneda, Lda.*

Fase de curtume: nesta fase, as peles provenientes da descarna, são tratadas em meio aquoso de forma a ficarem termicamente estáveis e resistentes à decomposição.

Os processos realizados nesta fase são:

- **Desencalagem:** este processo tem como objectivo a remoção da cal e redução do pH. Estas substâncias podem encontrar-se depositadas ou quimicamente combinadas com a estrutura fibrilar da pele, recorrendo-se então a lavagens com produtos desencalantes, cujo objectivo é originar compostos solúveis em água para serem removidos nas lavagens posteriores, sem que ocorra a perda da estrutura relaxada adquirida no caleiro. O volume inicial do banho é de 20 a 30% de água em relação à massa das peles que se devem encontrar a cerca de 35°C. Depois de bem lavadas, as peles devem ser submetidas a um novo banho em que se adicionam os agentes desencalantes, sendo que o volume deste representa entre 50% a 100% de água. Durante processo, efectua-se ainda a correcção do pH, aproximadamente de 8, para que a pele fique neutralizada para o processo seguinte. O tempo do processo varia entre 20 a 120 minutos e são utilizados sais de amónio, bissulfito de sódio, ácidos fracos, etc.
- **Purga** é um processo de limpeza da estrutura fibrosa por acção enzimática, ou seja, as enzimas provocam uma degradação parcial das proteínas que não são o colagénio, relaxando a estrutura da pele e eliminando restos de epiderme, pêlo e gorduras. Nesta fase, as peles são denominadas como pele em tripa. Normalmente esse processo é realizado no mesmo banho da desencalagem e pode durar entre 15 a 60 minutos. Terminada a operação da purga, as peles devem ser muito bem lavadas com água fria, de forma a cortar o efeito da purga e a eliminar as enzimas ainda presentes, preparando-as para o processo seguinte, a piquelagem.
- **Piquelagem:** este processo pode ser considerado um complemento da desencalagem e a interrupção do efeito enzimático da purga, preparando a pele para a penetração do agente de curtume. De forma a impedir o inchamento do colagénio é adicionado sal de tal forma a que a sua concentração no banho seja de aproximadamente 8°Be' e não inferior a 6°Be'. Posteriormente são adicionados ácidos para que em conjunto com o sal produza um efeito desidratante sobre as fibras. O pH da pele em tripa deve ter carácter ácido, valores entre 3 e 3.5, para que o agente de curtume penetre em toda a pele de forma uniforme, esta operação é realizada com ácidos fortes como por exemplo o ácido sulfúrico e o ácido fórmico. É também adicionado formiato de sódio, de forma a acelerar o processo. A operação pode ter uma duração entre 1 a 4 horas ou mesmo de 16 horas com repousos intermédios.
- **Curtume:** vulgarmente realizado no banho da piquelagem, é a operação que confere à pele um carácter imputrescível e as propriedades adequadas à sua posterior utilização,

em que o agente curtente reage com o colagénio da pele de forma a provocar uma estabilização irreversível.

Os produtos usados no curtume podem ser classificados em três grupos: produtos naturais de origem vegetal, produtos minerais ou produtos orgânicos. Os agentes de curtume mais utilizados são o crómio, de origem mineral, ou então agentes de origem vegetal, tal como taninos.

O curtume ao crómio é utilizado praticamente para todos os tipos de artigos, excepto na produção de sola, para a qual o curtume vegetal é insubstituível. Neste processo utilizam-se agentes basificantes para controlar o pH, de forma a maximizar o rendimento da operação, sem que ocorra precipitação do crómio como hidróxido. As peles curtidas ao crómio apresentam a cor azul, e denominam-se de *wet-blue* (figura 1.4).



Figura 1.4 - *Wet-blue*

O curtume vegetal é o processo mais antigo, mas nos dias de hoje estes curtentes são utilizados na produção de solas pelo facto de conferir à pele elevada dureza e resistência mecânica. Ambos os curtumes podem ser complementados com outros produtos, tais como gorduras, resinas, emascarantes e outros, com objectivos técnicos específicos. Existem outros produtos curtentes mas, devido às suas características, somente são utilizados como complemento destes dois curtumes.

- **Escorrimento:** é uma operação mecânica realizada após as peles serem descarregadas do fulão, que visa remover o excesso de água dos couros, em máquinas de rolos com feltros – operação representada na figura 1.5.



Figura 1.5 - Operação de escorrimento efectuado na empresa *Curtumes Aveneda, Lda.*

- Divisão e rebaixamento: estas operações são de carácter mecânico que conferem à pele as dimensões adequadas e uniformidade. Na divisão, a pele é dividida em duas camadas, uma inferior e de menor valor - crute, e uma superior. É nesta camada superior que se encontra a flor da pele e é a zona mais nobre.

O rebaixamento confere à camada superior uma espessura uniforme, tanto à pele como à crute, pelo desgaste realizado por um rolo de lâminas no lado da carne. Destes processos resultam resíduos sólidos, denominados por raspas de *wet-blue*.

Os processos mecânicos descritos estão representados na figura 1.6.



Figura 1.6 - Processos de divisão e rebaixamento na empresa *Curtumes Aveneda, Lda.*

Fase de pós-curtume ou Recurtume ou tinturaria: são realizadas operações em meio aquoso, em que as peles irão obter as características pretendidas, tais como a cor, textura, brilho, etc.

- Neutralização ou desacidulação, pois é a etapa de eliminação de ácidos livres existentes nos couros provenientes do curtume mineral ou formados no armazenamento. Nesta etapa é conveniente que se realize um ajustamento do pH para preparar o couro para os processos posteriores. Os agentes de neutralização podem ser sais, como por

exemplo bicarbonato de sódio e formiato de sódio. O volume de banho pode variar de 80 a 100% de água.

- Recurtume tem como objectivo conferir ao couro determinadas características, dependendo do artigo a fabricar. Neste processo podem ser usados diversos produtos, mediante o que se pretender obter. São usados extractos vegetais, taninos, resinas diversas, sais minerais, etc.
- Tingimento é a operação que tem por finalidade dar a cor desejada ao couro, com corantes apropriados, não só na superfície mas também em toda a sua espessura. Os corantes têm composições variadas, mas podem ser considerados como substâncias orgânicas naturais ou sintéticas, e solúveis em meio ácido, básico ou neutro. A quantidade de corante a usar pode depender da intensidade pretendida, em que normalmente não se usam quantidades superiores a 5% do peso da pele, excedendo essa quantidade as peles já se encontram saturadas e não adquirem mais cor. Para se obter a fixação da cor na pele é adicionado o ácido fórmico.

Os processos de recurtume e tinturaria podem ser visualizados na figura 1.7.



Figura 1.7 - Processo de recurtume e tingimento efectuado em fulões

- Engorduramento tem como finalidade, a incorporação de gorduras na pele, de forma a obter uma lubrificação desta, para conferir maleabilidade, textura e flexibilidade ao mesmo tempo que lhe confere também resistência mecânica ao rasgo e à rotura. As gorduras utilizadas podem ser de natureza catiónica, aniónica ou não iónica e as quantidades aplicadas dependem do produto que se pretende obter. Esta operação deve ser precedida de uma lavagem final.

Terminada a fase de tinturaria, é necessário proceder à secagem das peles, primeiramente com uma operação de escorrimento e alisamento e seguidamente da secagem propriamente dita.

- **Escorrimento e alisamento:** estas operações devem ser seguidas de um repouso das peles, depois de retiradas do fulão, em paletes para que parte da água em excesso saia da pele de forma natural, ajudando assim a fixação dos produtos aplicados em operações anteriores. Estas operações são de carácter mecânico, realizadas em máquinas apropriadas, de forma a atenuar os defeitos e irregularidades da pele, preparando-as para a secagem propriamente dita.
- **Secagem:** nesta etapa, as peles são preparadas para as etapas seguintes de acabamento. Primeiramente as peles são secas em máquinas de vácuo e depois seguem para uma secagem natural ao ar ou então em estufas, sendo um processo de secagem mais acelerado.



Figura 1.8 - Processos de escorrimento e alisamento e secagem efectuados na empresa *Curtumes Aveneda, Lda.*

Acabamento: nesta fase as peles são submetidas a várias operações mecânicas de forma a conferir as propriedades finais desejadas e a eliminar defeitos ainda existentes.

- **Amaciamento:** nesta operação as peles são batidas para obterem maleabilidade, uma vez que ficam mais rígidas depois da secagem.
- **Aparação, lixagem e prensagem:** são operações mecânicas que dão um melhor aspecto as peles e preparando-as para as posteriores operações de acabamento, tais como aplicações de padrões, gravados, serigrafias, etc.



Figura 1.9 - Processos de amaciamento, lixagem e prensagem na empresa *Curtumes Aveneda, Lda.*

NECESSIDADES E IMPACTOS AMBIENTAIS DO PROCESSAMENTO

A indústria de curtumes, ao transformar a pele em couro, requer necessidades como ^[1]: água, energia térmica e eléctrica, produtos químicos e mão-de-obra, sendo cada necessidade indispensável em todo o processo.

O processo de produção de curtumes exige grande quantidade de água devido não só ao facto de muitas das suas fases se realizarem em banhos, mas principalmente pela necessidade de se realizarem muitas lavagens.

A energia é indispensável em todo o processo; desde todas as operações mecânicas até ao funcionamento dos fulões é necessária energia eléctrica; a energia térmica é necessária principalmente na tinturaria, para aquecimento dos banhos que podem atingir os 80°C, na secagem quando as peles passam pelo secador de vazio e na estufa, nos acabamentos, pela utilização de túneis de secagem, etc.

A mão-de-obra e os produtos químicos são fundamentais em todo o processamento.

O sector dos curtumes levanta grandes problemas de poluição, apresentando um acentuado impacto ambiental devido à diversidade de resíduos produzidos, quer sejam resíduos sólidos, líquidos (águas residuais) ou gasosos (emissões gasosas).

Na figura 1.10, podem-se verificar os processos que produzem os diferentes tipos de poluentes.

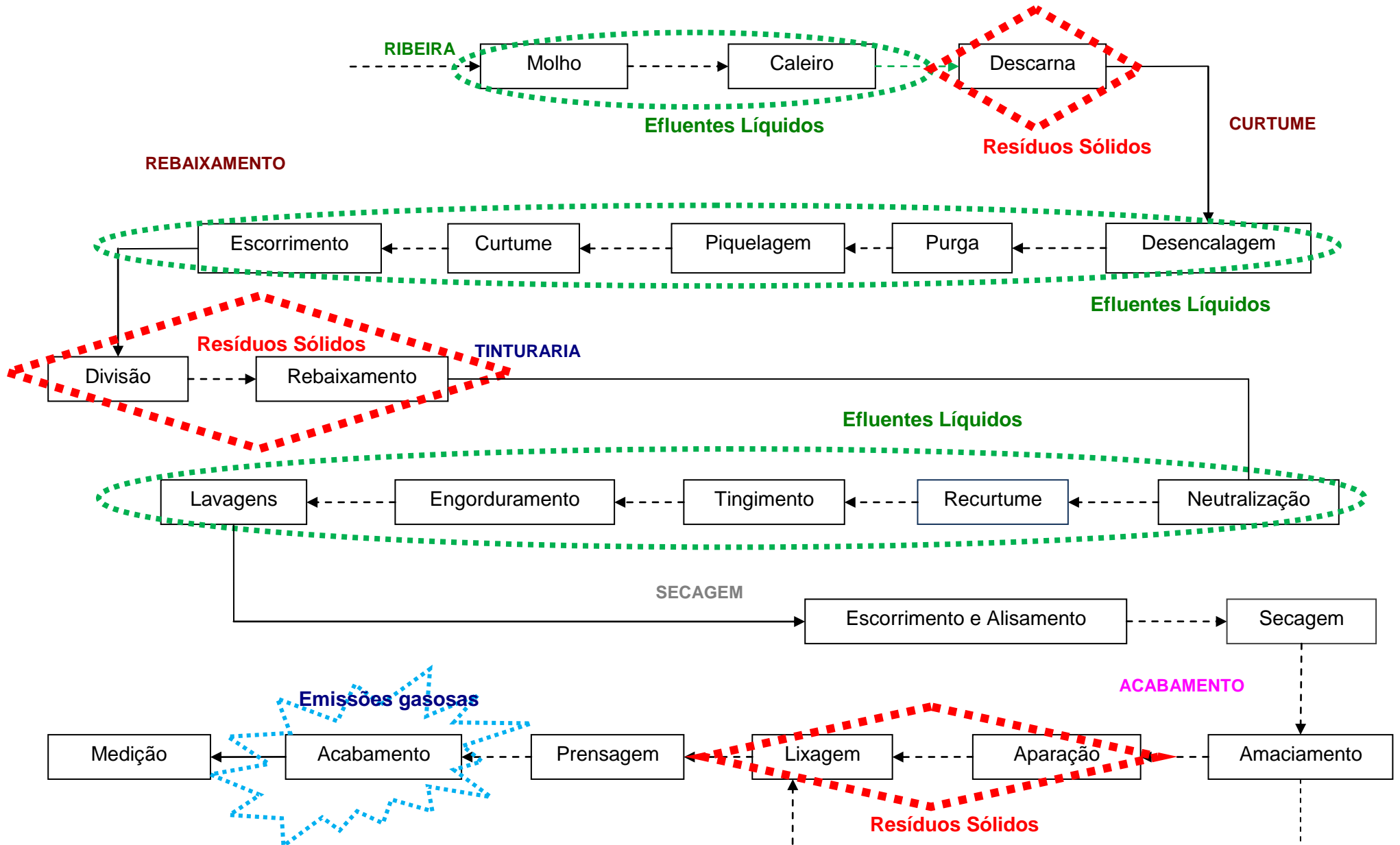


Figura 1.10 – Diagrama referente aos diferentes tipos de resíduos produzidos

Em todas as operações realizadas em fulões (ribeira, curtume e recurtume) são utilizadas grandes quantidades de água e são igualmente produzidas elevadas quantidades de efluentes líquidos. Na operação de molho são gerados efluentes com sujidades da própria pele (restos de sangue, pedaços de peles degradados e de pêlos) também como águas salinas resultantes da conservação das peles. Na fase de caleiro resultam efluentes alcalinos com teores de sulfuretos e de carga orgânica elevados. Na fase de curtume resultam águas residuais ácidas, provenientes da fase de piquelagem, e com crómio. Na fase de recurtume as águas residuais, ácidas, são compostas por anilinas ou corantes (com ou sem metais), gorduras com óleos vegetais, animais ou minerais.

Relativamente aos resíduos sólidos estes são resultantes principalmente das operações de descarna e aparação, rebaixamento e divisão, também como das lamas da estação de tratamento e resíduos de acabamento. Os resíduos provenientes da descarna, divisão e aparação, denominados de resíduos não curtidos, são compostos por resíduos de pêlos, raspas, retalhos e aparas em tripa. Nas operações de rebaixamento e divisão em curtido os resíduos, normalmente com crómio, são as aparas e raspas azuis de *wet-blue*. Do acabamento, resultam as aparas em crust e pó da lixa provenientes da aparação e da lixagem. Relativamente às lamas da estação de tratamento, estas resultam essencialmente da purificação das águas residuais, que apresentam grandes cargas orgânicas.

As emissões gasosas provenientes da indústria de curtumes são essencialmente resultantes das cabines de pintura, das operações de lixagem e da queima de combustível para a produção de vapor.

Em Alcanena foram criadas infra-estruturas capazes de tratarem as águas residuais e os resíduos produzidos pelas indústrias ^[4], a cargo da AUSTRA (Associação dos utilizadores de Sistema de Tratamento de Águas Residuais de Alcanena), mas noutras regiões do país não existem estas infra-estruturas nem este sistema de Alcanena recebe resíduos provenientes de empresas que se situam noutras regiões. Assim, as indústrias de curtumes do resto do país, vêm-se obrigadas a construírem as próprias estações de tratamento ou a descarregarem os seus efluentes e resíduos directamente no terreno, sem que haja qualquer tipo de tratamento. Uma opção tomada por muitas das empresas de sector concentrou as suas produções nas operações finais de Recurtume e Acabamento, deixando as fases de Ribeira e Curtume por estas serem fortemente poluentes.

1.3 ENERGIA SOLAR

Foi no início do século XIX que o português Padre Manuel António Gomes, mais conhecido por Padre Himalaya, ficou para a história com a invenção do mais avançado equipamento de captação de energia solar da época, o Pirelióforo (figura 1.11).

Este invento foi galardoado na exposição universal de St. Louis nos EUA ^[9], em Abril de 1904 com a atribuição do Grand Prix ao forno solar que era capaz de gerar temperaturas na ordem dos 3500°C, suficientes para fundir a maioria dos metais.



Figura 1.11 – Pirelióforo ^[5]

Contudo a utilização corrente de energia solar começou por volta do século XX, logo depois do segundo choque petrolífero, sem que este tipo de aproveitamento energético tivesse a expressão desejada, talvez devido à falta de qualidade dos equipamentos e das instalações efectuadas.

Após vários anos de investigação, assiste-se actualmente a um esforço conjunto no sentido de criar mecanismos de regulação e incentivos à utilização da energia solar. Esta utilização, seja pela vertente fotovoltaica, térmica ou passiva, visa formar micro-produtores independentes dos recursos naturais ainda existentes.

RECURSO SOLAR

O nosso país é, por excelência, um dos países da Europa com maior abundância de radiação solar ^[6], como se pode visualizar na figura 1.12. Os valores de insolação (número de horas com luz) em Portugal Continental abrangem valores entre as 2200h (a norte do país) e as 3000h (no sul do país) por ano, o que em termos energéticos representam uma radiação média diária que varia entre os 14 a 17 MJ/m² dependendo da zona do país (ver figura 1.12).

Dispondo também desta situação privilegiada, a Grécia tem cerca de 2,6 milhões de m² de colectores solares instalados, o que significa que Portugal poderia ser um maior consumidor de energia solar, uma vez que a exposição solar neste país é a mesma.

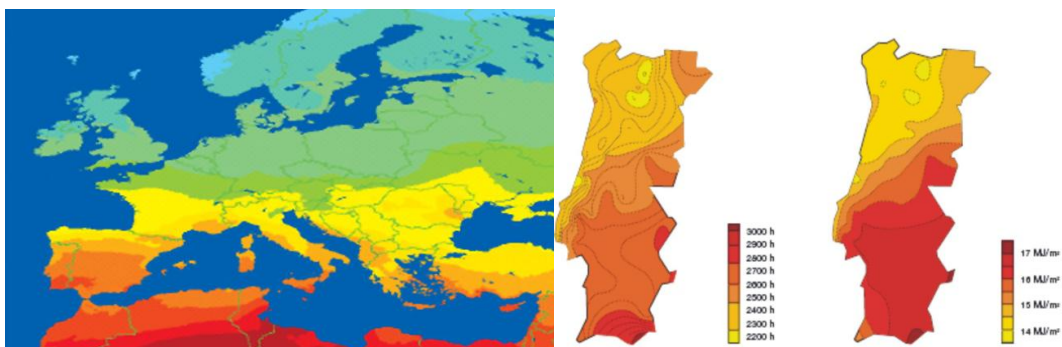


Figura 1.12 - Recurso solar na Europa e em Portugal Continental [6]

RADIAÇÃO SOLAR

O percurso da energia solar não é recto, já que ao chegar à atmosfera se reflecte, produzindo mudanças importantes na sua direcção. Contudo, esta energia reflectida chega à superfície da Terra embora não com a mesma intensidade como se chegasse do Sol. A esta radiação chama-se radiação difusa e a radiação que chega directamente do sol é designada por radiação directa. Importa referir que a radiação difusa faz com que o corpo receba sempre energia, até mesmo nos dias nublados, contribuindo com um terço da radiação total recebida. Ao adicionarmos todas as radiações temos a radiação total, que é a que interessa para os sistemas solares térmicos.

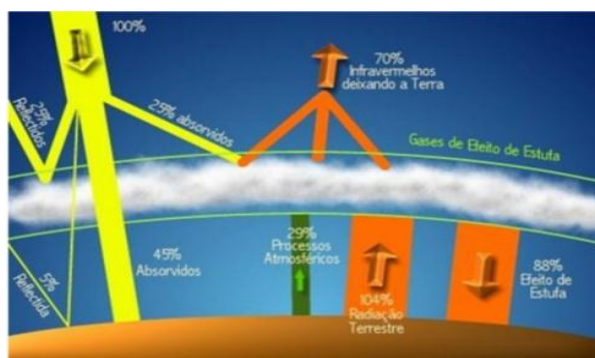


Figura 1.13 - Radiação Solar que atravessa a atmosfera [7]

A energia solar que atinge a superfície terrestre num determinado local depende de vários factores, desde a situação meteorológica (céu limpo ou nublado), latitude, longitude e também da hora do dia.

A fim de encontrar a energia do feixe de queda sobre uma superfície com uma orientação, é necessário converter o valor do fluxo de feixe vindo da direcção do sol para um valor equivalente correspondente à direcção normal à superfície.

Se θ é o ângulo entre o feixe incidente I_{bn} e do fluxo normal de uma superfície plana, o fluxo normal de queda equivalente à superfície é dado por $I_{bn} \cdot \cos\theta$. O ângulo pode ser relacionado com uma equação geral, em que Φ é a latitude, δ a declinação, Ψ o ângulo de azimute da superfície e β a inclinação da superfície em relação ao plano horizontal. [8]

A latitude Φ do local é o ângulo formado pela linha radial junta à localização do centro da terra com a projecção da linha sobre o plano equatorial. Por convenção, a latitude é medida como positiva para o hemisfério norte.

A declinação, δ , é o ângulo formado pela linha que une os centros do sol e da terra com a sua projecção no plano equatorial. Surge em virtude do facto de que a Terra gira sobre um eixo que faz um ângulo de aproximadamente $66,5^\circ$ com o plano da sua rotação em torno do sol. O ângulo de declinação varia entre um valor máximo de $+23,45^\circ$ no dia 21 de Junho e um valor mínimo de $-23,45^\circ$ a 21 de Dezembro. [8]

Os dois dias de equinócio, a 21 de Março e 22 de Setembro, resultam na relação para o cálculo da declinação: [8]

$$\delta = 23,45 \times \text{sen} \left(\frac{360}{365} \times (n + 284) \right) \quad \text{Equação (1.1)}$$

onde n é o dia do ano.

O ângulo horário correspondente ao pôr-do-sol (H_0) sobre uma superfície horizontal pode ser encontrada a partir da seguinte equação:

$$H_0 = \ar \cos[-\text{tg}(\phi)\text{tg}(\delta)] \quad \text{Equação (1.2)}$$

A razão entre a radiação global instantânea numa superfície inclinada, G_B , e a radiação global instantânea, G_H , numa superfície horizontal pode ser definida pela relação entre as radiações médias diárias de ambas as superfícies (R) [9]. Sendo que a radiação incidente numa superfície é a soma da radiação global mais a radiação reflectida (albedo), a relação média mensal é representada na seguinte expressão:

$$R = \frac{G_B}{G_H} = \frac{I_B}{G_H} = \left(1 - \frac{D_H}{G_H} \right) \times R_s + \frac{D_H}{G_H} \times \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad \text{Equação (1.3)}$$

G_B é a radiação global instantânea numa superfície inclinada (Wh/m^2), G_H é a radiação global instantânea numa superfície horizontal (Wh/m^2), D_H é a radiação difusa média mensal (Wh/m^2), I_β representa a radiação global em superfície inclinada mais o albedo (Wh/m^2) e ρ a reflectividade do solo.

Sendo que,
$$\frac{D_H}{G_H} = f(K_T) \quad \text{Equação (1.4)}$$

K_T é o índice de claridade médio mensal

A radiação directa média mensal (R_S), para superfícies cujo ângulo entre o plano vertical normal à superfície e a linha N-S (azimute, Ψ) é de 180° é dada pela seguinte expressão:

$$R_S = \frac{[\cos(\Phi - \beta) \cos(\delta) \text{sen}(H_0') + (\frac{\pi}{180} H_0' \text{sen}(\Phi - \beta) \text{sen}(\delta))]}{\cos(\Phi) \cos(\delta) \text{sen}(H_0) + (\frac{\pi}{180} H_0 \text{sen}(\Phi) \text{sen}(\delta))} \quad \text{Equação (1.5)}$$

Cujo valor de H_0' é o mínimo de entre as relações:

$$H_0' = \min \text{imo} \begin{cases} \arccos[-\text{tg}(\phi) \text{tg}(\bar{\delta})] \\ \arccos[-\text{tg}(\Phi - \beta) \text{tg}(\bar{\delta})] \end{cases} \quad \text{Equação (1.6)}$$

ENERGIA SOLAR TÉRMICA

A energia solar térmica é a energia da radiação solar, que pode ser aproveitada através de diversos tipos de conversão, permitindo o seu uso em aplicações térmicas.

Para converter a energia solar, que está disponível sob a forma de radiação, em energia térmica, utilizam-se os chamados colectores solares, que são a tecnologia mais comum para este tipo de aproveitamento.

Embora haja diferentes tipos de colectores, todos seguem o mesmo princípio, em que o calor é gerado pela absorção dos raios solares através de um corpo negro, a placa metálica (placa absorvedora). O calor gerado é transferido para um sistema de tubos incorporado nesta placa, que contem o fluido de transferência de calor dependendo da temperatura de funcionamento do sistema.

Existem vários tipos de colectores diferindo na protecção térmica que utilizam, a temperatura que se pretende, se usam ou não a concentração, podendo distinguir-se como: planos, concentradores, concentradores parabólicos ou CPC e de tubo de vácuo.

COLECTORES SOLARES PLANOS

Os colectores solares planos são os mais comuns e baratos devido à sua simplicidade. Estes absorvem o calor do Sol, directamente numa superfície de vidro preta – placa absorvedora – em que parte da radiação é reflectida pelo vidro, mas a maior parcela é absorvida por este, transmitindo-a para dentro do colector. No interior deste cria-se um efeito de estufa quando a radiação atinge o absorvedor, o qual aquece passando a emitir radiação num comprimento de onda maior, para o qual o vidro é opaco, ficando retida no interior. Normalmente o absorvedor é revestido com uma superfície selectiva, que absorve mais radiação do que a que emite.

Este tipo de colector destina-se à produção de água quente com temperaturas até 80°C, dependendo do tipo de colector, sendo que os melhores são equipados com termóstatos que regulam a circulação da água libertando-a a partir de determinada temperatura.

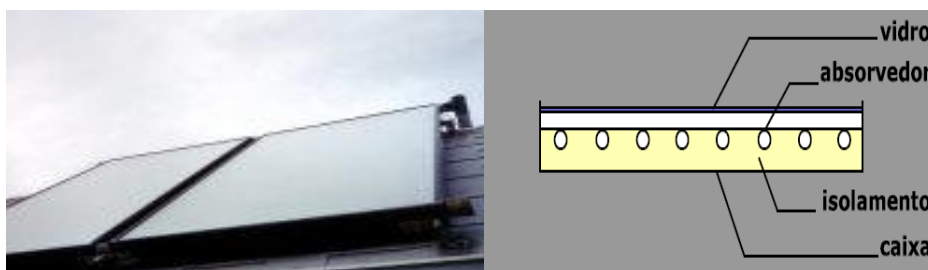


Figura 1.14 - Colector Solar Plano ^[10]

COLECTORES CONCENTRADORES

Os sistemas concentradores são caracterizados por possuírem uma forma cilíndrica e diferenciam-se dos colectores planos pela particularidade de concentrarem a radiação incidente antes de esta chegar ao absorvedor. Estes concentradores são constituídos por uma superfície espelhada e curvada de forma parabólica, que tem a função de encaminhar os raios solares para um tubo de absorção. Neste tubo circula o fluido aquecido, através de uma bomba auxiliar, que após atravessar o absorvedor é encaminhado para um permutador de calor, que permite trocas de calor entre o fluido e a água que se encontra armazenada num tanque de armazenamento térmico. O facto de numa parábola haver um único ponto focal leva-nos à explicação da forma cilíndrica do colector, que é onde se encontra colocada a placa de absorção, pelo que toda a luz incidente é concentrada nesse ponto. Usando estes sistemas parabólicos maximiza-se a razão de concentração de um colector, aumentando por isso a eficiência deste, pois toda a energia é focada num ponto.

De forma a minimizar a incapacidade de captar a radiação difusa, este colector tem incluído um sistema que permite variar a posição do painel conforme a localização da fonte

solar. Nos entanto, para certas condições climatéricas (céu nublado) não existe nenhuma solução que permita minimizar esta situação.

Esta tecnologia apenas é rentável para sistemas em grande escala (por exemplo campos de colectores) pois o investimento é relativamente elevado para necessidades energéticas duma pequena instalação, podendo ate nunca ser amortizado.



Figura 1.15 - Colectores Concentradores ^[11]

COLECTORES CONCENTRADORES PARABÓLICOS

O desenvolvimento da óptica permitiu a descoberta de um novo tipo de colectores ^[8] que combina as propriedades dos colectores planos (podem ser montados em estruturas fixas e têm um grande ângulo de visão permitindo também a captação da radiação difusa) com a capacidade de produzirem temperaturas muito mais elevadas.

A diferença fundamental entre estes colectores e os planos é na geometria da superfície absorvedora, que é constituída por uma grelha de alhetas em forma de acento circunflexo colocadas por cima de uma superfície reflectora. A captação solar realiza-se nas duas faces das alhetas, já que o sol incide na parte superior das alhetas e os raios que são reflectidos acabam por incidir na parte inferior destas, aumentando assim ainda mais a temperatura do fluído. Estas características permitem a diminuição das perdas térmicas do absorvedor (tem menor área que os planos) aumentando assim o rendimento global do colector.

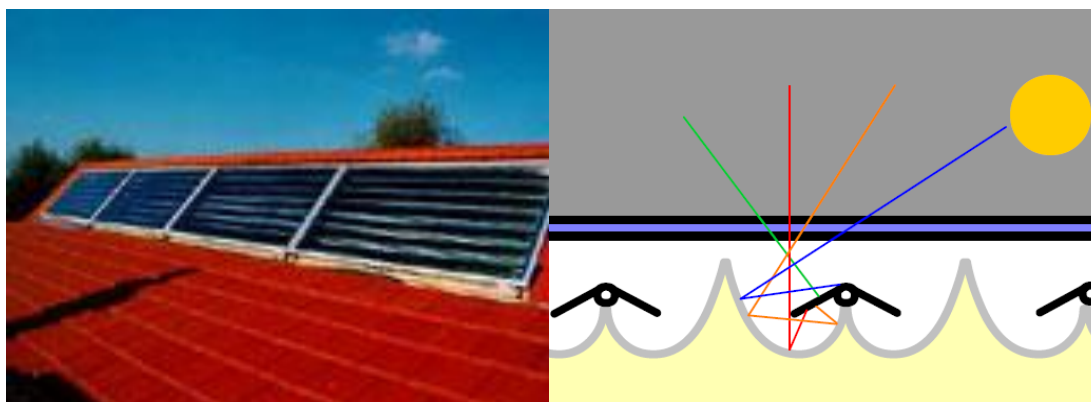


Figura 1.16 - Colectores Concentradores Parabólicos ^[11]

COLECTORES DE TUBOS DE VÁCUO

Os colectores de tubos de vácuo consistem geralmente em tubos de vidro transparente (borossilicato) de alta resistência, cujo interior contem tubos metálicos (absorvedores).^[11]

Nos tubos de vácuo a incidência solar é sempre perpendicular à superfície, devido à forma cilíndrica destes, reduzindo a reflexão e maximizando a quantidade total de radiação solar exposta nestes colectores durante o dia. Depois de absorvida e transformada em calor, os tubos de vácuo conseguem manter a radiação armazenada, graças às propriedades isolantes do vácuo. Desta forma o calor não é perdido para o meio circundante. Para ter uma ideia das propriedades isolantes destes tubos, quando a temperatura interior do tubo esta a 150°C, o seu exterior encontra-se a uma temperatura razoável, cerca de 25°C, de tal forma que se consegue tocar-lhe com a mão.^[12]

No interior do tubo de vácuo existe um tubo de cobre que possui no seu interior água destilada e aditivos especiais. Como é conhecido, o ponto de ebulição da água é de 100°C à pressão atmosférica; no entanto esta temperatura varia segundo uma relação directa com a pressão, ou seja, quanto menor for a pressão, menor será a temperatura a que a água entrara em ebulição. O tubo interior faz uso deste interessante princípio. A sua pressão é regulada para que o ponto de ebulição seja atingido em torno dos 30°C.

Desta forma, quando se atinge a temperatura de 30°C no interior do tubo, a água vaporiza e o vapor sobe até ao ponto mais alto do tubo, onde se localiza o condensador. A água fria sobe da rede e passa pelos vários condensadores do colectore solar absorvendo assim o calor fornecido por estes e desta forma produz-se a água quente. Por outro lado, o calor libertado pelo condensador faz baixar a sua temperatura interior, fazendo com que o vapor de água se condense e, por gravidade, a água líquida volte à sua posição inicial na parte inferior do tubo, criando-se assim um ciclo de transferência de calor.

Apesar de parecer um processo muito simples, a criação de um sistema como este requer um complexo processo de manufactura e com um apertado controlo de qualidade, tornando este sistema muito caro. São normalmente utilizados quando se requer temperaturas entre os 80°C e os 150°C e uma das vantagens consideráveis nestes colectores, é que como não existe água no interior destes, no caso de quebra de um dos tubos, o colector continua o seu normal funcionamento.

A atmosfera dos tubos não contém ar, estando portanto em vácuo, o que elimina as perdas por convecção para o exterior, elevando assim o rendimento a altas temperaturas devido a menores coeficientes de perdas a ele associados.

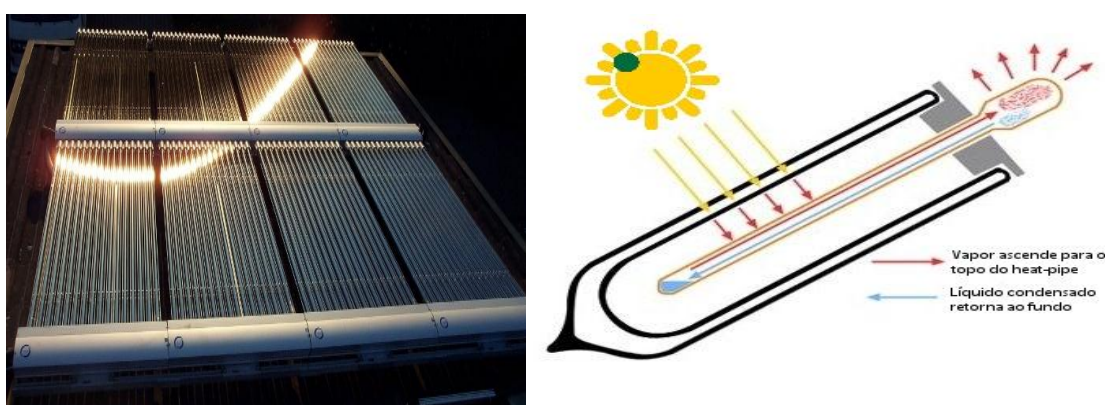


Figura 1.17 - Colectores de tubos de vácuo ^[10]

1.4 SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

O calor resultante da conversão térmica da radiação solar é armazenado num depósito de acumulação. A ligação e transferência de calor entre o colector solar e o depósito, pode ser efectuada por uma das seguintes configurações:

CIRCULAÇÃO DE TERMOSSIFÃO

Os sistemas de termossifão são utilizados essencialmente em pequenos sistemas de aquecimento. O seu princípio de funcionamento baseia-se na diferença de densidade do fluido de transferência, devido ao aumento de temperatura no colector. Assim, a água, aquecida pelo Sol no colector ^[10], sobe “empurrando” a água mais fria do depósito, forçando-a a descer, para subir novamente quando, por sua vez for aquecida.

Para que o sistema de termossifão funcione o acumulador tem de ser colocado sempre acima dos colectores, de forma a evitar o fenómeno inverso quando não há sol. Estes sistemas são compostos pelo colector solar, depósito acumulador, purgador, vaso de expansão e outros pequenos acessórios.

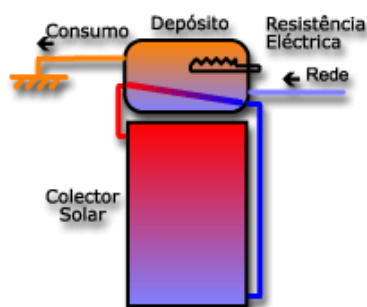


Figura 1.18 - Esquema de um sistema de termosifão ^[10]

CIRCULAÇÃO FORÇADA

Este tipo de aplicação é usual nos sistemas de média e grande dimensão. A principal diferença em relação ao sistema anterior reside no facto de se poder instalar o termoacumulador dentro da própria habitação, recorrendo a uma bomba circuladora para transportar a energia até este. Como não é um processo auto-regulado, como acontece com o termosifão, é necessário o recurso a um sistema de controlo automático (comando diferencial). O sistema de controlo (comando diferencial) está regulado de modo a pôr a bomba em funcionamento logo que a diferença de temperatura entre os colectores e o depósito seja de 5°C. ^[10]

O princípio de funcionamento é simples: são instaladas sondas para medição da temperatura do fluido térmico no campo de colectores e da temperatura da água no termoacumulador. Quando o controlador diferencial detectar que a temperatura do fluido térmico do campo de colectores é superior à da água na zona mais fria (zona inferior) do termoacumulador, a bomba circuladora entra em funcionamento, transferindo a energia para o termoacumulador. Esta transferência cessa assim que o controlo diferencial detecte que a temperatura do termoacumulador na zona mais fria supera a do campo de colectores.

Neste tipo de sistema e sempre que existe mistura da energia solar com a convencional, deve ter-se muito cuidado com a selecção do termoacumulador, este deve permitir uma boa estratificação da água, na prática este deve comportar-se como se fossem dois depósitos.

Supondo que o utilizador escolhe uma temperatura de consumo de 45°C, a função do sistema de apoio é manter a zona mais alta do depósito a esta temperatura, zona que só por si deverá ter capacidade suficiente para satisfazer as necessidades energéticas de Água Quente Solar (AQS). Assim, podemos ter basicamente duas situações de funcionamento.

Quando a radiação solar é suficiente para aquecer todo o depósito a uma temperatura igual ou superior a 45°C, o sistema de apoio não é activado e a água AQS é 100% aquecida pelo sol, ou seja grátis! Caso a radiação solar não seja suficiente, o sistema de apoio entra

em funcionamento mas apenas para compensar a energia necessária até se atingir os 45°C, ou seja, o sistema solar irá funcionar como um sistema de pré-aquecimento de água.

Havendo consumo de AQS, a água desloca-se da zona inferior do depósito que já recebeu alguma energia do sistema solar, para a zona da serpentina do sistema de apoio, onde irá receber a restante energia até se atingir a temperatura desejada. Contudo, é necessário que o depósito termoacumulador permita uma boa estratificação para que, havendo consumo de AQS a água que está na zona inferior do depósito se desloque para a zona superior como se fossem “camadas” com diferentes temperaturas sem haver mistura.

Para maximizar o rendimento do sistema solar, a temperatura na zona mais quente do termoacumulador deve ser a mais próxima possível da temperatura de utilização. Para evitar a mistura de energia solar com uma fonte de energia convencional pode-se, por exemplo, utilizar um depósito de inércia só para a energia solar. Porém, este tipo de configuração fica mais dispendioso e em princípio, obriga a mais espaço.

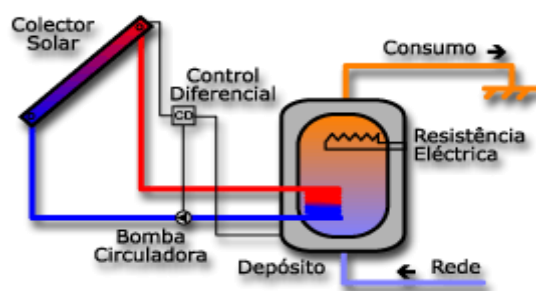


Figura 1.19 - Esquema de um sistema de circulação forçada ^[10]

ARMAZENAMENTO

Nem sempre o consumo de energia coincide com a captação, ou a procura de energia não é igual à captada, por isso é necessário recorrer ao armazenamento de energia para posterior consumo, em função das necessidades. Como tal, o recurso a termoacumuladores é essencial. Os termoacumuladores mais comuns possuem várias zonas de permuta de calor, permitindo a sua ligação com vários circuitos hidráulicos, nomeadamente o de energia de apoio.

Um sistema solar não é autónomo, pois há dias ou alturas do ano em que a energia não é suficiente para atender as necessidades desejadas, assim será necessário recorrer a uma fonte de energia convencional como o gás ou a electricidade. Porém, o seu contributo é essencial, pois nestas situações, a energia de apoio apenas contribui com o diferencial até se atingir a temperatura desejada. Os termoacumuladores devem possuir um bom isolamento térmico, ser bastante resistentes à corrosão e facilitar a estratificação da água.

2. DESENVOLVIMENTO DE ARTIGOS EM COURO

Para a empresa *Curtumes Aveneda, Lda.* a criação de novos artigos em couro é essencial pelo factor de inovação também como pela capacidade de responder aos pedidos do mercado de forma eficaz mas económica.

No desenvolvimento destes artigos deve sempre ter-se em atenção os requisitos normalmente exigidos, tais como: coloração atravessada e fixação do corante; firmeza na flor do couro; toque adequado, resistência ao rasgamento e estalamento da flor, resistência à fricção, entre outros.

2.1 ARTIGO CRISPADO

O artigo crispado é um artigo desenvolvido já há muitos anos, cuja procura oscila em função da moda. Este artigo é normalmente trabalhado a partir de pele em tripa ou então gravado depois de recurtido. A ideia base deste desenvolvimento consistiu no facto de o produzir a partir de *wet-blue*, tarefa relativamente difícil normalmente praticada sem grande sucesso. Esta ideia assenta no facto de ser mais fácil processar um artigo em *wet-blue*, que normalmente está em stock, do que o processar a partir de tripa, que nem sempre se tem em armazém ou não se pretende direccionar o curtume somente para este tipo de artigo.

O processamento deste artigo é normalmente feito a partir de pele em tripa, em que as fibras ainda não se encontram estáveis tornando assim mais fácil crispar a flor do couro. Então a ideia principal destes ensaios, a partir de *wet-blue*, foi tornar a estrutura da pele de novo instável, ou seja, manipular as fibras da pele para que a flor possa crispar. Este artigo tem como principais requisitos: vincos firmes na flor; resistência ao rasgamento; toque agradável e que não se assemelhe a uma pele batida, com grão uniforme.

Assim, procedeu-se a uma série de ensaios no sentido de alcançar o objectivo proposto. Partiu-se de uma ideia base do processo e, face aos resultados obtidos, foram feitas correcções até se atingir o pretendido.

ENSAIO I

O princípio deste ensaio foi provocar um choque de pH no couro para que esta adquirisse um efeito crispado – grão irregular e vincado, com aspecto de amarrotado. Os produtos usados foram desde basicantes fortes (carbonato de sódio com pH de cerca de 13) e produtos ácidos e adstringentes.

Tabela 2.1 - Processo efectuado no ensaio I

%	PRODUTO	TEMPO (MIN)	pH
150	Água a 30°C		
0,5	Desengordurante		
2	Ácido oxálico	180	2,0
Despejar banho			
200	Água a 30°C		
1	Carbonato de sódio	60	4,0
1	<u>Carbonato de sódio</u>	60	6,0
Repouso durante a noite			7,5
Despejar banho			
100	Água a 35°C		
0,8	Enzima 1000 unidades	60	7,0
Despejar banho			
15	Sellatan LV liquido		
5	Ácido fórmico (diluído 1:10)	15	
10	Castanheiro natural		
10	Rellugan GM (diluído 1:3)	60	
200	Água a 50°C	90	3,5
Despejar banho			
150	Água a 30°C		
2	Formiato de sódio	60	
2	<u>Bicarbonato de sódio</u>		4,5
Despejar banho			
150	Água a 60°C	20	
1	Corante		
	Gordura (diluído 1:4)	60	
0,25	Ácido fórmico (diluído 1:10)	10	
0,5	<u>Ácido fórmico (diluído 1:10)</u>	20	3,5
Despejar banho e lavar			
Secar ao ar, amaciar, bater à noite em seco e pregar			

Explicação do processo:

- ✘ Numa primeira fase começou-se por descurtir a pele (inversão do processo de curtir), tentando baixar o pH até 2, de forma repentina e retirar o máximo de agente de curtente presente na pele tentando destabilizá-la com a acção do ácido oxálico.

- ✘ A primeira neutralização (com carbonato de sódio – neutralizante forte) serviu para ajustar o pH até 8, para que a pele sofresse uma mudança brusca de pH e prepará-la para o processo seguinte. Foi garantido todo o atravessamento do carbonato pela pele, ou seja, que toda ela tivesse carácter básico.
- ✘ A purga teve como função limpar a flor por acção da enzima e relaxar a estrutura da pele, para que com a acção dos produtos ácidos usados posteriormente estes actuassem de forma adstringente; a enzima usada foi a Oropon WB.
- ✘ Com o tanino ácido (Sellatan LV), o ácido fórmico, o castanheiro e o glutaraldeído (Rellugan GM), pretendeu-se adstringir a flor da pele de forma a crespá-la.
- ✘ A segunda neutralização, com formiato de bicarbonato de sódio, teve como objectivo a preparação da pele para os processos seguintes de tingimento e de engorduramento; o pH nesta fase deveria estar próximo de 5. É neste pH que os corantes e gorduras tendem a penetrar uniformemente na pele.
- ✘ Na última fase foi adicionado corante para conferir cor à pele e de seguida a mistura de gorduras, de forma a garantir que esta ficasse com um toque macio e suave. Por último, foram fixados todos os produtos com ácido fórmico, garantindo que o pH final do banho fosse de aproximadamente 3,5.

Medidas tomadas durante o processo:

- ✘ Durante a primeira neutralização foram adicionadas mais três tomas de 1% de carbonato de sódio, para que o pH fosse de aproximadamente 8, e para que a pele tivesse um pH uniforme através da sua espessura;
- ✘ Adição de 0,5% de bicarbonato de sódio, na segunda neutralização, para que o pH tivesse um valor próximo de 5;
- ✘ Adição de 0,5% de ácido fórmico, no final do processo, para que o pH final do banho fosse de aproximadamente 3,5.

Parâmetros descritivos do couro obtido:

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS
COR	Uniforme
TOQUE	Macio e suave
CRISPADO	Não crespou

ENSAIO II

Com o mesmo objectivo do ensaio anterior, a ideia principal deste, foi de depois de descurtir a pele neutraliza-la só à superfície, ou seja, adicionando uma base forte (soda cáustica) ao carbonato de sódio fazer uma subida ainda mais rápida de pH, para que ficasse um pH muito básico à superfície mas que no seu interior a pele continuasse ácida. A segunda modificação foi relativamente á adição dos produtos adstringentes, cuja intenção foi de espremer a pele para que quando lhe fossem adicionados estes produtos (apenas o tanino e o glutaraldeído) ela tivesse um comportamento rápido de adstringência.

Tabela 2.2 - Processo efectuado no ensaio II

%	PRODUTO	TEMPO (MIN)	pH
150	Agua a 30 °C		
0,5	Desengordurante		
3	Acido oxálico	120	2,0
Noite em repouso			
200	Agua a 30 °C		
2	<u>Carbonato de sódio</u>	30	
0,5	Soda cáustica		7,0
Despejar banho			
100	Agua a 35 °C		
1,5	Enzima 1000 unidades	45	
0,5	Carbonato de sódio		
Lavar a frio. Escorrer a pele			
Sem banho e com o fulão seco bater 2min			
20	Sellatan LV liq.		
2	Acido fórmico (diluído a 1:10)		
3	Rellugan GM (diluído a 1:2)		
Rodar		2	
Parar		10	
Repetir operações (rodar, parar) 4 vezes			
Rodar 120 a 180 minutos			
150	Agua a 30 °C		
2	Formiato de sódio	60	
2	Bicarbonato de sódio		5,0
Despejar banho			
150	Agua a 60 °C	20	
1	Corante (1:10)		
12	Gordura macia (1:4)	60	
0,25	Acido fórmico (diluído a 1:10)	10	
0,5	<u>Acido fórmico (diluído a 1:10)</u>	20	4,0
Despejar banho e lavar			
Estirar, secar, amaciar, bater e pregar			

Explicação do processo relativamente ao anterior:

- ✘ Na primeira fase adicionou-se mais 1% de ácido oxálico, tentando baixar o pH até 2, mas de uma forma mais brusca do que a anterior, destabilizando-a.
- ✘ A primeira neutralização, pela acção de carbonato de sódio e soda cáustica (neutralizantes fortes), serviu para ajustar o pH até 8, para que a pele sofresse uma mudança brusca de pH, mas que desta vez não atravessasse toda a pele, ou seja, que a pele ficasse básica à superfície mas o seu interior ainda fosse ácido.
- ✘ A purga teve como função limpar a flor por acção da enzima e relaxar a estrutura da pele. Neste ensaio pretendeu-se que a estrutura ficasse ainda mais relaxada, para que, com a adição dos produtos posteriores, esta crispasse duplicando a percentagem da enzima.
- ✘ Com a pele espremida, ou seja, com pouca quantidade de água e com paragens do fulão, adicionaram-se o tanino ácido (Sellatan LV), o ácido fórmico e o glutaraldeído (Rellugan GM), para que a pele absorvesse estes produtos de forma mais rápida.
- ✘ Neste ensaio tentou-se que o processo de secagem fosse mais aproximado do processo de secagem utilizado normalmente na empresa, estiramento e secagem em vácuo.

Medidas tomadas durante o processo:

- ✘ Durante a primeira neutralização foi adicionado mais 1% de carbonato de sódio, para que o pH fosse de aproximadamente 8 à superfície, e com o teste de verde de bromocresol, verificou-se que o interior ainda se encontrava ácido.
- ✘ Adição de duas tomas de 0,5% de ácido fórmico, no final do processo, para que o pH final do banho fosse de aproximadamente 3,5.

Parâmetros descritivos do couro obtido:

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS
COR	Manchada
TOQUE	Macio e suave
CRISPADO	Pouco crispado

ENSAIO III

Com a mesma intenção do ensaio anterior, as únicas modificações deste processo foram novamente a adição do castanheiro separadamente do tanino ácido e do glutaraldeído no sentido de promover uma maior adstringência da flor.

Tabela 2.3 - Processo efectuado no ensaio III

%	PRODUTO	TEMPO (MIN)	pH
150	Água a 30 °C		
3	Ácido oxálico	120	1,5
Noite em repouso			
Despejar banho			
200	Água a 30 °C		
2	<u>Carbonato de sódio</u>	60	
0,5	Soda cáustica		6,5
Despejar banho			
100	Água a 35 °C	45	
2	Enzima 1000 unidades		
Despejar banho, retirar a pele e espremer			
20	Água a 35°C		
2	Ácido fórmico (diluído a 1:10)		
10	Castanheiro		
Rodar		5	
Parar		10	
Repetir operações (rodar, parar) 4 vezes			
Parado 60 minutos			
10	Sellatan LV liq.	5	
5	Rellugan GM	30	
100	Água a 50°C	90	
Despejar banho			
150	Água a 30 °C		
2	Formiato de sódio	60	
2	Bicarbonato de sódio		5,0
Despejar banho			
150	Água a 60 °C	20	
1	Corante (1:10)		
12	Gordura macia (1:4)	60	
0,25	Ácido fórmico (diluído a 1:10)	10	
0,5	Ácido fórmico (diluído a 1:10)	20	3,5
Despejar banho e lavar			
Secar no vácuo e na estufa, amaciar e bater à noite em seco			

Explicação do processo relativamente ao anterior:

- ✘ Na primeira operação, o descurtir, a pele apresenta as mesmas características do ensaio anterior. O ácido oxálico além de baixar o pH para 1,5, teve a acção de descurtir, destabilizando-a do efeito do cromo.
- ✘ A primeira neutralização, pela acção de carbonato de sódio e soda cáustica, serviu para ajustar o pH até 8. Com esta mudança brusca de pH e com o efeito conjunto do carbonato de sódio e da soda cáustica, a pele apresentou carácter básico em todo o corte (visualização com o teste do verde de bromocresol).
- ✘ Neste ensaio adicionou-se mais 0,5% de enzima proteolítica (Oropon WB) tentando que a pele se tornasse mais relaxada, o que aconteceu definitivamente. A pele estava bastante relaxada e macia.
- ✘ A operação de crespas, a mais importante deste ensaio, teve algumas alterações relativamente à anterior, começando por um ataque com castanheiro – extracto bastante adstringente. O tanino ácido (Sellatan LV) e o glutaraldeído (Rellugan GM), foram adicionados separadamente. Nesta operação a pele já apresentava alguma crispação principalmente na zona da barriga.
- ✘ Com a segunda neutralização, a acção do carbonato de sódio e do bicarbonato de sódio, o pH subiu novamente para cerca de 5.
- ✘ O processo de secagem foi aproximado do processo de secagem utilizado normalmente na empresa, passando apenas pelo vácuo e depois pela estufa. A pele foi retirada da estufa com uma relativa humidade, seguindo os processos de amaciamento e de batimento em seco toda a noite, num fulão adequado para o fim.

Medidas tomadas durante o processo:

- ✘ Durante a primeira neutralização foram adicionados mais 1,5% de carbonato de sódio, para que o pH fosse de aproximadamente 8.

Parâmetros descritivos do couro obtido:

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS
COR	Uniforme
TOQUE	Macio e suave
CRISPADO	Aspecto batido

ENSAIO IV

Neste ensaio, a ideia foi idêntica à do processo do ensaio I, mas com a diferença na enzima. Desta vez a enzima actua em meio ácido, sendo necessária para este efeito uma enzima ácida – Indisin A5.

Tabela 2.4 - Ensaio IV

%	PRODUTO	TEMPO (MIN)	pH
150	Água a 30 °C		
3	Acido oxálico	120	1,5
Despejar banho			
100	Água a 35 °C		
5	Indisin A5	60	4
Noite em repouso			
Despejar banho			
20	Água a 35°C		
2	Acido fórmico (diluído a 1:10)	10	2,5
10	Castanheiro	30	
10	Sellatan LV		
5	Rellugan GM	60	2,5
5	<u>Castanheiro</u>	30	
5	<u>Sellatan LV</u>		2,5
Noite em repouso			
100	Água a 50°C	90	
Despejar banho			
150	Água a 30 °C		
2	Formiato de sódio	60	4,0
2	Bicarbonato de sódio		
0,5	<u>Formiato de sódio</u>	20	5,0
0,5	<u>Bicarbonato de sódio</u>		
Despejar banho			
150	Água a 60 °C	20	
1	Corante (1:10)		
12	Gordura macia (1:4)	60	
0,25	Acido fórmico (diluído a 1:10)	10	
0,5	Acido fórmico (diluído a 1:10)	20	4,0
0,25	<u>Acido fórmico (diluído a 1:10)</u>	20	3,5
Despejar banho e lavar			
Estirar, secar no vácuo e na estufa, amaciar e bater à noite em seco			

Explicação do processo:

- ✘ Na primeira operação, o descurtir, a pele apresenta as mesmas características do ensaio anterior, pH igual a 1,5.

- ✘ Neste ensaio, relativamente ao anterior, não se realizou uma primeira neutralização uma vez que a enzima a usar actuava em meio ácido. A percentagem adicionada foi de 5%.
- ✘ A operação de crisar teve algumas alterações visto que se adicionaram duas vezes o tanino ácido e o castanheiro, ficando com um pH de 2,5.
- ✘ A segunda neutralização ocorreu de forma idêntica às anteriores.
- ✘ O processo de secagem foi exactamente igual à do processo utilizado pela empresa: estirar, secar no vácuo e completar a secagem na estufa. Após a secagem na estufa a pele seguiu os processos de amaciamento e de batimento em seco toda a noite, num fulão adequado para o fim.

Medidas tomadas durante o processo:

- ✘ Durante o processo de crispação foram adicionados mais 0,5% das tomas iniciais de castanheiro e de Sellatan LV, para que o ataque adstringente fosse mais forte.
- ✘ Foram também adicionados 0,5% de formiato de sódio e 0,5% de bicarbonato de sódio para que, na neutralização, o pH atingido fosse de 5.
- ✘ Na fixação foram adicionados mais 0,25% de ácido fórmico para que o pH final fosse de 3,5.

Parâmetros descritivos do couro obtido:

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS
COR	Uniforme
TOQUE	Macio e suave
CRISPADO	Aspecto batido

ENSAIO V

Tendo em conta que o aspecto da pele ainda não correspondia ao pretendido decidiu-se fazer algumas alterações ao processo base anterior, começando por secar as peles em *wet-blue* na estufa, para que, no início do seu processamento, houvesse uma quebra nas fibras. Neste ensaio não se utilizou nenhuma enzima e a gordura não foi a mesma.

Tabela 2.5 - Formulação do ensaio V

%	PRODUTO	TEMPO (MIN)	pH
200	Água fria		
	Noite em repouso		
3	Acido oxálico	120	3
	Despejar banho		
20	Água fria		
10	Castanheiro	60	3,5
10	Sellatan LV		
5	Rellugan GM		
Roda		120	
Pára		60	
1	Ácido Fórmico	15	3,0
5	<u>Sellatan LV</u>	120	
5	<u>Castanheiro</u>		
	Noite em repouso		
	Despejar banho		
150	Água a 30 °C		
2	Formiato de sódio	60	4,0
1	Bicarbonato de sódio		
0.5	<u>Bicarbonato de sódio</u>	30	4,5
	Despejar banho		
1	Amoníaco		
3	Corante	60	
100	Água quente	60	
5	Polímero hidrofugante		
2.5	<u>Polímero hidrofugante</u>	40	
1	Ácido fórmico	20	
1	Ácido fórmico	20	
4	Alumínio	60	3,5
	Noite em repouso		
Lavar, Estirar, secar no vácuo e na estufa, amaciar e bater à noite em seco			

Explicação do processo:

- ✘ Na operação de descurtir a pele apresenta um pH mais elevado que nos ensaios anteriores, pH de 3,0.
- ✘ Em seguimento do ensaio anterior, não se realizou uma primeira neutralização nem se utilizou enzima.
- ✘ A operação de crisar e a neutralização foram idênticas às anteriores.
- ✘ Neste ensaio procedeu-se à substituição da gordura utilizando-se um polímero hidrofugante de forma a retirar alguma da água existente na pele, mas tendo em atenção o toque agradável que se desejava.

Medidas tomadas durante o processo:

- ✘ Durante o processo de crespação foram adicionados mais 5% de castanheiro e 5% de Sellatan LV, para que o ataque adstringente fosse mais forte.
- ✘ Foram também adicionados 0,5% de bicarbonato de sódio para que na neutralização o pH atingido fosse de 4,5.
- ✘ No engorduramento foram adicionados mais 2,5% do polímero hidrofugante, na tentativa de remover o máximo de água presente entre as fibras, para que ficassem adstringentes.

Parâmetros descritivos do couro obtido:

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS
COR	Uniforme
TOQUE	Vegetal
CRISPADO	Efeito batido

ENSAIO VI

Visto que os resultados das formulações anteriores não iam de encontro ao efeito pretendido, este ensaio foi pensado numa perspectiva diferente: não baixar tanto o pH inicial da pele. Em vez de levar a pele a um choque de pH, muito ácido e logo depois muito básico, pensou-se em desidratá-la e desengordurá-la com sal.

Tabela 2.6 - Procedimento utilizado no ensaio VI

%	PRODUTO	TEMPO (MIN)	pH
50	Água a 30°C		
10	Sal	60	5
1	Bicarbonato de sódio		
2	Indiwet SN		
2	Bicarbonato de sódio	1202H	5,5
Noite em repouso – Manhã seguinte roda 10 minutos			
5	Sal	10	
2	Rellugan GT-50	60	6,5
0.5	Carbonato de sódio (1:10)	30	7,5
0.5	<u>Carbonato de sódio (1:10)</u>	15	
0.5	Bicarbonato de sódio	60	
15	Sellatan LV	10	4
1.5	Ácido fórmico (1:10)	10	3,5
0.5	<u>Ácido fórmico (1:10)</u>	360	3,6
8	Cromo		
Escorrer e estirar			
0.5	Ácido fórmico (1:10)	10	
2	Rellugan GT-50	30	
1.5	Cromo	60	
1	Formiato de sódio	30	3,5
0.5	<u>Formiato de sódio</u>	20	4
Lavar			
50	Água fria	30	
3	Sellasol NG liq.		
2	Bicarbonato de sódio	45	5,5
1	Amoníaco	10	
1	Invaderme LU	60	
3	Corante preto	30	
5	Tecnotan AR	10	
1.5	Ácido fórmico	20	4
1.5	Ácido fórmico		
Lavar + água a 60°C			
10	Gordura hidrofugante	60	
2	Ácido fórmico	30	3,5
Lavar, estirar, secar no vácuo e na estufa, amaciar e bater uma noite			

Explicação do processo:

- ✘ Na primeira operação, além duma limpeza também se pretendia que a pele ficasse isenta de gordura (proveniente do curtume), com a adição de sal. Neste passo, neutralizou-se também a pele para um pH de 5,5, relativamente alto em relação ao anterior.

- ✘ Após repouso numa noite no banho, adicionou-se mais sal e procedeu-se a um ataque com Rellugan GT-50 (agente de curtente com teor de 50% de glutaraldeído) e carbonato de sódio. A junção do glutaraldeído e do carbonato de sódio teve como principal objectivo conferir um choque de pH à pele e uma certa adstringência para promover a crispação. O Rellugan GT-50 é um agente de curtume mais forte do que o utilizado anteriormente, Rellugan GM, que apresentava um teor de aproximadamente 20% de glutaraldeído. Procedeu-se à fixação do agente de curtume e do tanino ácido, adicionado posteriormente, com ácido fórmico e com crómio.
- ✘ Depois de escorrer e estirar a pele procedeu-se a novo ataque da pele com o agente de curtume aldeídico, e então a uma pré-neutralização com formiato de sódio.
- ✘ No processo de neutralização, relativamente aos anteriores, houve a adição de um neutralizante tamponante, Sellasol NG, cuja função é ajudar a estabilizar o pH.
- ✘ Após o tingimento adicionou-se um sintético vegetal, Tecnotan AR, para encher a fibra, e posteriormente procedeu-se à fixação com ácido fórmico.
- ✘ O engorduramento destas peles foi realizado com uma gordura hidrofugante, em vez do polímero, com o mesmo intuito de remover a água presente entre as fibras.
- ✘ O processo de secagem foi igual ao anterior, semelhante ao processo de secagem normalmente efectuado na empresa.

Medidas tomadas durante o processo:

- ✘ Durante o processo foram adicionadas mais tomas de carbonato de sódio, ácido fórmico e formiato de sódio para ajustar os valores de pH pretendidos.

Parâmetros descritivos do couro obtido:

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS
COR	Uniforme
TOQUE	Vegetal
CRISPADO	Crispado principalmente nos flancos

ENSAIO VII

Dado que o ensaio anterior não satisfiz completamente, embora com alguma indicação positiva, o processo foi reformulado com algumas ideias dos ensaios anteriores voltando ao princípio do relaxamento total das fibras no início do processo, e procedeu-se a novo ensaio com uma espessura inicial da pele de 1,8 mm.

Tabela 2.7 - Formulação correspondente ao ensaio VII

%	PRODUTO	TEMPO (MIN)	pH
150	Água a 35°C		
1	Indiwet SN	180	1
10	Ácido oxálico		
5	Oropon WB		
Noite em repouso			
Manhã seguinte roda 30 minutos			
Lavar			
150	Água a 35°C		
5	Carbonato de sódio	10	
5	Carbonato de sódio	50	8
1	<u>Carbonato de sódio</u>	20	8,5
Escorrer e sem banho			
2	Carbonato de sódio	5	
7	Rellugan GT-50	30	
15	Sellatan LV	40	5
5	Ácido fórmico		
1	Ácido fórmico	30	4,5
1	<u>Ácido fórmico</u>	30	4
8	Tara	90	
+ 200	Água a 35°C		
1.5	Formiato de sódio	90	4,5
0.5	Bicarbonato de sódio		
1	Hexametáfosfato de sódio		
3	Corante castanho	120	
+ 150	Água a 60°C	10	
1	Amoníaco		
10	Gordura hidrofugante	90	
1	Ácido fórmico	30	4
1	<u>Ácido fórmico</u>	30	3,5
2	Cromo	30	
2	Cromo	180	
Lavar, secar no vácuo a 40°C e bater uma noite			

Explicação do processo:

- ✘ Na primeira operação pretendeu-se que as fibras ficassem totalmente relaxadas, através da adição de ácido oxálico e da enzima Oropon WB, atingindo um pH muito ácido. Este processo rodou durante 3h e ficou a repousar durante a noite, dando tempo para que as fibras estabilizassem.
- ✘ Depois da lavagem das peles, estas sofreram um ataque com carbonato de sódio (5% + 5%) para que elevasse de forma repentina o pH, atingindo um valor de 8,5.
- ✘ Sem banho, adicionou-se o glutaraldeído, atingindo assim o ponto crucial deste ensaio, em que se observou que as peles crespavam. Como o pH era elevado, com a adição do carbonato de sódio, adicionaram-se o tanino ácido e tara. Estes produtos são bastante adstringentes, são um complemento ao glutaraldeído nesta acção.
- ✘ No processo de neutralização foram adicionados produtos neutralizantes, preparando assim as peles para o tingimento.
- ✘ O engorduramento destas peles foi realizado mais uma vez com uma gordura hidrofugante, procedendo depois a uma fixação com ácido fórmico e sal de crómio.

Medidas tomadas durante o processo:

- ✘ Durante o processo foram adicionadas mais tomas de carbonato de sódio e ácido fórmico ajustando o pH para os valores desejados.

Parâmetros descritivos do couro obtido:

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS
COR	Uniforme
TOQUE	Vegetal
CRISPADO	Crispado vincado de forma irregular

Este ensaio conduziu ao produto pretendido, sendo que foram realizados mais dois ensaios com esta fórmula a fim de estudar o artigo em diferentes espessuras.

2.2 NAPPA SOFT

Com a realização dos estudos em diferentes espessuras do artigo crispado, surgiu uma *nappa* muito macia na pele de espessura 0,7-0,8 mm. Sendo um artigo procurado, pela sua principal característica de toque agradável, macio e leve, a empresa *Curtumes Aveneda, Lda.* pretendeu que esta *nappa* fosse ainda melhorada.

Tabela 2.8 - Formulação da *nappa* desenvolvida

%	PRODUTO	TEMPO (MIN)	pH
150	Água a 30°C		
1	Indiwet SN	180	3,5
1	Ácido acético		
5	Oropon WB		
Lavar			
100	Água a 30°C		
5	Carbonato de sódio	60	8
2	CF 177		
Escorrer			
50	Água a 30°C	5	8,5
1	Carbonato de sódio		
5	Rellugan GM	30	
10	Sellatan LV	60	7
5	Tara		
1	Ácido fórmico	30	5
Noite em repouso			
100	Água a 30°C		
1	Formiato de sódio	60	6
0.5	Bicarbonato de sódio		
1	Hexametáfosfato de sódio		
3	Corante castanho	60	
1	Ácido fórmico	30	
1	Ácido fórmico	30	4,5
Lavar			
150	Água a 60°C		
4	Neoliquer MB	60	4,5
4	Lipsol MSG		
4	Sulphirrol CF 177		
2	Óleo pé de boi		
1	Ácido fórmico	30	
1	Ácido fórmico	30	3,5
Lavar, secar no vácuo a 40°C, secar na estufa, amaciar e bater uma noite			

Explicação do processo relativamente ao artigo para crispado:

- ✘ Na primeira fase substituiu-se o ácido oxálico por ácido acético, um ácido muito mais fraco.
- ✘ Depois da lavagem das peles, estas sofreram um ataque com carbonato de sódio para elevar de forma repentina o pH, atingindo um valor de 8.
- ✘ Em banho curto (50% de água a 30°C) adicionou-se o glutaraldeído promovendo o relaxamento total das fibras.
- ✘ A adição do tanino ácido e de extracto de tara completou a acção do glutaraldeído na operação.
- ✘ No processo de neutralização foram adicionados produtos neutralizantes, preparando assim as peles para o tingimento.
- ✘ O engorduramento destas peles foi o oposto do utilizado no artigo crispado. As gorduras utilizadas neste ensaio promoveram o toque muito macio.

Parâmetros descritivos do couro obtido:

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS
COR	Uniforme
TOQUE	Muito macio, suave e mórbido

A diferença entre as nappas resultantes destes ensaios, foi que a nappa resultante do ensaio 2 apresentava um toque mais armado, mais volumoso do que a nappa do ensaio 1. Pode-se dizer que se obteve o mesmo artigo, mas com características diferentes em termos de volume.

2.3 CURTUME DE BIOCOURO

A prevenção ambiental exigida nos dias de hoje leva a que esta indústria seja forçada a desenvolver artigos biodegradáveis, que não causem problemas de saúde ou ambientais. Sendo o biocouro um produto com especial valor para a empresa *Curtumes Aveneda, Lda.* e com o processo já estabelecido, a preocupação é tornar este artigo cada vez melhor.

A ideia partiu dum ensaio que se fez na empresa, por iniciativa dum fornecedor de produtos para a indústria de curtumes, cujo intuito era reduzir de forma significativa os

produtos químicos envolventes na fase de curtume de biocouro. Foi realizado o ensaio com Sellatan CFX (agente de curtume livre de metais) representado na tabela 2.9.

Tabela 2.9 - Ensaio de biocouro com Sellatan CFX

%	PRODUTO	TEMPO (MIN)	OBS.
50	Água a 34°C		
0.5	Sulfato de amónio	20	
0,5	Bissulfito de sódio		
Escorrer bem o banho			
1	Desencalante	20	pH=7,5
0,3	Indiwet SN		
2	Desencalante	60	pH=7
0.5	Desencalante	210	pH=7,5
Noite em automático 3' por hora			
0,5	Basozym 1000	20	pH=7,5
0,2	Indiwet SN		
Lavar bem durante 20' + água fria			
8	Sal		
0,1	Deslizante	15	°Be=6
0,15	Bactericida		
3.5	<u>Sal</u>	5	°Be=8
0,5	Ácido fórmico	30	
1.5	Ácido sulfúrico	60	
0.06	Bactericida	120	
Noite em automático 3' por hora			
Controlo de pH – pH=1.8 + água fria			
3	Sellatan CFX	60	
3	Sellatan CFX	60	
2	Sellatan CFX	360	pH=2,3
0.8	Basificante	180	pH=4,3
Noite em automático 3' por hora - Descarregar			

Como o artigo resultante deste ensaio não apresentava uma cor ainda mais clara do que o biocouro já fabricado – objectivo que a empresa procura atingir – o ensaio que se desenvolveu posteriormente, representado na tabela 2.10, teve como propósito tornar o biocouro ainda mais claro, mas tendo também em conta as resistências físico-mecânicas.

Tabela 2.10 - Ensaio de biocouro

%	PRODUTO	TEMPO (MIN)	OBS.
50	Água a 34°C	20	pH=6,5
0,5	Bissulfito de sódio		
Escorrer bem o banho			
1	Desencalante	20	
0,3	Indiwet SN		
2	Desencalante	60	pH=8,5
Noite em automático 4' por hora			
0,5	Basozym 1000	25	
0,2	Indiwet SN		
Lavar bem durante 20'			
8	Sal	15	°Be=4,2
0,1	Deslizante		
0,15	Bactericida	5	°Be=5,7
2	<u>Sal</u>		
3	<u>Sal</u>	5	°Be=8,0
0,5	Ácido fórmico	30	
1	Ácido sulfúrico	60	pH=3,6
0,2	Ácido sulfúrico	30	pH=2,7
1,5	Glutaraldeído	30	
1,5	Glutaraldeído	30	
1	Glutaraldeído	30	
1,5	Formiato de sódio	60	
1	Dispersante	60	
2,5	Retanal XD	180	
2,5	Retanal XD		
Noite em automático 4' por hora - Descarregar			

Explicação do processo:

- ✘ As fases de desencalagem, purga e piquelagem foram as mesmas que a empresa já pratica no processamento normal;
- ✘ A fase de curtume propriamente dita teve como alteração o agente de curtume.

Relativamente aos resultados obtidos, a tabela 2.11 apresenta as propriedades físicas e mecânicas comparativas dos dois ensaios apresentados e do processo de biocouro fabricado normalmente pela empresa *Curtumes Aveneda, Lda*.

Para tal diferenciaram-se os artigos como:

- Processo da empresa – Processo 1
- Processo com Sellatan CFX – Processo 2
- Processo desenvolvido – Processo 3

O processo de curtume de biocouro que a empresa normalmente utiliza não é aqui apresentado por motivos de confidencialidade.

Tabela 2.11 - Propriedades físicas e mecânicas dos três ensaios

	PROCESSO 1	PROCESSO 2	PROCESSO 3
COR	Amarelada	Amarelada	Acinzentada
RESISTÊNCIA DA FLOR À EXTENSÃO - LASTÓMERO			
ALONGAMENTO NA ROTURA DA FLOR (mm)	6,2	6,0	6,6
ALONGAMENTO NA ROTURA TOTAL (mm)	>8,5	7,7	>7,8
CARGA DE ROTURA DA FLOR (N)	390,4	194,7	603,7
CARGA NA ROTURA TOTAL (N)	>760,4	368,7	>796,1
RESISTÊNCIA AO RASGO – BAUMANN			
CARGA MÉDIA DE ROTURA (N)	158,7	58,6	224,1
CARGA MÉDIA DE ROTURA – SENTIDO L (N)	134,4	59,8	217,4
CARGA MÉDIA DE ROTURA – SENTIDO T (N)	183	57,3	230,9
TEMPERATURA DE CONTRACÇÃO (°C)	77	82	82

Os valores normalmente exigidos para o alongamento e carga na rotura quando há extensão da flor são 7,0 mm e 200 N respectivamente, relativas a couro para calçado. No que respeita à carga na resistência ao rasgo, o valor exigido para calçado é de 120 N.

Assim, a comparação dos diferentes trabalhos aponta para um bom resultado do processo proposto, Processo 3, não só nas resistências físico-mecânicas como também na temperatura de contracção. O Processo 2 é nitidamente pior no que respeita às resistências físico-mecânicas.

No entanto o objectivo principal não foi conseguido, pois a pureza da cor não correspondeu ao esperado por comparação com a cor obtida no processo da empresa.

Sugere-se assim continuação no desenvolvimento deste artigo, que por motivos de falta de tempo não foi possível concluir.

3. ANÁLISE E OPTIMIZAÇÃO DO ARTIGO CRISPADO

Face ao sucesso no desenvolvimento do artigo crispado, decidiu-se analisar o artigo sob o ponto de vista económico e propor um processo optimizado. A estratégia de optimização apontou para os seguintes pontos:

- Redução da energia térmica;
- Redução da energia eléctrica;
- Redução da quantidade de água;

Nesta base, fez-se um ensaio com o processo de optimizado, que é apresentado na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Processo desenvolvido para a optimização do artigo crispado

%	PRODUTO	TEMPO (MIN)	pH
150	Água a 30°C		
1	Indiwet SN	180	1
10	Ácido oxálico		
5	Oropon WB		
Noite em repouso			
Manhã seguinte roda 30 minutos			
Lavar			
100	Água a 30°C		
5	Carbonato de sódio	10	
5	Carbonato de sódio	50	8
1	Carbonato de sódio	15	8,5
Escorrer e sem banho			
2	Carbonato de sódio	5	
7	Rellugan GT-50	30	
15	Sellatan LV	30	5
5	Ácido fórmico	30	
1	Ácido fórmico	30	4,5
1	Ácido fórmico	30	4
8	Tara	60	
+ 150	Água a 35°C		
1.5	Formiato de sódio	60	4,5
0.5	Bicarbonato de sódio		
1	Hexametáfosfato de sódio		
3	Mistura de corantes	60	
+ 150	Água a 50°C	10	
1	Amoníaco		
10	Gordura hidrofugante	60	
1	Ácido fórmico	30	4
1	Ácido fórmico	30	3,5
2	Cromo	30	
2	Cromo	120	
Lavar, secar no vácuo a 40°C e bater uma noite			

Este processo conferiu as mesmas características que o processo de crispado desenvolvido.

A tabela 3.2 apresenta as diferenças relativas às quantidades de água, respectivas temperaturas e tempos de operação dos processos para o artigo crispado desenvolvido e otimizado que se designaram por P1 e P2, respectivamente (não foram tomadas em conta as quantidades de água das lavagens).

Tabela 3.2 - Comparação dos dois processos

% Água P1	Temperatura P1 (°C)	Tempo de operação P1 (min)	% Água P2	Temperatura P2 (°C)	Tempo de operação P2 (min)
150	35	180	150	30	180
Noite em repouso					
Manhã seguinte roda 30 minutos					
Lavar					
150	35	80	100	30	75
Escorrer e sem banho					
+ 200	35		+150	35	
+ 150	60	805	+150	50	585
Lavar, secar no vácuo a 40°C e bater uma noite					

A tabela 3.3 serve para comparar os consumos totais de energia térmica, energia eléctrica, quantidade de água e tempo de operação dos dois processos: P1 e P2.

Também são apresentados os custos relativos aos consumos de energia térmica e eléctrica. É de salientar que os ensaios foram realizados com a mesma quantidade e peso de couros, 2 couros com 4,5 kg.

Tabela 3.3 - Comparação entre os artigos desenvolvido e otimizado

PARÂMETROS	PROCESSO P1	PROCESSO P2
Volume de água utilizada (L)	29,25	24,75
Tempo de operação (H)	18h15	14h30
Energia eléctrica (kWh)	321,2	255,2
Energia térmica (kJ)	2.910	2.053
Custos da energia eléctrica (€)	30,16	23,96
Custos da energia térmica (€)	0,0265	0,0187
Custo Total (€)	30,19	23,98

O exemplo de cálculo para os custos relativos aos consumos de energia eléctrica e térmica é apresentado no anexo A.

Pela comparação da tabela 3.3 deparamo-nos com uma redução de cerca de 15% na quantidade de água; 21% na quantidade de energia eléctrica; 30% na quantidade de energia térmica.

Pode-se assim concluir que o artigo optimizado representa uma poupança de 6,21€, ou seja, cerca de 21%, isto numa quantidade relativamente pequena (ensaio) o que se torna significativo quando se passa para a produção propriamente dita.

Por exemplo, na produção de 3.000 ft² deste artigo ter-se-ia:

- 200 Couros com 15 ft² cada
- Peso total de 450 kg

Assim:

Economia de energia (€) = Economia Energia Termica + Economia Energia Electrica

Economia de energia (€) = $(0,0265 \times 100 - 0,019 \times 100) - (30,16 \times 100 - 23,96 \times 100)$

Economia de energia (€) = 620,75€

Redução do consumo de água = Quantidade de P1 \times 100 – Quantidade de P2 \times 100

Redução do consumo de água (L) = $29,25 \times 100 - 24,75 \times 100 = 450L$

4. SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DE ÁGUA

A necessidade de diminuir consumos de energia, quer por questões económicas ou ambientais, promove a intenção da implementação de energias renováveis.

Assim, a empresa *Curtumes Aveneda, Lda.* foca as suas atenções no estudo ao recurso de colectores solares térmicos. O estudo apresentado contou com uma análise a instalação da rede de água actual e aos respectivos consumos (água quente e fria) seguido da estimativa à energia gasta para o aquecimento da mesma.

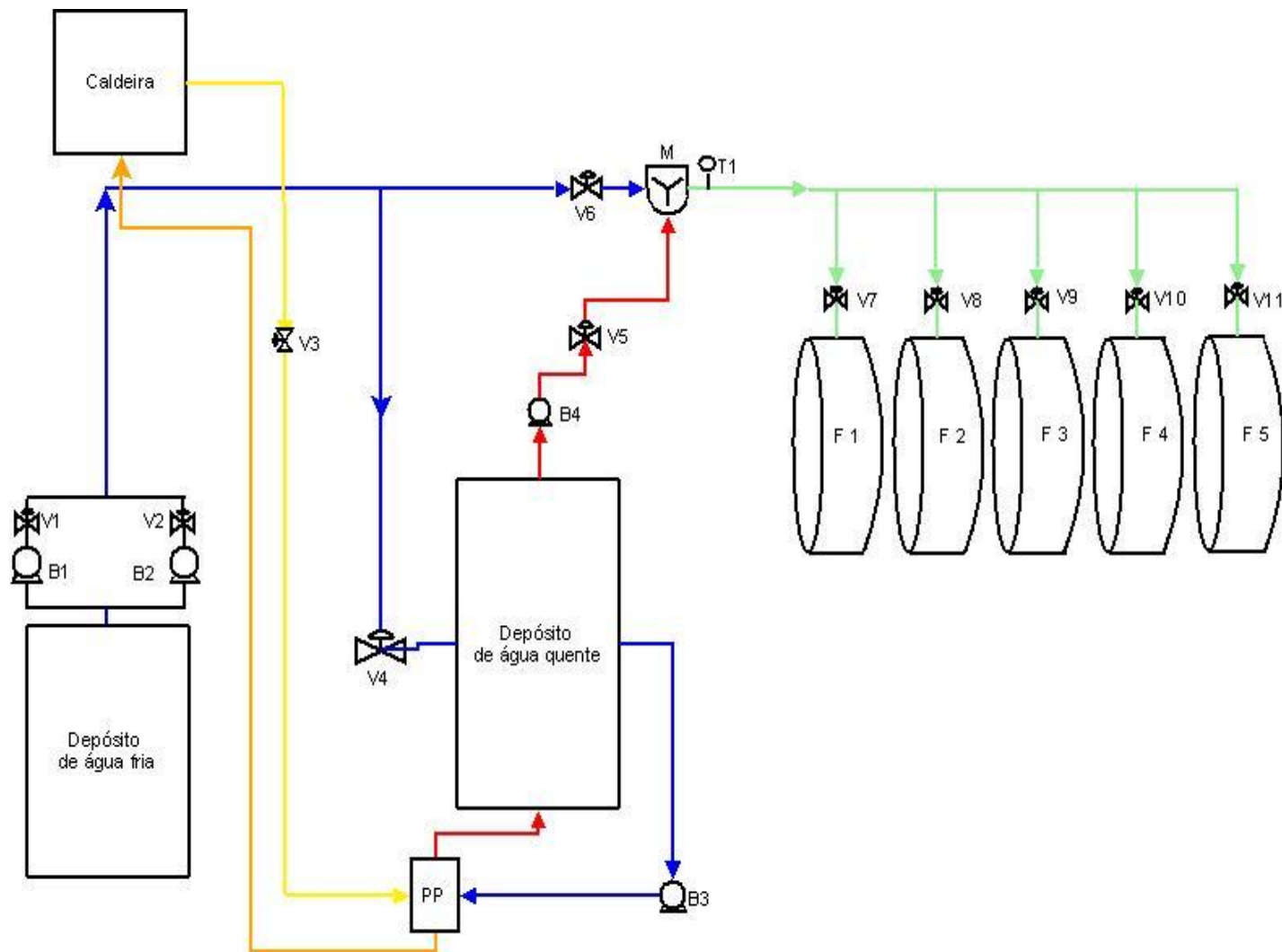
4.1 INSTALAÇÃO ACTUAL

Na figura 4.2 é apresentado o esquema representativo da instalação da linha de água actual da empresa.

A água utilizada pela empresa é proveniente de furos existentes no terreno, sendo que a temperatura ambiente desta ronda os 17°C no Inverno e 20°C no Verão. Com a ajuda de um permutador de placas, a água é aquecida até à temperatura de 80°C sendo esta reservada no depósito existente. Quando é necessária água a 40°C, por exemplo, o operador com a ajuda do termómetro existente à saída do misturador (figura 4.1), regula a válvula do fluido quente que vai ser adicionada ao fluido frio até que seja atingida a temperatura desejada.



Figura 4.1 - Válvula misturadora e termómetro existentes na empresa *Curtumes Aveneda, Lda.*



- Legenda:**
- B1 a B4 – Bombas centrífugas
 - V1 a V11 – Válvulas reguladoras
 - M – Válvula misturadora de fluidos
 - T1 – Termómetro da válvula misturadora
 - F1 a F5 – Fulões
 - PP – Permutador de placas
 - Linha de vapor
 - Linha de condensados
 - Linha de água fria
 - Linha de água quente
 - Linha de água controlada pela válvula misturadora

Figura 4.2 - Esquema representativo da instalação da linha de água

4.2 CONSUMO DE ÁGUA

No sentido de apurar o consumo real de água foram recolhidos dados na semana de 8 a 12 de Fevereiro, onde se contabilizaram os caudais de água utilizados e as respectivas temperaturas (consultar Anexo B).

Salientando que em Fevereiro se regista um menor número de encomendas, por corresponder ao final de colecção na indústria de calçado, efectuou-se uma estimativa para o consumo máximo de água, ou seja, com todos os fulões a operar.

A figura 4.3 representa os picos de consumo de água relativamente a cada operação nos diferentes dias em que foram recolhidos os dados:

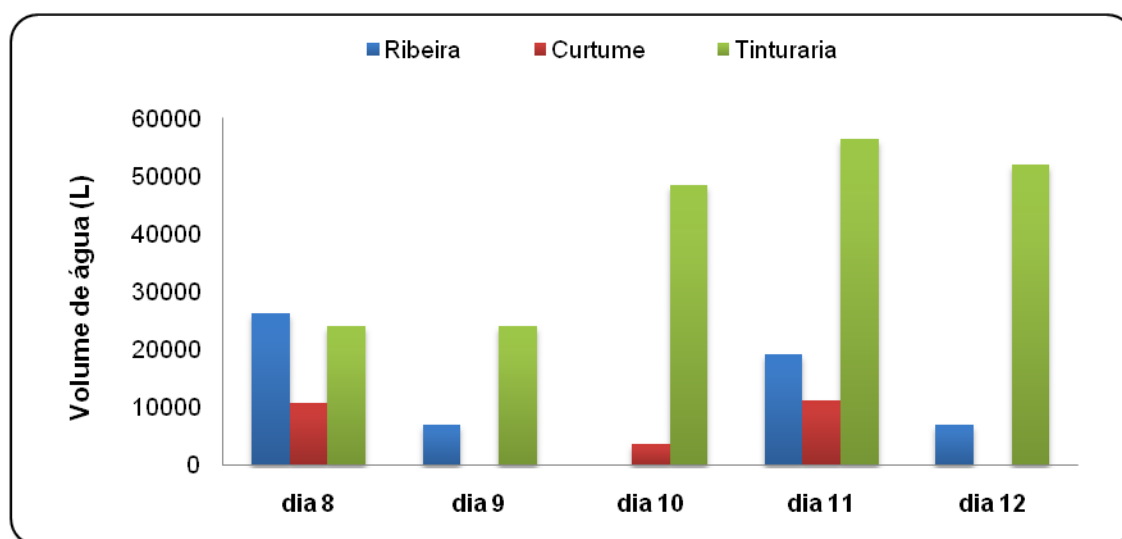


Figura 4.3 - Volume de água utilizado nas diferentes fases e nos respectivos dias

Pela análise da figura anterior, constata-se que o dia de maior consumo foi a 11 de Fevereiro, em que todas as operações foram realizadas. A ribeira operou todos os dias à excepção de dia 10, o curtume foi realizado nos dias 8, 10 e 11, enquanto que a operação de tinturaria foi realizada todos os dias da semana. Assim se pode explicar a ausência de consumos de água no dia 9 e 11, da fase de curtume; e ausência de consumo de água, na fase de ribeira, nos dias 10 e 11.

Para o dia de maior consumo de água, dia 11 de Fevereiro, efectuaram-se cálculos no sentido de encontrar o volume total utilizado de água quente e fria. A figura 4.4 representa os picos de consumo para este dia.

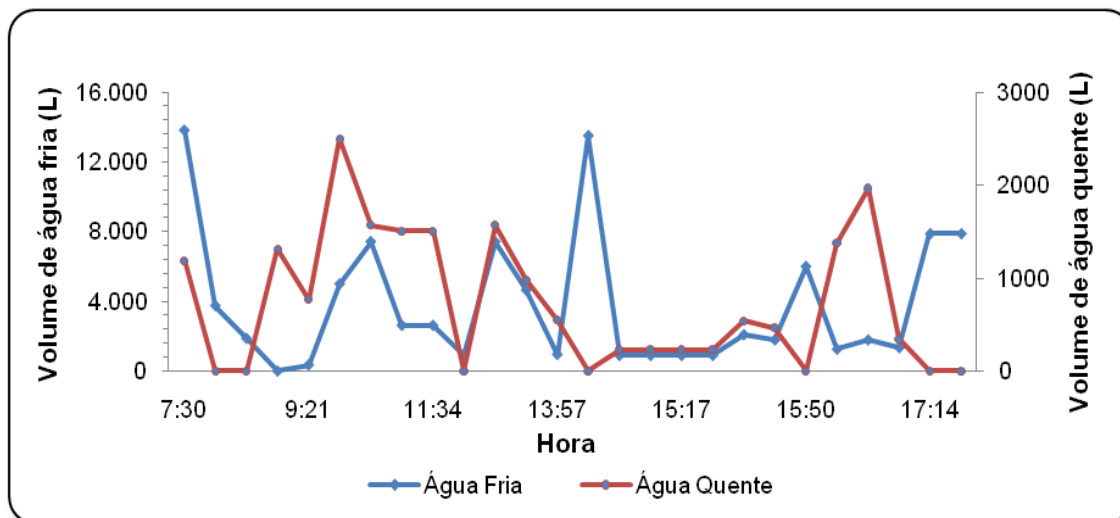


Figura 4.4 - Picos de consumo de água quente e água fria para o dia 11 de Fevereiro

O consumo máximo estimado, com todas as operações a laborar, representa um total de cerca de 117.500 L por dia, dos quais 19.077 L são de água quente (de 17°C até 80°C). Os cálculos referentes às estimativas da necessidade de água quente, se todas as fases estivessem em operação, encontram-se no anexo C.

A figura 4.5 representa percentagens comparativas dos consumos de água correspondentes a cada fase do processamento do couro.

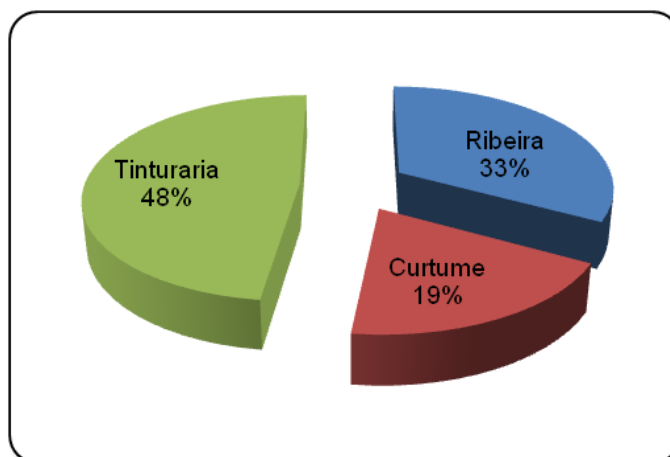


Figura 4.5 - Comparação dos consumos de água nas três fases do processo

A Tinturaria apresenta um maior número de fulões a trabalhar, sete de grandes dimensões e oito de ensaio (pequenos), facto este que leva a um maior consumo de água. As operações de Ribeira e Curtume não são realizadas todos os dias, funcionando em média duas vezes por semana, mas representam no seu conjunto um consumo superior a

48%, sendo de 33% na Ribeira e 19% no Curtume. Na fase de acabamento o consumo de água é exíguo, sendo por isso insignificante relatar o volume gasto.

4.3 CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA

Para que haja um termo de comparação do sistema actual de distribuição de água com o sistema solar em estudo, é essencial que haja uma avaliação do consumo energético relativo às operações consumidoras de água quente. O cálculo relativo à energia térmica é correspondente ao dia de maior consumo de água, dia 11 de Fevereiro – ver anexo D.

Na tabela 4.1 estão representados os consumos de energia térmica nas diferentes operações consumidoras de água.

Tabela 4.1 - Energia térmica dispendida nas diferentes operações consumidoras de água

Operação	E_T (kWh) /dia
Ribeira	59,68
Curtume	75,69
Tinturaria	377,73
Total	513,10

A figura 4.6 diferencia os consumos de energia térmica, em percentagem, nas diferentes operações consumidoras de água.

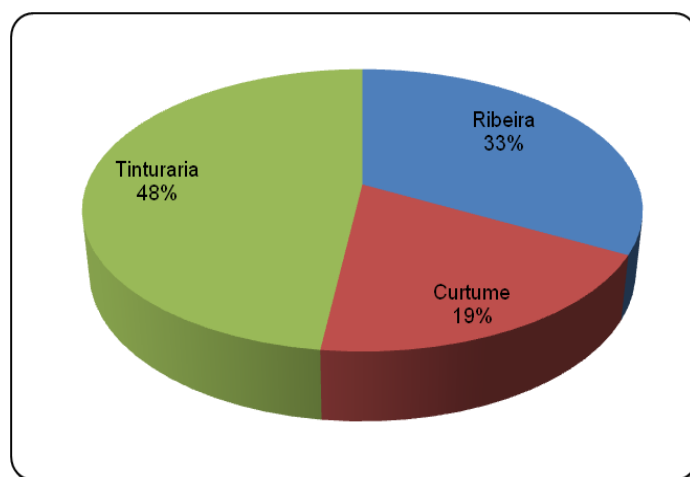


Figura 4.6 - Cotação percentual do consumo de energia térmica

A figura anterior mostra, de forma significativa, que a tinturaria é a operação que mais consome energia térmica. Esta diferença entre as operações deve-se ao facto de que a tinturaria requer temperaturas bastante mais elevadas comparativamente com as operações

de ribeira e curtume. Enquanto na Ribeira a temperatura máxima de utilização de água chega aos 28°C, o curtume aos 38°C, a tinturaria requer temperaturas até aos 80°C.

5. PROJECTO DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA SOLAR

A energia solar que atinge uma superfície terrestre, num determinado local, depende de vários factores, tais como as coordenadas equatoriais do local (Φ e Longitude), situação meteorológica, entre outros.

Um colector solar térmico deve ser posicionado de forma a captar a máxima energia solar possível, para isso ter-se-á que fazer uma análise à radiação incidente do local, para que o colector se ajuste da melhor forma.

Devido à proximidade das coordenadas equatoriais da empresa com as do distrito do Porto, os valores necessários para o dimensionamento do sistema solar foram os do distrito do Porto.

A inclinação do colector solar em relação ao plano horizontal é escolhida de forma a maximizar o aproveitamento energético anual, assim, como se pretende um sistema solar que funcione todo o ano, a inclinação do colector, β , deve ser a latitude menos 5° .

Para que os colectores estejam posicionados de forma a captar o maior número de horas possível ao sol e durante o período do dia em que a potência irradiada pelo sol seja máxima, os colectores devem ser orientados para o sul geográfico, que no caso específico representa um azimute, Ψ , de 15° .

Tabela 5.1 - Dados relativos às coordenadas equatoriais ^[9]

Φ ($^\circ$)	Longitude ($^\circ$)	Ψ ($^\circ$)	β ($^\circ$)	ρ ($^\circ$)
41	8,7	15	36	0,2

5.1 DETERMINAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE

De forma a determinar a radiação global em superfície inclinada mais o albedo (Wh/m^2), I_β , necessário para o cálculo da área de colectores a instalar, foram determinados parâmetros importantes para esse cálculo, tais como a declinação mensal média, $\delta_{\text{MÉDIA}}$, o ângulo horário correspondente ao pôr-do-sol (H_0), a razão entre a radiação global instantânea numa superfície inclinada e a radiação global instantânea numa superfície horizontal (G_B/G_H) e a relação entre as radiações médias diárias de ambas as superfícies (R).

Para a determinação da declinação média mensal, $\delta_{\text{MÉDIA}}$, apresentada na tabela 5.2 foi seguida a equação [1.1].

Tabela 5.2 - Declinação média mensal

Mês	$\delta_{MÉDIA}$ (°)
Janeiro	-20,85
Fevereiro	-13,33
Março	-2,39
Abril	9,49
Mai	18,81
Junho	23,08
Julho	21,10
Agosto	13,30
Setembro	1,99
Outubro	-9,85
Novembro	-19,05
Dezembro	-23,10

Para o cálculo da radiação directa média mensal, R_s , são apresentados os valores calculados dos parâmetros necessários à aplicação da equação 1.5, tais como: índice de claridade médio mensal (K_T), razão entre a radiação instantânea numa superfície inclinada e numa superfície horizontal (G_B/G_H) e o ângulo do pôr-do-sol mensal (Ho'). Os parâmetros calculados estão apresentados na tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Parâmetros necessários ao cálculo da radiação directa média mensal e respectivos valores.

Mês	K_T	D_H/G_H	Ho' (°)		R_s
			$\arccos[-\text{tg}(\Phi)\text{tg}(\delta)]$	$\arccos[-\text{tg}(\Phi-\beta)\text{tg}(\delta)]$	
Janeiro	0,445	0,3913	70,74	88,13	2,2193
Fevereiro	0,498	0,3828	78,16	88,84	1,7939
Março	0,526	0,3962	87,93	89,80	1,3880
Abril	0,609	0,3739	98,33	90,82	1,0888
Mai	0,611	0,3967	107,16	91,67	0,9151
Junho	0,638	0,3919	111,66	92,09	0,8460
Julho	0,675	0,3660	109,53	91,90	0,8773
Agosto	0,663	0,3532	101,81	91,16	1,0133
Setembro	0,603	0,3594	91,73	90,17	1,2639
Outubro	0,551	0,3600	81,35	89,15	1,6453
Novembro	0,492	0,3678	72,60	88,30	2,1007
Dezembro	0,472	0,3654	68,32	87,90	2,3885

Para o cálculo da radiação solar incidente numa superfície inclinada de 36° foram necessários os valores da radiação média mensal, R , (referida na equação 1.3) e da radiação global média mensal incidente na superfície horizontal (\dot{G}_H).

Tabela 5.4 – Valores da radiação média mensal, radiação global média mensal em superfície horizontal e da radiação global média mensal em superfície inclinada.

Mês	R	G_H (Wh/m²)	I_β (Wh/m²)
Janeiro	1,7280	1806	3120,73
Fevereiro	1,4749	2741	4042,69
Março	1,2167	3974	4835,29
Abril	1,0397	5780	6009,70
Mai	0,9305	6668	6204,71
Junho	0,8885	7332	6514,57
Julho	0,9069	7526	6825,21
Agosto	0,9946	6613	6577,46
Setembro	1,1549	4956	5723,68
Outubro	1,3997	3384	4736,72
Novembro	1,6835	2182	3673,34
Dezembro	1,8704	1701	3181,56

Todos os valores apresentados estão calculados no anexo E.

O índice de claridade médio mensal (K_T) e a radiação global média mensal incidente na superfície horizontal (\hat{G}_H) são valores fornecidos pela tabela de energia solar presente no anexo F.

5.2 DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DE COLECTORES SOLARES

O sistema de colectores solares térmicos a instalar terá como função fazer o pré-aquecimento da água a ser utilizada no processamento de couros. A água que será aquecida pelos colectores é proveniente do furo existente na empresa, e depois de aquecida pelo sistema esta terá como destino um depósito de capacidade de 16000L. Posteriormente, esta água que se encontrará a uma temperatura próxima dos 35°C, será direccionada para um segundo depósito onde vai ser aquecida, a uma temperatura máxima de cerca de 80°C, e aí permanecer até que seja requisitada.

Os colectores adequados à situação descrita são colectores solares planos, escolha feita relativamente à temperatura de utilização. Estas máquinas térmicas ^[9] estão sujeitas a condições adversas de trabalho tais como as diferentes variações de radiação solar. Para se poder fazer uma análise ao comportamento deste é necessário que sejam consideradas condições estacionárias: radiação solar constante e uniforme.

Como base para o balanço térmico ^[9], temos:

$$P_i = P_u + P_p \quad \text{Equação (5.1)}$$

P_i – Potência incidente total (W);

P_u – Potência útil recolhida pelo fluido térmico (W);

P_p – Potência perdida por dissipação para o exterior (W).

Como:

$$P_i = A_c \times I_\beta \times \tau \times \alpha \quad \text{Equação (5.2)}$$

e

$$P_p = A_c \times U_L \times (T_c - T_a) \quad \text{Equação (5.3)}$$

então:

$$P_u = A_c \times [(I_\beta \times \tau \times \alpha) - U_L \times (T_c - T_a)] \quad \text{Equação (5.4)}$$

A_c – Superfície do colector (m^2);

τ – Transmitância da cobertura transparente;

α – Absorvância do colector;

U_L – Coeficiente global de perdas ($W/m^2 \cdot ^\circ C$);

T_c – Temperatura média da placa absorsora ($^\circ C$);

T_a – Temperatura ambiente ($^\circ C$);

Como não se pode calcular directamente a temperatura média da placa absorsora ^[9] (T_c) calcula-se a temperatura do fluido térmico no colector (T_f), em que T_f é a média da temperatura de entrada e de saída do colector:

$$T_f = \frac{T_e + T_s}{2} \quad \text{Equação (5.5)}$$

Assim, ao substituir a temperatura média da placa absorsora (T_c) pela temperatura do fluido térmico (T_f) deve-se adicionar o factor de correcção, F' , e obtém-se a equação de Bliss ^[9]:

$$P_u = F' \times A_c \times [(I_\beta \times \tau \times \alpha) - U_L \times (T_f - T_a)] \quad \text{Equação (5.6)}$$

Resultante de ensaios das condições meteorológicas constantes (radiação solar, velocidade do vento, temperatura de entrada do fluido e temperatura ambiente) a equação relativa ao rendimento do colector é:

$$\eta = \frac{P_u}{A_c \times I_\beta} \quad \text{Equação (5.7)}$$

Por substituição de P_u da equação de Bliss na equação (5.7) do rendimento podemos obter ^[8]:

$$\eta = \frac{F' \times A_c \times [(I_\beta \times \tau \times \alpha) - U_L \times (T_f - T_a)]}{A_c \times I_\beta} = F'(\tau\alpha) - F'U_L \frac{(T_f - T_a)}{I_\beta} \quad \text{Equação (5.8)}$$

As perdas térmicas não aumentam linearmente com a diferença de temperatura, no caso de colectores de alta temperatura, mas sim comportam-se segundo uma equação de 2º grau, pois U_L não é constante ^[8]:

$$\eta = \eta_0 - k_1 \left(\frac{T_f - T_a}{I_\beta} \right) - k_2 \times I_\beta \times \left(\frac{T_f - T_a}{I_\beta} \right)^2 \quad \text{Equação (5.9)}$$

Para a determinação da área de colectores solares foram necessárias especificações do equipamento escolhido – SOLID 14.3 da empresa Spin Energia, SA – parâmetros k_1 , k_2 e η_0 da equação 5.9.

Com a análise da temperatura de água desejada para aquecimento com os colectores e com a determinação da respectiva carga térmica de aquecimento (q_{CT}), tendo também em atenção os parâmetros do colector (k_1 , k_2 e η_0), é possível dimensionar a área total de colectores (A_c) pelo rendimento dos mesmos (η).

Nas tabelas 5.5 e 5.6 são apresentados os parâmetros calculados e fornecidos para o cálculo da área de colectores necessária para o aquecimento de água até aos 35°C. O rendimento relativo a cada mês e a respectiva área de colectores estão dispostos na tabela 5.6.

Os cálculos correspondentes aos valores apresentados nas tabelas seguintes estão dispostos no anexo G.

Tabela 5.5 - Valores necessários para o cálculo do rendimento do colector e da área total de colectores

Mês	β (°)	k_1	k_2	T_a (°C)	T_s (°C)	T_f (°C)	m_f (kg/sm ²)	I_β (Wh/m ²)	η_0
Janeiro	36	3,979	0,014	8	46,18	31,59	0,01943	3120,73	0,79
Fevereiro				10	55,02	36,01		4042,69	
Março				12,5	62,66	39,83		4835,29	
Abril				15	73,92	45,46		6009,70	
Maio				15	75,77	46,38		6204,71	
Junho				18	78,87	47,94		6514,57	
Julho				20	81,93	49,46		6825,21	
Agosto				20	79,58	48,29		6577,46	
Setembro				17,5	71,36	44,18		5723,68	
Outubro				15	61,87	39,44		4736,72	
Novembro				12,5	51,66	34,33		3673,34	
Dezembro				10	46,86	31,93		3181,56	

Tabela 5.6 - Determinação do rendimento dos colectores e respectiva área total

Mês	η	A_c (m ²)
Janeiro	0,770	166,07
Fevereiro	0,770	128,26
Março	0,770	107,29
Abril	0,769	86,37
Maio	0,769	83,66
Junho	0,769	79,70
Julho	0,769	76,08
Agosto	0,769	78,94
Setembro	0,769	90,68
Outubro	0,770	109,52
Novembro	0,770	141,15
Dezembro	0,770	162,92

Visto que no mês de Janeiro é necessária a maior área de colectores, uma vez que a temperatura ambiente neste mês é menor, podemos seleccionar o número de colectores referentes à área de 166 m² – ver exemplos de cálculo no anexo F.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA SOLAR TÉRMICO

A figura 5.1 representa o esquema representativo do projecto de instalação do sistema solar.

Com a implementação do sistema solar térmico, a água fornecida ao depósito de água quente 1 (depósito existente com a instalação actual) já não será à temperatura ambiente, mas sim a uma temperatura próxima de 35°C. Assim, com a transferência de calor promovida pelo sistema de colectores solares térmicos, a água à saída destes vai ser acumulada no depósito de água quente 2. Este depósito, para além de armazenar a água que vai alimentar o depósito de água quente 1, poderá também satisfazer directamente as necessidades de água até cerca de 35°C – por exemplo nas operações de Ribeira e Curtume.

6. ANÁLISE ECONÓMICA DO SISTEMA SOLAR TÉRMICO

Para a avaliação da viabilidade económica do sistema solar térmico é necessário ter-se em conta custos e proveitos relativos a esta instalação. No que respeita aos custos, recorreu-se à ajuda de orçamentos cedidos pela empresa Spin Energia, SA tendo em atenção a área de colectores solares térmicos determinada. Os proveitos foram determinados pela poupança de energia térmica.

Determinada a área total de colectores solares térmicos para satisfazer as necessidades pretendidas, procurou-se um orçamento adequado – valor do investimento – avaliando depois o valor economizado com este novo sistema.

A figura seguinte indica dados característicos ao total de investimento, custos de instalação e investimento anualizado à taxa de 5% durante 10 anos. O investimento total refere-se ao valor total que a empresa terá de pagar, já com um desconto de 45% do programa QREN que financia estes projectos.

Tabela 6.1 - Investimento anualizado para o sistema solar térmico proposto

CUSTO DA INSTALAÇÃO	55.840 €
APOIO QREN	45%
INVESTIMENTO TOTAL	30.712 €
VALOR RESIDUAL	3.071 €
INVESTIMENTO ANUALIZADO	3.733 €

Os custos de operação correspondem a 2% do investimento inicial o que representa um valor de 614 €. Os proveitos admitidos dizem respeito à energia térmica que se consegue poupar com a instalação deste sistema, poupança de 3.536,1€/ano – ver anexo H. Contudo, os proveitos dos anos seguintes são providos dum aumento de 5% por ano.

A análise da viabilidade económica implica o cálculo de parâmetros como o VAL (Valor actual líquido), índice de rentabilidade, *Pay Back Period* e a TIR (taxa interna de rentabilidade). Assim:

- O VAL (valor actual líquido) é a fórmula matemática-financeira de determinar o valor presente de pagamentos futuros actualizados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial.
- O índice de rentabilidade corresponde à razão entre o valor actual dos *cash-flows* e o valor actual dos investimentos.
- O *Pay Back Period* refere-se à média do tempo necessário para recuperar o investimento inicial.

- A TIR (taxa interna de rentabilidade) é a taxa de actualização do projecto que anula o VAL. É a taxa que o investidor obtém em média em cada ano, sobre os capitais que se mantêm investidos no projecto, enquanto o investimento inicial é recuperado progressivamente.

Pela análise da tabela 6.2 podemos constatar que o tempo necessário para se recuperar o investimento inicial é de aproximadamente 9 anos, valor razoável, e que o projecto é rentável face ao valor do índice de rentabilidade, da TIR e do VAL.

O mapa de *cash-flow* está representado no anexo H.

Tabela 6.2 – Parâmetros correspondentes à viabilidade económica determinados

VAL	25.919 €
<i>PAY BACK PERIOD</i>	9.48
ÍNDICE DE RENTABILIDADE	1,05
TIR	1,67%

7. CONCLUSÕES

O trabalho efectuado teve como principais objectivos o dimensionamento dum sistema solar para pré-aquecer a água utilizada no processo e também o desenvolvimento de artigos em couro e de processos para a indústria de curtumes.

Sendo esta uma indústria com elevados consumos de água, a procura de um sistema solar térmico para o pré-aquecimento da água a ser utilizada nas fases de ribeira, curtume e, principalmente, tinturaria, é uma mais-valia económica e ambiental. Para tal foram realizados levantamentos aos volumes de água utilizados e respectivas temperaturas. Com uma simulação de produção máxima chegou-se à conclusão que são utilizados diariamente cerca de 117m³, dos quais cerca de 19m³ em água quente (até 80°C). O sistema solar térmico projectado para um pré-aquecimento da água até 35°C implica uma área de 166m², traduzindo uma poupança de 107.808,3 kWh/ano de energia térmica. Foi efectuada uma análise económica deste sistema tendo-se concluído que o tempo de retorno do investimento inicial seria de 9 anos. Existem, no entanto, outras razões que levam a empresa *Curtumes Aveneda, Lda.* a optar por este sistema solar térmico como: consciencialização ambiental/ ecológica; conservação de recursos não renováveis (por exemplo o combustível); independência energética.

O desenvolvimento e optimização de novos artigos em couro, e de outros já existentes, conduziram a bons resultados. Foi desenvolvido um processo para couro crispado a partir de *wet-blue*, artigo muito difícil de fazer a partir deste estado da pele, e só agora conseguido na empresa. O processo desenvolvido foi optimizado no sentido da redução do consumo de água e de energia com um resultado de 620,75€ para uma quantidade de 3.000 ft² de pele (pode representar a quantidade mensal de um artigo), representando uma redução de 21% do custo total. A *Nappa Soft* foi melhorada no que respeita ao toque, conforme solicitado pela empresa. Um dos produtos de marca da empresa, o *wet-white*, foi melhorado no que respeita à sua estabilidade térmica e resistências físico-mecânicas, embora não se atingisse um dos pedidos da empresa que seria tornar a cor natural deste artigo mais clara e mais pura, motivo pelo qual se encontra ainda em desenvolvimento.

Em suma, pode dizer-se que este trabalho foi positivo e pode ser melhorado através duma pesquisa contínua por parte da empresa no sentido de optimizar os vários processos existentes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dias, Ana, 2009. Optimização de Recursos numa Indústria de Curtumes, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.
- [2] Adzet, J.Mª., 1985. Quimica-técnica de Teneria, Romanyà/Valls – Barcelona.
- [3] Morais, Leonilde, 2005. Análise da tratabilidade de efluentes da indústria de curtumes por oxidação química e biológica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- [4] INETI – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Ambiental, 2000. Guia Técnico Sector de Curtumes, Lisboa.
- [5] <http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/pirelioforo.asp> (consultado no dia 23 de Fevereiro)
- [6] www.aquaquentesolar.com (consultado no dia 24 de Fevereiro)
- [7] http://www.domus-solaris.com/imagens/radiacao_solar.jpg (consultado no dia 25 de Fevereiro)
- [8] Sukhatme, S.P., 1984. “Solar Energy – Principles of thermal collection and storage”, McGraw-Hill, New Delhi.
- [9] Pedras, A., Feiteira, D., Pereira, S., Ribeiro, S., 2008. “Dimensionamento de um colector solar para aquecimento de uma piscina exterior”, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.
- [10] ADENE – Agência para a Energia, 2001. Fórum “Energias Renováveis em Portugal” Relatório Síntese, Lisboa.
- [11] <http://www.energiasrenovaveis.com> (consultado no dia 25 de Fevereiro)
- [12] <http://verdesolar.com/technicalinfodetail.aspx> (consultado dia 2 de Março)
- [13] <http://www.spinenergia.pt/media/solartermico/anexos/solid.pdf> (consultado a 21 de Maio)
- Kreider and Kreith, 1981, “Solar Energy Handbook”, McGraw-Hill

NOMENCLATURA

δ	Declinação solar ($^{\circ}$)
θ	Ângulo do feixe incidente ($^{\circ}$)
β	Inclinação da superfície em relação ao plano horizontal ($^{\circ}$)
Ψ	Azimute ($^{\circ}$)
Φ	Latitude ($^{\circ}$)
ρ	Refectividade do solo ($^{\circ}$)
τ	Transmitância da cobertura transparente
α	Absorvância do colector
η	Rendimento do colector
η_0	Rendimento óptico do colector
n	Número do dia do ano
H_0	Ângulo horário correspondente ao pôr-do-sol numa superfície horizontal
G_B	Radiação global instantânea numa superfície inclinada (Wh/m^2)
G_H	Radiação global instantânea numa superfície horizontal (Wh/m^2)
\bar{G}_H	Radiação média mensal incidente numa superfície inclinada (Wh/m^2)
R	Relação entre as radiações médias diárias das superfícies inclinada e horizontal (Wh/m^2)
D_H	Radiação difusa média mensal (Wh/m^2)
I_{β}	Radiação global instantânea numa superfície inclinada mais o albedo (Wh/m^2)
K_T	Índice de claridade médio mensal
R_S	Radiação média mensal
P_i	Potência incidente total (W)
P_u	Potência útil recolhida pelo fluido térmico (W)
P_p	Potência perdida por dissipação para o exterior (W)
A_C	Área do colector (m^2)
U_L	Coefficiente global de perdas ($W/m^2^{\circ}C$)
T_C	Temperatura média da placa absorvedora ($^{\circ}C$)
T_a	Temperatura ambiente ($^{\circ}C$)
T_f	Temperatura do fluido térmico ($^{\circ}C$)
F'	Factor de correcção
k_1	Coefficiente de perda de calor (W/m^2K)
k_2	Coefficiente de perda de calor (W/m^2K)
q_{CT}	Energia térmica de aquecimento (Wh/m^2)
m_f	Caudal do fluido térmico (kg/sm^2)
E_T	Energia termica (kWh)
V_Q	Volume de água quente (L)
V_F	Volume de água fria (L)
V_T	Volume máximo de água utilizado (L)
cp	Calor específico da água (kJ/kg)
ρ_f	Massa volúmica do fluido (kg/m^3)

A. COMPARAÇÃO ECONÓMICA DOS ARTIGOS CRISPADO E A RESPECTIVA OPTIMIZAÇÃO

Somados os volumes de água e com o tempo de operação foi possível calcular as energias eléctrica e térmica e os respectivos custos.

Para o processo 1, no cálculo de energia eléctrica com a potência dos motores do fulão e com o tempo de operação (tempo de rodagem) determinou-se:

$$E_{\text{ELECTRICA}} = 17,6\text{kw} * 18,25\text{horas} = 321,2\text{kWh}$$

$$\text{CUSTO}_{\text{ELECTRICIDADE}} = 0,0939\text{€} / \text{kWh}$$

$$E_{\text{ELECTRICA}} = 321,2\text{kWh} \times 0,0939 = 30,16\text{€}$$

No cálculo de energia térmica com 150% de água a 30°C, temos:

$$E_T = V_Q \times cp \times \rho_f \times (T_F - T_E) \Leftrightarrow E_T = 6,75 \times 4,186 \times 1 \times (30 - 17) = 367,32\text{kJ}$$

Então para o total de 18h15, temos:

$$E_T = \frac{2910\text{kJ}}{18,25} = 159,45\text{kJ} / \text{h} = 0,8083\text{kWh}$$

$$\text{CUSTO}_{\text{NAFTA}} = 0,434\text{€} / \text{kg}$$

$$E_T = 0,8083\text{kWh} \times \frac{0,434}{11,247} \times 85\% = 0,027\text{€}$$

Para a determinação dos custos relativos às energias eléctrica e térmica recorreu-se a uma análise de facturas cedidas pela empresa.

Reunidos estes valores podemos determinar os custos totais:

$$\text{CUSTOS}_{\text{TOTAIS}} = 0,027 + 30,16 = 30,19\text{€}$$

B. LEVANTAMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA

Neste anexo são apresentados os levantamentos dos consumos de água da empresa *Curtumes Aveneda, Lda.* na semana de 8 a 12 de Fevereiro de 2010.

Nas seguintes figuras estão representados os levantamentos efectuados para cada fulão.

O volume de água é determinado pela multiplicação do caudal pelo tempo de consumo:

$$\text{Volume} = \text{Caudal} \times \text{Tempo}$$

CONSUMO NO DIA 8 DE FEVEREIRO

No dia 8 de Fevereiro a Tinturaria estava a operar com seis fulões (de sete), a Ribeira começou pela lavagem de manhã com os dois fulões e de tarde começou um novo processo, o Curtume iniciou apenas com um fulão.

Tabela 9.1 - Consumo de água no dia 8 de Fevereiro

Fulão	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Hora	Caudal (L/min)	Volume (L)
R1	22	20	7:31	375	7500
R2	22	20	7:31		7500
T1	40	3	8:38		1125
T3	40	4	8:41		1500
T4	18	3	8:50		1125
T5	18	3	8:53		1125
T6	18	3	9:00		1125
T1	30	5	10:08		1875
T3	30	5	10:11		1875
T7	18	9	11:56		3375
T1	30	0,5	12:25		187,5
T3	30	1	12:30		375
T4	70	1	13:45		375
T5	70	1	13:46		375
T6	70	1	13:47		375
C1	38	10	14:01		3750
R1	28	11	14:13		4125
R1	28	11	15:18		4125
R1	28	8	15:52		3000
C2	30	12	16:25		4500
C1	60	2	17:02		750
T7	50	12	17:04		4500
T1	70	0,5	17:20		187,5
T3	70	0,5	17:21		187,5
C1	18	15	17:47		5625
C1	18	2	18:10		750

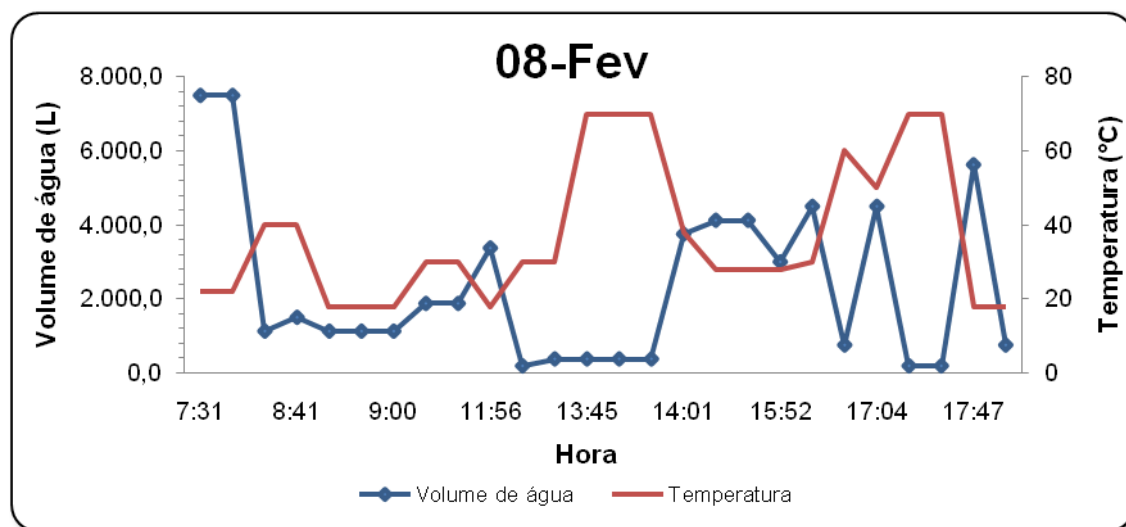


Figura 9.1 - Picos de volume de água e respectiva temperatura consumida no dia 8 de Fevereiro

CONSUMO NO DIA 9 DE FEVEREIRO

No dia 9 de Fevereiro a Tinturaria estava a operar com os sete fulões (de sete), a Ribeira operou com o mesmo fulão do dia anterior e o Curtume não necessitou de água.

Tabela 9.2- Consumo de água referente ao dia 9 de Fevereiro

Fulão	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Hora	Caudal (L/min)	Volume (L)
R1	24	10	7:40	375	3750
T1	80	2	8:35		750
T3	80	2	8:37		750
T4	40	1	8:40		375
T5	40	1	8:41		375
T6	40	1	8:44		375
T1	80	5	9:35		1875
T3	80	5	9:40		1875
T1	80	3	9:49		1125
T3	80	4	9:55		1500
T5	40	5	11:31		1875
T5	40	4	11:44		1500
T7	18	5	13:50		1875
T5	18	2	14:00		750
T7	18	5	14:07		1875
T2	60	5	14:22		1875
T1	18	5	14:38		1875
T3	18	7	15:06		2625
T4	40	2	16:10		750
R1	22	9	16:19		3375

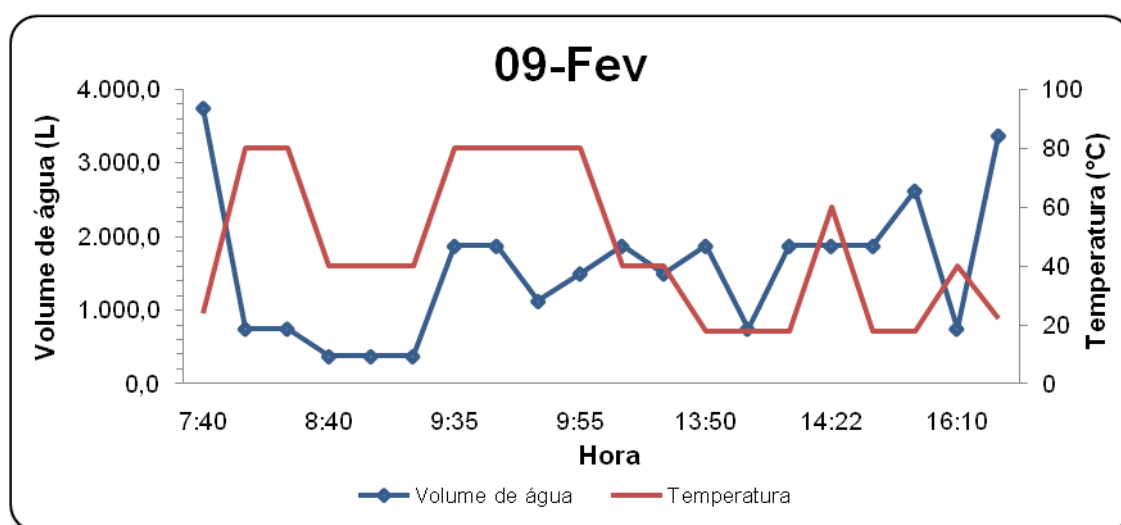


Figura 9.2 - Picos de consumo referente ao dia 9 de Fevereiro

CONSUMO NO DIA 10 DE FEVEREIRO

No dia 10 de Fevereiro houve requisição de água na Tinturaria, com todas as máquinas a trabalhar, e o Curtume necessitou de água apenas uma vez.

Tabela 9.3 - Consumo de água relativo ao dia 10 de Fevereiro

Fulão	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Hora	Caudal (L/min)	Volume (L)
T1	40	3	7:40	375	1125
T5	40	1	7:45		375
T3	40	9	8:10		3375
T6	18	2	8:30		750
T1	30	2,5	10:07		937,5
T3	30	7,5	10:10		2812,5
T5	30	0,5	10:08		187,5
T4	40	7	10:58		2625
T2	18	8	11:30		3000
C1	30	10	11:52		3750
T3	30	8	12:20		3000
T6	50	3	13:44		1125
T4	50	2	13:59		750
T5	80	5	14:48		1875
T3	80	3	15:21		1125
T7	40	14	15:29		5250
T4	65	4	16:02		1500
T3	80	15	16:30		5625
T7	18	25	17:03		9375
T3	60	7	17:15		2625
T4	18	2,5	17:48	937,5	

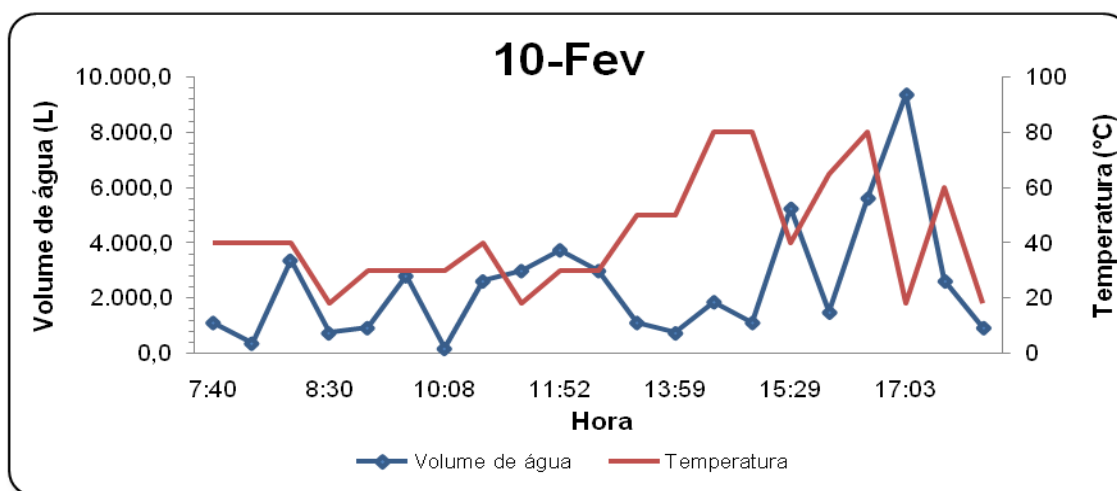


Figura 9.3 - Picos de consumo relativos ao dia 10 de Fevereiro

CONSUMO NO DIA 11 DE FEVEREIRO

No dia 11, quinta-feira, todas as operações foram realizadas: a Tinturaria, como toda a semana, operou com todos os fulões; foi feito a descarna, logo tanto a Ribeira (com as lavagens que requerem grande volume de água) como o Curtume (com o início da operação) necessitaram também de água. Este dia foi o que requisitou maior volume de água.

Tabela 9.4 - Consumos referentes ao dia 11 de Fevereiro

Fulão	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Hora	Caudal (L/min)	Volume (L)
R1	22	20	7:30	375	7500
F3	17	10	7:40		3750
F1	17	5	8:10		1875
F7	80	3,5	8:51		1312,5
F5	60	3	9:21		1125
C1	38	10	9:35		3750
R1	28	12	11:10		4500
F4	40	11	11:23		4125
F3	40	11	11:34		4125
F2	17	2,5	12:26		937,5
R1	28	12	13:20		4500
R1	28	7,5	13:46		2812,5
C1	40	2	13:57		750
C1	17	18	14:33		6750
F1	30	3	15:10		1125
F5	30	3	15:14		1125
F1	30	3	15:17		1125
F5	30	3	15:20		1125
F3	30	7	15:30		2625
F4	30	6	15:37		2250
C2	17	16	15:50		6000
F7	50	7	16:28		2625
F7	50	10	16:49		3750
F2	30	4,5	17:07		1687,5
C2	17	21	17:14		7875
C2	17	21	18:00		7875

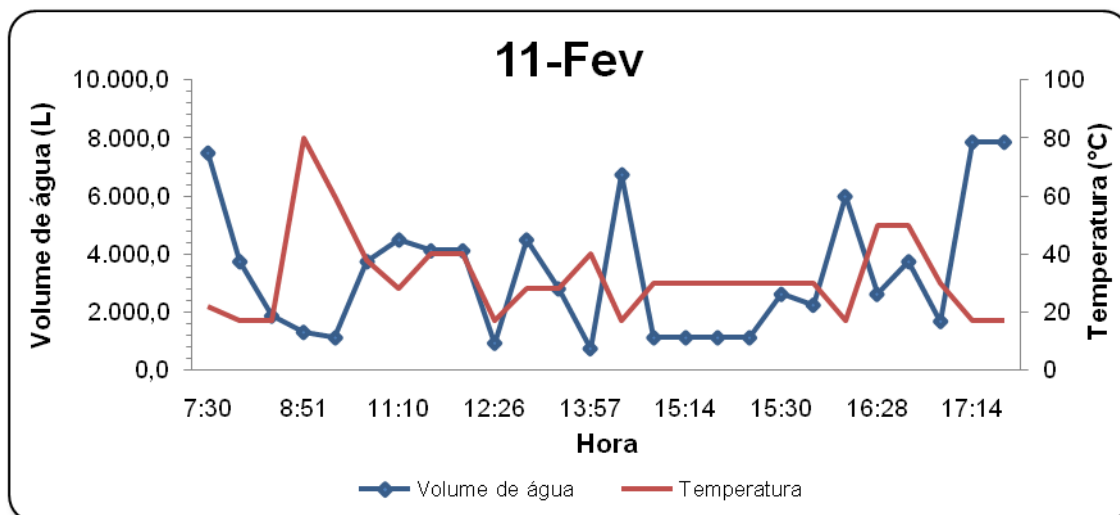


Figura 9.4 - Necessidades de água e respectivas temperaturas referentes ao dia 11 de Fevereiro

CONSUMO NO DIA 12 DE FEVEREIRO

Neste dia todas as operações foram realizadas, mas houve menor requisição de água do que no dia anterior, facto este porque não se efectuaram muitas lavagens a nível de Ribeira e Curtume (operações que requerem grandes volumes de água para as lavagens).

Tabela 9.5 - Consumo de água no dia 12 de Fevereiro

Fulão	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Hora	Caudal (L/min)	Volume (L)
R1	24	10	7:20	375	3750
T3	30	10	7:30	375	3750
T4	30	8	7:40	375	3000
T3	30	5	7:55	375	1875
T4	30	4	8:00	375	1500
T2	50	2,5	8:32	375	937,5
C2	80	5	8:49	375	1875
C2	18	4,5	9:38	375	1687,5
T6	30	3	9:48	375	1125
C2	30	6	9:50	375	2250
C2	30	5	10:09	375	1875
T4	80	4	10:25	375	1500
T3	80	2	10:29	375	750
T7	50	12,5	10:44	375	4687,5
T6	18	1	10:56	375	375
T3	70	7	11:43	375	2625
T3	70	8	11:56	375	3000
T1	18	2	12:05	375	750
T3	70	10	12:09	375	3750
T7	18	7	13:59	375	2625
T7	60	10	14:44	375	3750
T2	30	4	15:02	375	1500
T2	35	3	15:40	375	1125
T7	18	6	16:10	375	2250
R1	22	8,5	16:21	375	3187,5
T2	18	9	16:40	375	3375

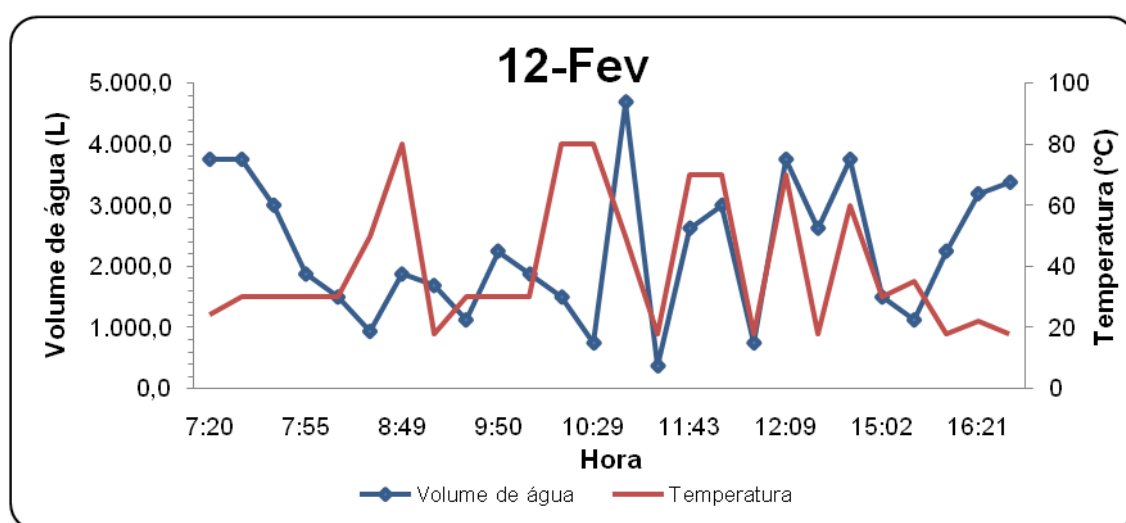


Figura 9.5 - Picos de consumo de água no dia 12 de Fevereiro

C. ESTIMATIVA DAS NECESSIDADES DE ÁGUA QUENTE

O dia que requisitou um maior volume de água foi no dia 11 de Fevereiro, no entanto não foram utilizados todos os fulões da Ribeira nem do Curtume. Então, para se conhecer a quantidade máxima de água utilizada (V_T), foi efectuada uma estimativa em que todos os fulões operavam. Assim, multiplicaram-se os consumos reais (V) deste dia em cada operação pelo número de fulões existentes para cada uma delas, por exemplo: a Ribeira opera no máximo com dois fulões, mas como neste dia só se utilizou um deles, o volume gasto para a estimativa máxima é o dobro do que um fulão gasta. No entanto é de salientar que um dos fulões de Curtume, neste dia estava a operar para a Tinturaria.

Estimado o consumo máximo, faltam referir quais os volumes de água quente (V_Q) e água fria (V_F) gastos. Então, como o depósito de encontra a 80°C (T_Q) e a água fria se encontra à temperatura de 17°C (T_F), com balanços mássicos conseguimos encontrar os volumes referentes à água fria e à água quente para uma determinada temperatura (T).

$$m_T = m_Q + m_F$$

$$m_T \times cp \times (T - 0) = m_Q \times cp \times (80 - 0) + m_F \times cp \times (17 - 0)$$

Assumindo que a temperatura de referência é de 0°C e que a massa específica da água (cp) é igual a $1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$, quando se requer 4125 L de água à temperatura de 40°C (T_R), temos:

$$4125 = V_Q + V_F$$

$$4125 \times 40 = V_Q \times 80 + V_F \times 17$$

Dos quais:

$$V_Q = 1506\text{L}$$

$$V_F = 2619\text{L}$$

Tabela 9.6 - Estimativa para o consumo máximo de água quente e água fria

Fulão	Temperatura (°C)	V (L)	V _T (L)	T _Q (°C)	T _F (°C)	V _Q (L)	V _F (L)
R1	22	7500	15000	80	17	1190,48	13809,52
F3	17	3750	3750			0,00	3750,00
F1	17	1875	1875			0,00	1875,00
F7	80	1312,5	1312,5			1312,50	0,00
F5	60	1125	1125			767,86	357,14
C1	38	3750	7500			2500,00	5000,00
R1	28	4500	9000			1571,43	7428,57
F4	40	4125	4125			1505,95	2619,05
F3	40	4125	4125			1505,95	2619,05
F2	17	937,5	937,5			0,00	937,50
R1	28	4500	9000			1571,43	7428,57
R1	28	2812,5	5625			982,14	4642,86
C1	40	750	1500			547,62	952,38
C1	17	6750	13500			0,00	13500,00
F1	30	1125	1125			232,14	892,86
F5	30	1125	1125			232,14	892,86
F1	30	1125	1125			232,14	892,86
F5	30	1125	1125			232,14	892,86
F3	30	2625	2625			541,67	2083,33
F4	30	2250	2250			464,29	1785,71
C2	17	6000	6000			0,00	6000,00
F7	50	2625	2625			1375,00	1250,00
F7	50	3750	3750			1964,29	1785,71
F2	30	1687,5	1687,5			348,21	1339,29
C2	17	7875	7875			0,00	7875,00
C2	17	7875	7875			0,00	7875,00
TOTAL			117562,5			19077,38	98485,12

D. ENERGIA TÉRMICA DISPENDIDA OU NECESSÁRIA

Para a determinação de energia térmica despendida no aquecimento de água efectuaram-se cálculos, para o mesmo dia 11 de Fevereiro com a estimativa de máximo de consumo. Assim, pela seguinte equação determinaram-se os consumos de energia térmica relativamente às temperaturas usadas.

$$E_T = V_Q \times cp \times \rho_f \times (T_F - T_E)$$

Assim, para a temperatura de 22°C, a energia dispendida pode ser calculada por:

$$E_T = 1190,48 \times 4,186 \times 1 \times (22 - 17) = 24916,67\text{kJ} = 6,92\text{kWh}$$

Na figura seguinte são representados os valores calculados.

Tabela 9.7 - Valores de energia térmica relativos à estimativa máxima de consumo de água.

Fulão	Temperatura (°C)	V_Q (L)	V_F (L)	E_T (kWh)
R1	22	1190,48	13809,52	6,92
F3	17	0,00	3750,00	0,00
F1	17	0,00	1875,00	0,00
F7	80	1312,50	0,00	96,15
F5	60	767,86	357,14	38,39
C1	38	2500,00	5000,00	61,05
R1	28	1571,43	7428,57	20,10
F4	40	1505,95	2619,05	40,28
F3	40	1505,95	2619,05	40,28
F2	17	0,00	937,50	0,00
R1	28	1571,43	7428,57	20,10
R1	28	982,14	4642,86	12,56
C1	40	547,62	952,38	14,65
C1	17	0,00	13500,00	0,00
F1	30	232,14	892,86	3,51
F5	30	232,14	892,86	3,51
F1	30	232,14	892,86	3,51
F5	30	232,14	892,86	3,51
F3	30	541,67	2083,33	8,19
F4	30	464,29	1785,71	7,02
C2	17	0,00	6000,00	0,00
F7	50	1375,00	1250,00	52,76
F7	50	1964,29	1785,71	75,37
F2	30	348,21	1339,29	5,26
C2	17	0,00	7875,00	0,00
C2	17	0,00	7875,00	0,00
TOTAL		19077,38	98485,12	513,10

Na determinação dos custos relativos à energia térmica, consideraram-se os volumes diários totais de água quente (19077,38 L) e a temperatura final de 80°C, uma vez que o depósito acumulador de água se encontra sempre a esta temperatura.

No cálculo de energia térmica total temos:

$$E_T = 19077,38 \times 4,186 \times 1 \times (80 - 17) = 5031048,5 \text{ kJ / dia} = 1397,5 \text{ kWh / dia}$$

Que no final de um ano, correspondente a 270 dias:

$$E_T = 1397,5 \text{ kWh} \times 270 = 377325 \text{ kWh / ano}$$

Com os valores relativos à nafta:

$$PCI_{\text{NAFTA}} = 11,247 \text{ kWh / kg}$$

$$\text{CUSTO}_{\text{NAFTA}} = 0,434 \text{ € / kg}$$

Podemos calcular o custo total de energia térmica num ano, considerando o rendimento da caldeira de 85%:

$$\text{Custo} = 377325 \times \frac{0,434}{11,247} \times 85\% = 12.376,21 \text{ €/ano}$$

E. DETERMINAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE

Neste anexo serão apresentados os cálculos referentes à radiação solar incidente. Como ponto de partida, e depois de definidas as coordenadas equatoriais, foi necessário determinar as declinações médias mensais.

Em seguimento da equação 1.1 calculou-se a declinação para cada dia e depois para o respectivo mês.

Assim sendo, para o dia 1 de Fevereiro n é 32 e para dia 1 de Abril n é 91, então:

$$\text{Para dia 1 de Fevereiro: } \delta = 23.45 \times \text{sen}\left(\frac{360}{365} (32 + 284)\right) = -17,52^\circ$$

$$\text{Para dia 1 de Abril: } \delta = 23.45 \times \text{sen}\left(\frac{360}{365} (91 + 284)\right) = 4,02^\circ$$

Na tabela seguinte são apresentados os valores de declinação para todos os dias do ano.

Tabela 9.8 - Valores de declinação para cada dia do ano e respectiva declinação média mensal

Dias	Jan.	Fev.	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	-23,01	-17,52	-8,29	4,02	14,90	22,04	23,12	17,91	7,72	-4,22	-15,36	-22,11
2	-22,93	-17,25	-7,91	4,41	15,21	22,17	23,05	17,65	7,34	-4,61	-15,67	-22,24
3	-22,84	-16,97	-7,53	4,81	15,52	22,30	22,97	17,38	6,96	-5,01	-15,96	-22,36
4	-22,75	-16,69	-7,15	5,20	15,82	22,42	22,89	17,11	6,57	-5,40	-16,26	-22,48
5	-22,65	-16,40	-6,76	5,60	16,11	22,54	22,80	16,83	6,18	-5,79	-16,55	-22,59
6	-22,54	-16,11	-6,38	5,99	16,40	22,65	22,70	16,55	5,79	-6,18	-16,83	-22,70
7	-22,42	-15,82	-5,99	6,38	16,69	22,75	22,59	16,26	5,40	-6,57	-17,11	-22,80
8	-22,30	-15,52	-5,60	6,76	16,97	22,84	22,48	15,96	5,01	-6,96	-17,38	-22,89
9	-22,17	-15,21	-5,20	7,15	17,25	22,93	22,36	15,67	4,61	-7,34	-17,65	-22,97
10	-22,04	-14,90	-4,81	7,53	17,52	23,01	22,24	15,36	4,22	-7,72	-17,91	-23,05
11	-21,90	-14,59	-4,41	7,91	17,78	23,09	22,11	15,06	3,82	-8,10	-18,17	-23,12
12	-21,75	-14,27	-4,02	8,29	18,04	23,15	21,97	14,74	3,42	-8,48	-18,42	-23,18
13	-21,60	-13,95	-3,62	8,67	18,30	23,21	21,83	14,43	3,02	-8,86	-18,67	-23,24
14	-21,44	-13,62	-3,22	9,04	18,55	23,27	21,67	14,11	2,62	-9,23	-18,91	-23,29
15	-21,27	-13,29	-2,82	9,41	18,79	23,31	21,52	13,78	2,22	-9,60	-19,15	-23,34
16	-21,10	-12,95	-2,42	9,78	19,03	23,35	21,35	13,45	1,81	-9,97	-19,38	-23,37
17	-20,92	-12,62	-2,02	10,15	19,26	23,39	21,18	13,12	1,41	-10,33	-19,60	-23,40
18	-20,73	-12,27	-1,61	10,51	19,49	23,41	21,01	12,79	1,01	-10,69	-19,82	-23,42
19	-20,54	-11,93	-1,21	10,87	19,71	23,43	20,82	12,45	0,61	-11,05	-20,03	-23,44
20	-20,34	-11,58	-0,81	11,23	19,93	23,44	20,64	12,10	0,20	-11,40	-20,24	-23,45
21	-20,14	-11,23	-0,40	11,58	20,14	23,45	20,44	11,75	-0,20	-11,75	-20,44	-23,45
22	-19,93	-10,87	0,00	11,93	20,34	23,45	20,24	11,40	-0,61	-12,10	-20,64	-23,44
23	-19,71	-10,51	0,40	12,27	20,54	23,44	20,03	11,05	-1,01	-12,45	-20,82	-23,43
24	-19,49	-10,15	0,81	12,62	20,73	23,42	19,82	10,69	-1,41	-12,79	-21,01	-23,41
25	-19,26	-9,78	1,21	12,95	20,92	23,40	19,60	10,33	-1,81	-13,12	-21,18	-23,39
26	-19,03	-9,41	1,61	13,29	21,10	23,37	19,38	9,97	-2,22	-13,45	-21,35	-23,35
27	-18,79	-9,04	2,02	13,62	21,27	23,34	19,15	9,60	-2,62	-13,78	-21,52	-23,31
28	-18,55	-8,67	2,42	13,95	21,44	23,29	18,91	9,23	-3,02	-14,11	-21,67	-23,27
29	-18,30		2,82	14,27	21,60	23,24	18,67	8,86	-3,42	-14,43	-21,83	-23,21
30	-18,04		3,22	14,59	21,75	23,18	18,42	8,48	-3,82	-14,74	-21,97	-23,15
31	-17,78		3,62		21,90		18,17	8,10		-15,06		-23,09
$\delta_{MED} (^{\circ})$	-20,85	-13,33	-2,39	9,49	18,81	23,08	21,10	13,30	1,99	-9,85	-19,05	-23,10

Determinados os valores de declinação média mensal são necessários outros parâmetros para o cálculo da radiação global numa superfície horizontal (I_p).

Para o cálculo ângulo do pôr-do-sol mensal (H_0) são necessários os valores de declinação médios assim como a latitude.

Para o mês de Janeiro: $H_o = ar \cos[-tg(41)tg(-20,85)] = 70,74$

Na determinação da razão entre a radiação difusa e a radiação global mensal, são necessários os valores de H_o e do índice de claridade médio mensal, seguindo a equação:

$$\frac{D_H}{G_H} = 0,775 + [0,00653 \times (70,74 - 90) - [(0,505 + (0,00455 * (70,74 - 90)))] * \cos((115 \times 0,445) - 103)$$

$$\frac{D_H}{G_H} = 0,3913$$

Os valores da radiação directa mensal (R_s) são determinados pela equação 1.5, sendo:

$$R_s = \frac{[\cos(41 - 36) \cos(-20,85) \sin(70,74) + (\frac{\pi}{180} \times 70,74 \times \sin(41 - 36) \sin(-20,85))]}{\cos(41) \cos(-20,85) \sin(70,74) + (\frac{\pi}{180} \times 70,74 \times \sin(41) \sin(-20,85))} = 2,2193$$

Em que:

$$H_o' = \min \text{imo} \left\{ \begin{array}{l} \arccos[-tg(41)tg(-20,85)] = 70,74 \\ \arccos[-tg(41 - 36)tg(-20,85)] = 88,13 \end{array} \right\}$$

Com estes elementos reunidos, radiação directa mensal (R_s) e razão entre a radiação difusa e a radiação global mensal, pode-se obter a razão média mensal (R) pela equação 1.3:

$$R = (1 - 0,3913) \times 2,2193 + 0,3913 \times \left(\frac{1 + \cos(36)}{2} \right) + 0,2 \times \left(\frac{1 - \cos(36)}{2} \right) = 1,7240$$

Como pretendido, a radiação global em superfície inclinada (I_β) pode ser determinada pela multiplicação da radiação média mensal incidente na superfície horizontal (\hat{G}_H) – figura 9.6 – com a razão média mensal (R):

$$I_\beta = 1,7240 \times 1806 = 3120,73 \text{ Wh / m}^2$$

F. VALORES CONSULTADOS PARA OS PARÂMETROS K_T E \hat{G}_H

ENERGIA SOLAR - RECURSOS
 RADIAÇÃO GLOBAL EM SUPERFÍCIE HORIZONTAL - MÉDIA DIÁRIA MENSAL
 ÍNDICE DE CLARIDADE - MÉDIA MENSAL
 TEMPERATURA MÉDIA MENSAL

Mh/in^2
-
°C

$\frac{\hat{G}_H}{K_T T_a}$

ESTAÇÕES		JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
BRAGANÇA	$\frac{\hat{G}_H}{K_T T_a}$	1638	2653	3644	5455	6640	7260	7838	6762	4939	3205	2087	1414
	K_T	.416	.492	.515	.578	.610	.632	.703	.680	.607	.531	.484	.406
	T_a	2.5	5	7.5	10	12.5	15	20	20	15	12	9	4
PORTO	$\frac{\hat{G}_H}{K_T T_a}$	1806	2741	3974	5780	6668	7332	7526	6613	4956	3384	2182	1701
	K_T	.445	.498	.528	.609	.611	.638	.675	.663	.603	.551	.492	.472
	T_a	8	10	12.5	14	15	18	20	20	17.5	15	12.5	10
COIMBRA	$\frac{\hat{G}_H}{K_T T_a}$	2022	2970	4093	5480	6212	6534	6872	6244	4829	3557	2428	2027
	K_T	.480	.528	.594	.574	.569	.569	.615	.623	.581	.567	.531	.541
	T_a	9	10	12.5	13	15	18	20	20	20	15	12.5	10
LISBOA	$\frac{\hat{G}_H}{K_T T_a}$	2188	3174	4343	5902	6864	7578	7925	7070	5412	3794	2556	2024
	K_T	.490	.540	.553	.611	.626	.660	.709	.700	.639	.584	.529	.505
	T_a	9	11	13	15	17	20	22.5	22.5	20	17.5	15	10
ÉVORA	$\frac{\hat{G}_H}{K_T T_a}$	1988	2949	4022	5610	6655	7322	7816	6867	5101	3558	2358	1879
	K_T	.443	.500	.511	.580	.607	.638	.699	.679	.602	.546	.486	.466
	T_a	9	10	12.5	14	17.5	20	24	24	21	17.5	12.5	9
FARO	$\frac{\hat{G}_H}{K_T T_a}$	2402	3362	4560	6198	7329	7895	7979	7094	5713	4038	2731	2244
	K_T	.505	.547	.566	.634	.667	.689	.714	.697	.662	.600	.535	.522
	T_a	12.5	12.5	13	15.5	17.5	21	23	23	22.5	20	15	12.5

Figura 9.6 - Parâmetros consultados relativamente à energia solar

G. DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DE COLECTORES

Para o dimensionamento do colector solar térmico teve-se de ter em contas as principais especificações desta máquina térmica.

Tipo de colector	Integrado no telhado								Montado livremente							
	6.3	8.4	10.5	12.6	7.2	9.6	12.0	14.3	6.3	8.4	10.5	12.6	7.2	9.6	12.0	14.3
Altura (cm)	13															
Largura (cm)	205				233				205				233			
Comprimento (cm)	310	411	513	615	310	411	513	615	310	411	513	615	310	411	513	615
Área bruta (m ²)	6,3	8,4	10,5	12,6	7,2	9,6	12	14,3	6,3	8,4	10,5	12,6	7,2	9,6	12	14,3
Área de abertura (m ²)	5,7	7,7	9,6	11,5	6,6	8,8	11,0	13,1	5,7	7,6	9,5	11,4	6,5	8,8	11,0	13,1
Caudal	Min – 10l/m ² h; Max – 80l/m ² h															
Fluido de transferência de calor	Mistura de água e glicol propileno (a quantidade de anticongelante depende da temperatura mínima do local)															
Pressão de operação	Pressão máxima permitida: 6 bar (existe uma versão até 10 bar)															
Rendimento óptico*	η ₀ =0,790															
Coefficiente de perda de calor	K1=3,979 W/m ² K k2=0,014 (bei v = 3.0m/s)															
Temperatura de estagnação	203º (a 1000W/m ² , 30ºC de acordo com EN)															
Absorção	SUNSTRIP – absorção com revestimento de elevada qualidade absorção α =96% +/- 2%, Emissão ε = 7%															
Isolamento	Rock wool 70 mm															
Cobertura	Vidro de segurança solar de ferro 4mm (transmissão de luz >90%)															
Sistema de impermeabilização	Alumínio com impermeabilização de EPDM															
Estrutura	Construção em madeira								Construção em madeira e alumínio							
Peso	24 kg por m ²															
Montagem	No telhado								On splices							
Tubo de ligação	Tubo de cobre com 28mm															
Técnica de ligação	Soldadura com resistência a altas temperaturas (até 250º)															
Protecção contra tempo adverso	Estrutura de madeira tem de estar protegida contra intempéries; folha de metal é recomendada								Totalmente coberto por alumínio							

Figura 9.7 - Especificações técnicas dos colectores SOLID 14.3

Pelas especificações do equipamento, começou-se por arbitrar o caudal de fluido térmico compreendido entre 10-80L/m²h. O valor escolhido foi de 70L/m²h, logo:

$$m_f = Q_p \times \rho_f \Leftrightarrow m_f = \frac{70 \times 999,103}{3600 \times 1000} = 0,01943 \text{ kg/s.m}^2$$

Para o cálculo da temperatura de saída do fluido térmico do colector usou-se a seguinte equação:

$$\Delta T = \frac{(\eta_o |_{\beta}) - k_1(T_f - T_a) - k_2(T_f - T_a)^2}{\frac{m_f}{\rho_f}}$$

Sendo,

$$\Delta T = T_S - T_e \qquad T_f = \frac{T_e + T_S}{2}$$

Para o cálculo de T_S , teve-se de recorrer a iterações das equações anteriores, assim:

$$T_S - T_e = \frac{(\eta_o I_\beta) - k_1 \left(\frac{T_e + T_S}{2} - T_a \right) - k_2 \left(\frac{T_e + T_S}{2} - T_a \right)^2}{\frac{m_f}{\rho_f}} \Leftrightarrow$$

$$T_S - 17 = \frac{(0,79 \times 3120,73) - 3,979 \times \left(\frac{17 + T_S}{2} - 8 \right) - 0,014 \times \left(\frac{17 + T_S}{2} - 8 \right)^2}{\frac{0,01943}{999,103}} \Leftrightarrow$$

$$T_S = 46,18^\circ\text{C}$$

Determinada a temperatura de saída do fluido térmico do colector pode ser calculada a temperatura do fluido térmico no colector:

$$T_f = \frac{17 + 46,18}{2} = 31,59^\circ\text{C}$$

Determinadas todas as temperaturas, pode-se calcular o rendimento do colector para cada mês e a respectiva área de colectores – equação 5.9.

$$\eta = 0,79 - 3,979 \times \left(\frac{31,59 - 8}{3120,73} \right) - 0,014 \times 3120,73 \times \left(\frac{31,59 - 8}{3120,73} \right)^2 = 0,770$$

Para a determinação da área de colectores temos:

$$A_C = \frac{q_{CT}}{\eta \times I_\beta}$$

Em que q_{CT} é resultante do cálculo de energia térmica para o dia de maior consumo de água quente previsível com o volume de água quente determinado e para uma temperatura desejada de cerca de 30°C ,

$$q_{CT} = V_Q \times c_p \times \rho_{\text{agua}} \times (35 - 17) = 399290 \text{ w h/dia}$$

Assim,

$$A_C = \frac{399289,6}{0,770 \times 3120,73} = 166,07\text{m}^2$$

H. RECURSOS – ANÁLISE ECONÓMICA

A análise económica do sistema de colectores solares térmicos em estudo baseou-se em parâmetros descritos no orçamento cedido pela empresa Spin Energia, SA:

Tabela 9.9 - Características e valores cedidos pela empresa Spin Energia, SA

Número de colectores	12
Área de colectores (m²)	170,4
Custo Total do investimento (€)	55.840

Com um investimento de 55.840€, a ajuda de 45% da entidade QREN, o valor total de investimento é de 30.712€.

$$\text{Valor}_{\text{residual}} = 10\% * \text{investimen to inicial}$$

$$\text{Valor}_{\text{residual}} = 0,10 * 30712 = 3.071\text{€}$$

$$\text{Investimen to}_{\text{anualizado}} = (\text{total investimen to} - \text{Valor residual}) \times \frac{i}{1 - (1+i)^{-nu}} + (\text{Valor}_{\text{residual}} \times i)$$

$$\text{Investimen to}_{\text{anualizado}} = (30712 - 3071) \times \frac{5\%}{1 - (1+5\%)^{-10}} + (3071 \times 5\%) = 3.733\text{€}$$

Os proveitos são correspondentes à poupança de energia térmica que obtemos com este sistema de colectores solares, ou seja, o aquecimento de água fria até aos 35°C (q_{CT}):

$$q_{CT} = 399290 \text{ w h/ dia} = 399290 * 270 \text{ dias} = 107808,3 \text{ kWh / ano}$$

$$\text{Poupança } E_T = 107808,3 \times \frac{0,434}{11,247} \times 85\% = 3.536,10\text{€}$$

Os proveitos anuais são crescentes em 3% relativamente ao proveito do primeiro ano.

$$\text{Custo}_{\text{manutenção}} = 2\% * \text{investimen to inicial}$$

$$\text{Custo}_{\text{manutenção}} = 0,02 * 30712 = 614\text{€}$$

Na tabela que se segue são apresentados os valores referentes ao cálculo do *Pay Back Period*, Índice de rentabilidade, VAL e TIR.

Tabela 9.10 - Mapa de *cash-flow*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PROVEITOS		3536,1	3712,91	3861,42	4015,88	4176,51	4343,57	4517,32	4698,01	4885,93	5.081 €
INVESTIMENTO	-30.712 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	3.071 €
CUSTOS OPERATÓRIOS		614 €	614 €	614 €	614 €	614 €	614 €	614 €	614 €	614 €	614 €
EBITDA		2.922 €	3.099 €	3.247 €	3.402 €	3.562 €	3.729 €	3.903 €	4.084 €	4.272 €	1.396 €
AMORTIZAÇÕES (INVESTIMENTO ANUALIZADO)		3.733 €	3.733 €	3.733 €	3.733 €	3.733 €	3.733 €	3.733 €	3.733 €	3.733 €	3.733 €
RESULTADO LIQUIDO		-811 €	-635 €	-486 €	-332 €	-171 €	-4 €	170 €	351 €	539 €	-2.337 €
CASH-FLOW DE EXPLORAÇÃO		2.922 €	3.099 €	3.247 €	3.402 €	3.562 €	3.729 €	3.903 €	4.084 €	4.272 €	1.396 €
CASH-FLOW DE INVESTIMENTO	-30.712 €										3.071 €
CASH-FLOW LIQUIDO	-30.712 €	2.922 €	3.099 €	3.247 €	3.402 €	3.562 €	3.729 €	3.903 €	4.084 €	4.272 €	1.396 €
VA	-30.712 €	2.783 €	2.811 €	2.805 €	2.799 €	2.791 €	2.783 €	2.774 €	2.764 €	2.754 €	857 €
VAL	14.722 €										
PAY-BACK PERIOD											
VA INVESTIMENTO	-30.712 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	6.142 €
VAL INVESTIMENTO	-24.570 €										
VA EXPLORAÇÃO		2.783 €	2.811 €	2.805 €	2.799 €	2.791 €	2.783 €	2.774 €	2.764 €	2.754 €	857 €
VAL EXPLORAÇÃO	25.919 €										
PAY-BACK PERIOD	9,48										
INDICE DE RENTABILIDADE	1,05										
TIR	1,67%										