

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Química

Dissertação da Unidade Curricular de Dissertação/Projeto/Estágio do 2º ano do

Mestrado em Otimização Energética na Indústria Química

Candidato: Ana Cristina da Silva Duarte, 1070628@isep.ipp.pt

Empresa: COFELY, GDF SUEZ – Energia e Serviços Portugal, SA.

Local de realização: Continental - Indústria Têxtil do Ave

Orientação Científica: Paula Neto, mpp@isep.ipp.pt

Co-orientação Científica: Anabela Guedes, afg@isep.ipp.pt

Co-orientação: Pedro Serrano, pedro.serrano@cofely-gdfsuez.com

28/10/2013

Aos meus pais ...

Agradecimentos

Ao longo da realização deste trabalho foram surgindo dúvidas, dificuldades e alguns obstáculos que foram ultrapassados com ajuda.

Quero deixar aqui o meu sincero agradecimento a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste projeto.

Quero agradecer às minhas orientadoras científicas, Eng.^a Paula Neto e Eng.^a Anabela Guedes, por conseguirem que realizasse esta dissertação em ambiente industrial, e também pelo apoio e ajuda ao longo destes meses.

Do mesmo modo quero agradecer ao Eng.^o Joaquim Rocha por me ter recebido na Continental – ITA e por ter contactado o Eng.^o Pedro Serrano para que me acolhesse como sua orientada.

Quero também agradecer ao Eng.^o Pedro Serrano, da COFELY, por me ter proporcionado um trabalho desafiante e por toda a ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

A toda a equipa da COFELY que se encontra na Continental – ITA o meu agradecimento, especialmente ao Eng.^o Miguel Sá que, por muitas vezes, me ajudou na realização de algumas tarefas.

Quero agradecer aos meus colegas estagiários que me proporcionaram um bom ambiente de trabalho, de companheirismo e de incentivo. Ao Hélder Ribeiro, Álvaro Ferreiro, Hugo Vieira e por último, mas não menos importante, ao João Melo o meu sincero obrigada por todos os momentos que partilhamos.

Por último, o meu agradecimento muito especial aos meus pais, que sempre me proporcionaram uma boa educação, me incentivaram a ser melhor e a fazer o melhor em todos os projetos que abracei ao longo da minha vida académica e pessoal. Sem vocês nada disto seria possível.

Resumo

Esta dissertação teve como objetivo o estudo de uma central de climatização adiabática, que tem como finalidade controlar a temperatura e a humidade de um salão com equipamentos de torcedura e de bobinagem, pertencente à Continental - ITA.

Foi realizado um levantamento de dados relativamente à temperatura e humidade interior e exterior do referido salão. Verificou-se que estes parâmetros não estavam dentro dos valores ótimos desejados, $26 \pm 1^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$, e por isso foi necessário estimar as necessidades nominais de arrefecimento. Este valor foi determinado a partir do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), obtendo-se o valor de $79 \text{ kWh/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. No sentido de avaliar se as centrais de climatização instaladas no salão em estudo satisfaziam estas necessidades, calcularam-se as suas capacidades de arrefecimento obtendo-se um valor máximo de $64 \text{ kWh/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Paralelamente a este estudo, foi calculada a eficiência de humidificação para cada central nos meses de março e setembro. Os valores obtidos foram oscilantes obtendo-se um valor máximo de 100% em setembro. Este fato deve-se à temperatura exterior neste mês ser mais alta e, por consequência, a eficiência de humidificação da central é maior, pois a quantidade de água que o ar pode conter na sua composição é também mais elevada.

Com o objetivo de colmatar a diferença entre as necessidades nominais de arrefecimento e a capacidade de arrefecimento das centrais, foram analisadas algumas soluções que, a serem implementadas, poderiam ajudar na poupança energética. Uma dessas soluções era a substituição do sistema atual de humidificação por um sistema mais eficiente de alta pressão. Com o estudo económico deste investimento obteve-se um período de retorno de dois anos. Foram ainda apresentados mais dois investimentos onde foi alterado o sistema de controlo automático existente, obtendo-se para um, dois anos de período de retorno e para o outro três anos e meio.

Palavras-chave:

Climatização; Climatização adiabática; Humidificação; RCCTE.

Abstract

This work aimed to study a HVAC adiabatic central that controls the temperature and humidity of a room with equipment of twisting and winding, belonging to Continental-ITA.

A data survey on the temperature and humidity inside and outside of that room was performed. It has been established that these parameters were not within the desired optimal values, 26 ± 1 ° C and $50 \pm 5\%$, therefore it was necessary to estimate the cooling nominal needs. This value was calculated using the Regulation Characteristics of Thermal Performance of Buildings (RCCTE). A value of $79 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{°C})$ was obtained. In order to assess if the air conditioning system that was installed satisfies these needs, its cooling capacity was determined at a maximum level of $64 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{°C})$.

In parallel, it was evaluated the humidification for each central in the months of March and September. The values obtained were very oscillating with a maximum of 100% in September. This is due to a higher outdoor temperature during the period of this month and consequently the humidification efficiency is higher, because the amount of water that the air can hold in its composition is also higher.

Aiming to bridge the gap between the nominal cooling needs and the cooling capacity of cooling units, some solutions were analyzed so that they could be implemented to help with energy conservation. One solution was to replace the current system of humidification for a more efficient system of high pressure. With the economic study of this investment we have obtained a return period of two years. Also presented were two additional investments in which the existent automatic control system was changed, the first investment will have a two years payback period and the second three and half years.

Keywords:

Air cooling systems, evaporative cooling, RCCTE.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Continental - Indústria Têxtil do Ave, S.A.	1
1.2. COFELY, GDF SUEZ – Energia e Serviços Portugal, SA.....	5
1.3. Objetivos do trabalho	8
1.4. Organização da Dissertação	9
2. Climatização.....	11
2.1. Climatização Industrial	11
2.2. Conforto térmico.....	13
2.2.1. Fatores ambientais.....	14
2.2.2. Fatores pessoais.....	15
2.2.3. Mecanismos corporais de transferência de calor.....	16
2.3. Climatização Adiabática	17
2.3.1. Humidificação.....	18
2.3.2. Sistema de lavadores de ar convencionais	20
2.4. Necessidades de Arrefecimento	22
3. Caracterização da Instalação em Estudo	29
3.1. Dados experimentais.....	29
3.2. Comportamento térmico do edifício	38
3.2.1. Cálculo das Necessidades de Arrefecimento	38
3.2.2. Cálculo da capacidade de arrefecimento do sistema instalado	44
4. Otimização Energética da Instalação	47
4.1. Propostas de melhoria	49
4.2. Estudo económico da substituição do sistema de humidificação.....	51
5. Conclusão e proposta de trabalhos futuros	55
Referências Bibliográficas	57

Anexo A. Tabelas para cálculo das necessidades de arrefecimento	61
Anexo B. Exemplos de cálculo	67
Anexo C. Dados recolhidos de temperatura e humidade	70
Anexo D. Eficiência de humidificação	75
Anexo E. Consumo energético e de água das centrais	77
Anexo F. Folheto informativo do sistema de humidificação "TexFog"	81
Anexo G. Folheto informativo do sistema de controlo automático "DigiControl 5"	87
Anexo H. Proposta de investimento da empresa LUWA	95

Índice de Tabelas

Tabela 3.1: Dados dimensionais do salão climatizado.....	30
Tabela 3.2 - Áreas necessárias ao cálculo das necessidades de arrefecimento.....	31
Tabela 3.3 - Características dos motores existentes nas centrais de climatização.	34
Tabela 3.4 - Perdas associadas às coberturas exteriores.	39
Tabela 3.5 - Perdas associadas aos envidraçados exteriores.	39
Tabela 3.6 - Perdas térmicas para o exterior e pela renovação do ar.....	40
Tabela 3.7 - Perdas térmicas totais.	40
Tabela 3.8 - Ganhos solares pela envolvente opaca.	41
Tabela 3.9 - Ganhos solares pelos vãos envidraçados.....	41
Tabela 3.10 - Ganhos internos.	42
Tabela 3.11 - Ganhos térmicos totais.....	42
Tabela 3.12 - Inércia do edifício.	43
Tabela 3.13 - Necessidades nominais de arrefecimento.	43
Tabela 3.14 - Capacidade de arrefecimento de cada central de climatização.	45
Tabela 4.1 - Comparação entre a situação atual e a situação futura em relação ao consumo de água pelas centrais.	51
Tabela 4.2 - Comparação entre a situação atual e a situação futura em relação ao consumo de energia elétrica pelas centrais.	52
Tabela 4.3 - Período de retorno dos investimentos.	53

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Continental - Indústria Têxtil do Ave (fachada virada para a Continental Mabor) [Leite, 2013].	1
Figura 1.2 - Continental - Indústria Têxtil do Ave (fachada da cantina e dos recursos humanos) [Leite, 2013].	2
Figura 1.3 - Máquina responsável pela torcedura de fio [Hemaks, 2013].	3
Figura 1.4 - Tear de tecelagem plana [FIEC – Sinditêxtil, 2002].	4
Figura 1.5 - Máquina de Impregnação de tela "verde" [Emilam, 2013].	4
Figura 1.6 - Etapas do processo de fabrico das telas impregnadas e do fio impregnado.	5
Figura 2.1 - Pulverização direta de água na corrente de ar de arrefecimento [ASHRAE, 2008].	19
Figura 2.2 - Humidificação com vapor [ASHRAE, 2008].	20
Figura 2.3 - Humidificação do ar [ASHRAE, 2008].	21
Figura 3.1 - Planta do salão climatizado. A) Ligação ao edifício; B) Centrais de Climatização 1 e 2; C) Centrais de Climatização 3 e 4; D) Espaço climatizado.	29
Figura 3.2 - Esquema processual do percurso do ar e da água dentro de cada central.	33
Figura 3.3 - Variação da temperatura e da humidade, na zona climatizada pela central 1.	35
Figura 3.4 - Variação da temperatura e da humidade, na zona climatizada pela central 2.	35
Figura 3.5 - Variação da temperatura e da humidade, na zona climatizada pela central 3.	36
Figura 3.6 - Variação da temperatura e da humidade, na zona climatizada pela central 4.	36
Figura 3.7 - Variação da temperatura e da humidade exterior.	37
Figura 3.8 - Variação da eficiência da humidificação de março e setembro.	37
Figura 4.1 - Consumo de água distribuído pelos meses do ano, durante o ano de 2012.	47
Figura 4.2 - Consumo de energia elétrica distribuído pelos meses do ano, durante o ano de 2012.	48

Siglas

AG – Aktiengesellschaft (Sociedade Anónima).

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning.

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.

ITA – Indústria Têxtil do Ave.

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade de Ar Interior.

IFMS - Industrial Facility Management Services.

CC – Central de Climatização.

Nomenclatura

Símbolo	Descrição	Unidades
a	Fator da inercia térmica do edifício	-
$A_{coberturas}$	Área das coberturas exteriores	m^2
$A_{envidraçados}$	Área dos envidraçados exteriores	m^2
A_p	Área útil do pavimento	m^2
$A_{paredes}$	Área das paredes exteriores expostas ao ar exterior	m^2
C	Capacidade de arrefecimento	$\frac{kWh}{m^2ano}$
cp	Capacidade calorífica	$kJ/kg.^{\circ}C$
F_w	Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados	-
G	Intensidade da radiação solar	kWh/m^2
H	Entalpia	kJ/kg
M	Duração média da estação convencional de arrefecimento	Meses
$M_{água}$	Massa Molar da água	g/mol
M_{ar}	Massa Molar do ar	g/mol
Nv_c	Necessidades nominais de arrefecimento de um edifício ou fração autónoma	$\frac{kWh}{m^2ano}$
P_v	Soma das potências elétricas de todos os ventiladores instalados	kW
Q_1	Ganhos através da envolvente opaca exterior	$W/^{\circ}C$
Q_2	Perdas associadas aos envidraçados exteriores	$W/^{\circ}C$
Q_3	Perdas por ventilação	$W/^{\circ}C$
\dot{Q}_c	Perdas específicas totais	$W/^{\circ}C$

Q_c	Perdas associadas às coberturas exteriores	$W/^\circ C$
Q_f	Necessidades brutas de arrefecimento	$\frac{kWh}{ano}$
Q_g	Ganhos totais brutos do edifício ou fração autónoma	$\frac{kWh}{ano}$
Q_i	Ganhos internos	kWh
q_i	Ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento	W/m^2
Q_n	Necessidades brutais de arrefecimento totais	$\frac{kWh}{ano}$
Q_p	Perdas associadas às paredes exteriores	$W/^\circ C$
Q_s	Ganhos solares do edifício	kWh
Q_{s_1}	Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	kWh
Q_{s_2}	Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	kWh
Q_T	Perdas térmicas totais	W
Q_v	Consumo energético dos ventiladores	$\frac{kWh}{ano}$
R_{ph}	Número de renovações horárias do ar interior	h^{-1}
T_1	Temperatura de entrada do ar	$^\circ C$
T_2	Temperatura de saída do ar	$^\circ C$
T_s	Temperatura húmida de entrada do ar	$^\circ C$
T	Temperatura	$^\circ C$
$U_{coberturas\text{exterior es}}$	Coeficiente global de transferência de calor das coberturas exteriores	$W/m^2^\circ C$
$U_{envidraçados}$	Coeficiente global de transferência de calor associado aos envidraçados exteriores	$W/m^2^\circ C$

$U_{paredes\text{exterior}}es$	Coeficiente global de transferência de calor das paredes exteriores	$W/m^2\text{°C}$
V	Volume do edifício ou fração autónoma	m^3
\dot{V}_f	Caudal médio diário	m^3/h
\dot{V}_x	Caudal adicional correspondente a infiltrações	m^3/h
WB	Temperatura Húmida	$^{\circ}\text{C}$
Y_e	Humidade específica	g/kg
Y_r	Humidade relativa	%
ΔH	Variação da entalpia	kJ/kg
α	Coeficiente de absorção solar da superfície exterior	-
γ	Relação entre os ganhos totais brutos e as perdas térmicas totais	-
δ	Fator solar do vão envidraçado	-
η	Fator de utilização dos ganhos	-
ε_e	Eficiência da climatização adiabática	%
θ_{atm}	Temperatura média do ar exterior	$^{\circ}\text{C}$
θ_i	Temperatura de referência do ar no interior do edifício	$^{\circ}\text{C}$
ρ	Massa volúmica	kg/m^3
λ	Calor latente de vaporização da água	kJ/kg

1. Introdução

Este trabalho foi realizado em ambiente industrial, mais propriamente na empresa Continental - Indústria Têxtil do Ave (ITA), SA, em colaboração com a empresa COFELY, GDF SUEZ – Energia e Serviços Portugal, SA.

A COFELY presta serviços de gestão de instalações industriais (*Industrial Facility Management*) para as fábricas da Continental-Mabor e da Continental-ITA em Portugal. A COFELY gere as instalações técnicas dos edifícios fabris e administrativos: instalações elétricas, ventilação industrial, ar condicionado e serviços de mecânica, bem como outros serviços, incluindo limpeza, segurança e construção civil.

Este trabalho centrou-se no setor da torcedura da ITA, visando o estudo da central de climatização adiabática presente nas instalações desta fábrica.

De seguida é feita uma pequena apresentação das empresas envolvidas neste trabalho.

1.1. Continental - Indústria Têxtil do Ave, S.A.

A Indústria Têxtil do Ave (figura 1.1 e figura 1.2), ITA, foi fundada oficialmente a 16 de Dezembro de 1948 e iniciou a sua atividade a 4 de Agosto de 1950. Inicialmente a ITA, denominada na altura por INTEX, abrangia uma área coberta de 12000 m², produzia telas em algodão de reforço dos pneus, até então importadas da “*General Tire*”. No arranque contou com a colaboração técnica da empresa norte-americana “*The General Tire & Rubber Company*” [Leite, 2013].



Figura 1.1 - Continental - Indústria Têxtil do Ave (fachada virada para a Continental Mabor) [Leite, 2013].



Figura 1.2 - Continental - Indústria Têxtil do Ave (fachada da cantina e dos recursos humanos) [Leite, 2013].

Em 1951 devido à especificidade técnica dos fios requeridos na produção de “*Cordfabric*”¹, os quais eram praticamente impossíveis de encontrar no mercado, a ITA decidiu instalar uma secção de fiação, exportando o primeiro “*Cordfabric*” em 1952 [Leite, 2013].

Em 1958 a principal matéria-prima na construção de pneus deixa de ser o algodão e passa a ser utilizado *rayon* de alta tenacidade. Isto impôs à INTEX a primeira grande mudança tecnológica e de processo. A mudança implicava um acabamento final nos tecidos de *rayon*, para garantir a adesão dos compostos de borracha no tecido [Indústria Têxtil do Ave, 2010].

Em 1962/1963 foram impostas novas mudanças na matéria-prima, com base em produtos de síntese nomeadamente a poliamida (*nylon*) de alta tenacidade, com o objetivo de constituírem a base dos tecidos de reforço na construção de pneus [Indústria Têxtil do Ave, 2010].

Na década de 70/80 a ITA iniciou um ambicioso projeto de inovação tecnológica e um aumento da capacidade produtiva da fábrica, onde se sucederam várias medidas, entre as quais, a renovação da secção de torcedura e a instalação de uma segunda máquina de impregnar [Indústria Têxtil do Ave, 2010].

Em 1 de Julho de 1990, o grupo Continental AG passou a deter 100% do capital da marca Mabor - Indústria de Pneus SA, transformando-se na marca Continental Mabor - Indústria de Pneus SA. Nessa altura a ITA também foi adquirida por este grupo [Leite, 2013].

¹ Telas ou “tecidos” para a utilização como reforço em pneus, produzidas através de *rayon*, *nylon*, *polyester* e aramida.

Em 1993 a ITA foi uma das primeiras empresas têxteis a nível nacional a obter a norma ISO9002 (gestão da qualidade) e, em 1998 a segunda empresa portuguesa a ser certificada pela Associação Portuguesa de Certificação, APCER, segundo a norma ISO14001 (sistema de gestão ambiental) [SCE, 2006].

Entre o final da década de 90 e o início do século XXI iniciou-se um novo ciclo de investimento, com vista à modernização das áreas de torcedura, tecelagem e impregnação, que aumentou significativamente a capacidade de produção para 14000 ton/ano (em 1982 a produção era de 4200 ton/ano). Este ciclo completou-se com a construção de um laboratório de investigação e com o desenvolvimento de uma linha de impregnação de corda, sendo esta última completada em 2008 [Indústria Têxtil do Ave, 2010].

Atualmente a Continental – ITA, dispõe de uma área total de 52329 m² dos quais 30153 m² são de área coberta, tem 152 colaboradores permanentes e tem uma produção de 14.000 ton/ano de “tecidos” e “corda” para pneus, usando como matérias-primas o *rayon*, *nylon*, *polyester*, e aramida [Indústria Têxtil do Ave, 2010].

O processo de fabrico do *Cordfabric* envolve basicamente três operações [Leite, 2013]:

- Torcedura: a matéria-prima, que se encontra sob a forma de fio, é torcida e/ou retorcida com o objetivo de melhorar o seu comportamento mecânico, figura 1.3.

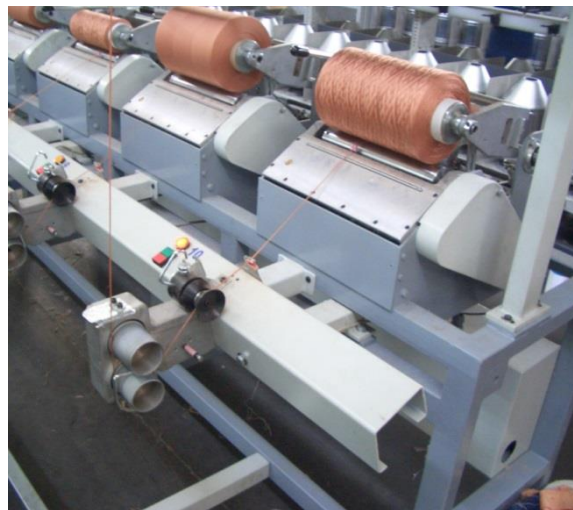


Figura 1.3 - Máquina responsável pela torcedura de fio [Hemaks, 2013].

- Tecelagem: antes de iniciar o processo de tecelagem a corda sofre um estágio de estabilização. Utilizando teares de projétil (figura 1.4) produzem-se então os tecidos, que após controlo de qualidade, seguem para a impregnação.



Figura 1.4 - Tear de tecelagem plana [FIEC – Sinditêxtil, 2002].

- Impregnação: no processo de impregnação/termofixação é utilizada uma solução de resorcina formaldeído latex, para permitir a adesão da borracha ao tecido em “verde” (designação do tecido antes de ser impregnado). Melhora-se a estabilidade dimensional, a resistência térmica e a resistência à fadiga e ao impacto, mediante operações de alongamento e encolhimento pré-determinadas, em condições de tensão e temperatura controladas, figura 1.5.



Figura 1.5 - Máquina de Impregnação de tela "verde" [Emilam, 2013].

Para além deste três processos, existe ainda um outro, designado de bobinagem. Este processo apenas é realizado quando os rolos dos artigos não apresentam as medidas corretas, para serem imediatamente processados nos equipamentos de torcedura. Este processo consiste em rebobinar o fio dos rolos originais para rolos apropriados. Além da mudança de rolos, este processo tem um objetivo secundário, retirar irregularidades que existam no fio.

O fluxograma simplificado do sistema produtivo generalizado das matérias-primas encontra-se representado na figura 1.6. Os produtos finais deste processo produtivo são o fio impregnado e a tela impregnada.

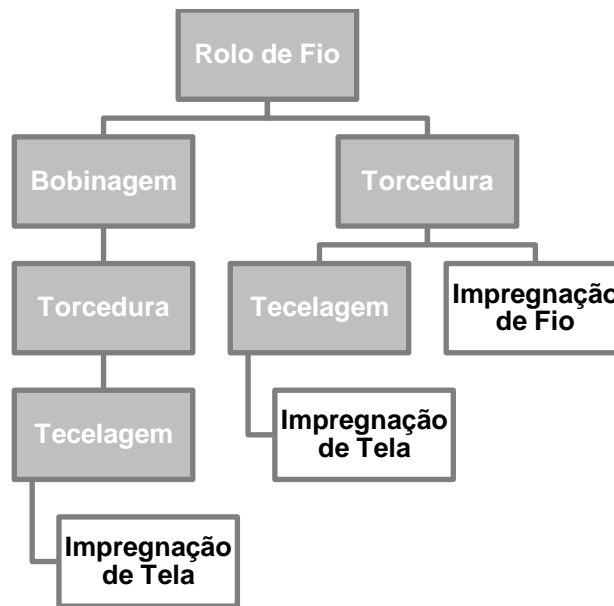


Figura 1.6 - Etapas do processo de fabrico das telas impregnadas e do fio impregnado.

1.2. COFELY, GDF SUEZ – Energia e Serviços Portugal, SA

A COFELY foi criada pelo grupo GDF SUEZ, é uma empresa que projeta e implementa soluções para que as empresas e autoridades públicas utilizem melhor a energia, reduzindo o impacte ambiental [COFELY – GDF SUEZ].

Em Portugal, a COFELY resulta da união entre a empresa de Assistência e Condução de Instalações Técnicas, SA (ACIT) e da Endel, empresas integrantes do ramo GDF SUEZ *Energy Services* dedicadas à gestão técnica e gestão integrada dos locais e ambientes de trabalho (*Facility Management*).

A ACIT, fundada em 1983, foi a primeira empresa em Portugal dedicada exclusivamente à gestão técnica e manutenção de edifícios [COFELY – GDF SUEZ].

A ENDEL atua desde 1994 no segmento da indústria, executando serviços que vão desde a transferência e renovação de instalações, à coordenação de paragens, incluindo a manutenção e operação em ambiente industrial [COFELY – GDF SUEZ].

Em Portugal, a COFELY oferece uma gama de serviços que compreende o projeto, a implementação e a exploração de soluções, que permitem aos seus clientes superar dois desafios:

- Melhorar na utilização das energias;
- Diminuir do seu impacto no ambiente.

Esta empresa encontra-se certificada de acordo com as normas de qualidade, ambiente, energia e segurança, possuindo as certificações profissionais necessárias ao cumprimento das regulamentações em vigor e dos objetivos de sustentabilidade [COFELY – GDF SUEZ].

A Política Integrada de Qualidade, Ambiente, Energia e Segurança assenta nos seguintes princípios [COFELY – GDF SUEZ]:

- *Satisfazer e exceder as expectativas dos seus clientes*, mantendo um relacionamento de mútua confiança e assegurando o cumprimento das exigências contratuais e a procura de soluções energeticamente mais eficientes;
- *Desenvolver soluções mais eficientes* por forma a melhorar o desempenho energético das instalações geridas pela empresa;
- *Contribuir para o desenvolvimento sustentável* através da prevenção da poluição e da consciencialização de todos os que executam tarefas para a empresa ou em seu nome e que possam causar danos ambientais significativos;
- *Preservar a integridade das pessoas e dos bens*, favorecendo a qualidade de vida no trabalho e melhorando a saúde e segurança pelo profissionalismo de todos. Isto diz respeito não só aos colaboradores da COFELY, mas também aos clientes, parceiros, subcontratados e a todos os que são afetados pelas suas atividades;
- Cumprir com todos os requisitos legais e regras do grupo GDF SUEZ;
- Melhorar continuamente a eficácia do Sistema de Gestão Integrado da Qualidade, Ambiente, Energia e Segurança;
- *Satisfazer os seus acionistas e parceiros comerciais*, melhorando a competitividade e os resultados da empresa.

Dado o contexto, as tendências estratégicas e os desafios dos mercados, o objetivo do grupo é desenvolver o crescimento responsável, aproveitando a posição e negócios

(energia, água e resíduos), de forma a transformar-se rapidamente numa marca de desenvolvimento sustentável [COFELY – GDF SUEZ].

O desafio do desenvolvimento sustentável tem como resultado garantir que é possível atingir os seguintes objetivos [COFELY – GDF SUEZ]:

- Antecipar as alterações económicas, sociais e ambientais;
- Desenvolver uma visão industrial integrando todas as dimensões do desenvolvimento sustentável;
- Garantir a prosperidade contínua na sua atividade principal;
- Atender às necessidades e ao mesmo tempo garantir a segurança do abastecimento minimizando o risco da dependência energética;
- Promover o seu desenvolvimento e ao mesmo tempo conduzir as suas atividades de forma a melhorar a qualidade ambiental e social;
- Criar condições de confiança com as partes interessadas;
- Reforçar a atratividade do grupo e desenvolver um senso de filiação com os funcionários.

Linhas de Negócio

A COFELY é uma empresa certificada de acordo com a norma NP EN ISSO 9001:2000 e possui as certificações profissionais necessárias ao cumprimento das regulamentações em vigor e dos objetivos de sustentabilidade em Portugal, oferece serviços de gestão integrada dos locais e ambientes de trabalho (*Facility Managment*) e soluções de energia adaptadas às necessidades de cada cliente, como por exemplo [COFELY – GDF SUEZ]:

- Gestão de Instalações Técnicas

Prestação de serviços de gestão das infraestruturas técnicas que suportam a atividade dos clientes, diminuindo os custos e acrescentando valor às operações. A prioridade é entender as necessidades específicas de cada cliente e construir a solução mais adequada, tanto para instalações singulares como distribuídas.

- Gestão e Projeto de Soluções de Energia Sustentável

Contém capacidade para gerir as necessidades energéticas de cada cliente e para garantir contratualmente os custos de energia, assegurando a operação das instalações, também pode fornecer soluções integrais baseadas em energia sustentável, incluindo todos os componentes chave como projeto, construção e operação de longo prazo.

- Gestão integrada dos locais e ambientes de trabalho (*Facility Management*)

Fornece todos os serviços necessários à operação e manutenção das instalações do cliente, integrando além dos serviços técnicos os restantes prestadores de serviços – limpeza, segurança, construção entre outros – num único contrato com um único interlocutor.

- Gestão industrial de serviços gerais (IFMS)

Pioneira em Portugal no lançamento de projetos IFMS, apresenta uma experiência relevante no arranque e gestão de contratos de suporte à produção fabril. Integrando as diversas especialidades técnicas e não técnicas, transversalmente aos diversos departamentos fabris (ex. Engenharia, Produção, Manutenção), podem atingir-se reduções de custo mantendo os níveis de serviço.

1.3. Objetivos do trabalho

Este trabalho teve como objetivo o estudo de uma central de climatização adiabática. Esta central climatiza um salão pertencente ao setor da torcedura da ITA. Neste salão existem máquinas torcedoras e máquinas bobinadeiras, que durante o seu funcionamento libertam energia sob a forma de calor para o meio circundante. Tendo em conta todas as variações provocadas pelas perdas e pelos ganhos térmicos, o objetivo principal foi a otimização da “central de climatização”², mantendo as condições de conforto pré-estabelecidas, de temperatura e humidade. Esta otimização começou pela recolha de informações sobre as condições de projeto do edifício, do dimensionamento das centrais, do tipo de equipamento e cargas térmicas geradas pelos equipamentos e por último foi elaborado um estudo das necessidades de arrefecimento do salão em causa.

As necessidades de arrefecimento são calculadas para a estação de aquecimento, de junho a setembro, pois é nos meses mais quentes que a temperatura e a humidade interiores atingem valores mais críticos.

Em cada central existem parâmetros que podem ser alterados para se obter as condições climatéricas pretendidas, por exemplo, a velocidade de rotação dos motores dos ventiladores, por alteração da frequência de trabalho, a humidificação³ do ar, por variação

² Conjunto de equipamentos combinados de forma coerente com vista a satisfazer a um ou mais dos objetivos da climatização (ventilação, aquecimento, arrefecimento, humidificação, desumidificação e purificação do ar). No caso de satisfazer a todos, tem-se o ar condicionado.

³ Processo de aumento da humidade específica do ar.

na frequência com que trabalha a bomba de água, e a interação entre o ar de extração⁴ e o ar fresco⁵.

Foram também estudadas soluções que permitem aumentar a eficiência do arrefecimento e humedificação das centrais, apresentando um estudo económico associado a uma solução.

1.4. Organização da Dissertação

Esta dissertação está dividida em quatro capítulos.

O primeiro capítulo refere-se à apresentação das empresas envolvidas neste projeto e dos objetivos principais propostos neste trabalho.

O segundo capítulo envolve conceitos teóricos necessários ao desenvolvimento deste trabalho realizado, tais como, climatização, climatização adiabática e conforto térmico. Este capítulo foi muito importante na realização do trabalho, pois permitiu a aquisição de novos conhecimentos indispensáveis à realização deste projeto.

No terceiro capítulo é feita a caracterização do salão da torcedura (salão em estudo), são apresentados dados dimensionais, dados sobre equipamentos e sobre a ocupação do referido salão. Posteriormente é feita uma análise das necessidades nominais de arrefecimento e da capacidade de arrefecimento das centrais de climatização em estudo.

No quarto capítulo são indicadas algumas oportunidades de melhoria ao sistema de climatização instalado e é feito um estudo económico de uma das sugestões apontadas.

No quinto e último capítulo encontram-se as conclusões e algumas propostas para trabalhos futuros.

⁴ Ar que é extraído do local pelo sistema de climatização.

⁵ Ar exterior que é introduzido no sistema de climatização para renovação do ar do local com fins de higiene e saúde. Identifica-se no todo ou em parte com o ar de insuflação.

2. Climatização

A climatização (termo genérico para designar o processo de tratamento do ar ou forma de fazer alterar individual ou conjuntamente a sua temperatura, humidade, qualidade ou velocidade no local. Identifica-se, assim, respetivamente, com as funções aquecimento ou arrefecimento, humidificação ou desumidificação e ventilação) permite controlar o ambiente de modo a assegurar as condições de conforto térmico, quer seja, numa habitação ou num ambiente industrial. Nesta dissertação será abordada a climatização industrial em particular, a climatização adiabática.

2.1. Climatização Industrial

Os sistemas de aquecimento/arrefecimento central representam cerca de 25% das aplicações dos sistemas de climatização. Estes são utilizados em quase todos os tipos de construções, mas mais particularmente em grandes edifícios e complexos onde existe uma elevada densidade de utilização de energia. Estes sistemas são especialmente adequados para aplicações onde certos parâmetros são importantes, tais como maximizar a vida útil de equipamentos e utilizar a energia de forma eficiente [ASHRAE, 2008].

Os seguintes tipos de instalações são bons postulantes para a aplicação dos sistemas de climatização central [ASHRAE, 2008]:

- Grandes edifícios de escritórios;
- Grandes instalações públicas, complexos de entretenimento, estádios e centros de convenções/exposições;
- Centros comerciais;
- Grandes condomínios, hotéis e complexos de apartamentos;
- Instalações educacionais;
- Hospitais e outros serviços de saúde;
- Instalações industriais;
- Grandes museus e instituições similares.

Uma das vantagens da centralização da climatização é a sua facilidade de implementação, porque a maior parte do equipamento auxiliar está consolidado num único local. Um sistema de controlo automático computadorizado ou de gestão de instalações deve ser implementado em qualquer sistema de ar condicionado complexo de grande capacidade. Este tipo de equipamento pode afetar significativamente o desempenho do sistema e tem como objetivo monitorizar os pontos do sistema e o seu desempenho geral. Isso permite que

um único operador possa controlar o desempenho térmico de um edifício em vários pontos e fazer ajustes para aumentar o conforto dos ocupantes [ASHRAE, 2008].

Os sistemas que utilizam apenas ar para climatizar, fornecem ar para o ambiente em condições tais que os ganhos de calor sensível e latente no espaço sejam absorvidos pelo ar de alimentação, que flui através do espaço. Deste modo o ar interior permanece nas condições ambientais desejadas. Para combater a variação dos ganhos de calor no tempo existem vários mecanismos que permitem variar a energia removida do espaço pelo ar de alimentação. Assim, pode-se variar o caudal de fornecimento de ar e fazer variar a temperatura do ar fornecido ao espaço que se pretende climatizar [ASHRAE, 2008].

Este tipo de equipamentos pode ser usado em edifícios de todos os tamanhos, que necessitem de controlo individual de várias zonas, tais como edifícios de escritórios, escolas e universidades, laboratórios, hospitais, lojas, hotéis e até navios. Podem também ser usados em aplicações especiais para o controlo da temperatura, humidade, pressão do espaço e/ou qualidade do ar, incluindo salas de informática, salas cirúrgicas, instalações de desenvolvimento e muitas instalações industriais [ASHRAE, 2008].

De seguida apresentam-se algumas vantagens e desvantagens deste tipo de climatização [ASHRAE, 2008].

Sistemas de climatização centralizada

<p>Vantagens</p>	<p>A operação e manutenção do equipamento principal pode ser realizada numa área desocupada (por exemplo, uma sala de mecânica central);</p> <p>Tubagens, equipamentos elétricos, cabos, filtros e vibrações dos equipamentos que produzem ruído estão longe da área condicionada, minimizando a interrupção para necessidades de serviço e o dano potencial aos ocupantes, móveis e processos;</p> <p>As mudanças sazonais são simples e adaptam-se facilmente ao controlo automático;</p> <p>Através do aumento da taxa de renovação de ar e utilizando um controlo de alta eficiência, estes sistemas podem manter uma condição de funcionamento mais próxima das condições desejadas.</p>
<p>Desvantagens</p>	<p>Condutas instaladas no teto exigem uma folga adicional, por vezes, reduzindo a altura do teto e/ou aumentando a altura do edifício;</p> <p>Em edifícios comerciais, as salas de equipamentos do tratamento de ar representam espaços não-geradores de receitas;</p> <p>Uma falha mecânica de um componente do sistema central, como um ventilador ou uma válvula de controlo, afeta todas as zonas servidas por aquela unidade;</p>

Todos os equipamentos de ar operam de modo a manter um diferencial de temperatura entre o ar de alimentação e o espaço. Qualquer carga que afete esse diferencial e o fluxo de ar associado devem ser calculados e considerados, incluindo o seguinte:

- Todos os ventiladores adicionam calor. Eventualmente todo o poder do eixo do ventilador é convertido em calor no sistema. Isto provoca perdas no ventilador ou perdas por atrito na conduta a jusante. Este efeito acentua-se se o motor do ventilador estiver na passagem do ar [ASHRAE, 2008].
- A conduta de ar de alimentação pode sofrer variações de calor se esta estiver em contacto com o ar ambiente. Em relação à energia, a maioria dos códigos de boas condutas, indica que as condutas de fornecimento de ar devem ser isoladas. Condutas de fornecimento de ar fresco não isoladas estão sujeitas à formação de condensados, o que conduz a danos de construção e crescimento de fungos, dependendo da temperatura de ponto de orvalho do ar ambiente [ASHRAE, 2008].

2.2. Conforto térmico

A principal finalidade de sistemas de aquecimento, ventilação e de ar condicionado é proporcionar condições de conforto térmico humano. Em geral, o conforto ocorre quando a temperatura do corpo é mantida dentro de limites estreitos, a humidade da pele é baixa, e o esforço fisiológico de regulação é minimizado [ASHRAE, 1997].

Designações de conforto térmico [Elzaidabi, 2008]:

- “Estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente circundante” – *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE).
- “Estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico” - ISO 1994.
- “Condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico” - British Standard BS EN ISO 7730.

O termo "conforto térmico" descreve o estado psicológico de uma pessoa. É normalmente referido em termos do conhecimento de como se sente alguém, isto é, qual a sensação térmica que sente, quente ou frio [Elzaidabi, 2008].

O conforto térmico pode ser difícil de definir parametricamente, porque depende de uma série de fatores ambientais e humanos. Estes fatores devem ser considerados para a determinação do que se deve fazer para melhorar o conforto das pessoas [Elzaidabi, 2008]. As condições de conforto podem ser mantidas com diminuição dos consumos energéticos e

do aumento da eficiência dos sistemas de climatização mas, para que se cumpram estes requisitos é imperativo a consideração de alguns parâmetros [Gomes, 2010]:

- Edifícios com bom isolamento, tanto ao nível de paredes, tetos e envidraçados;
- Manter os termóstatos regulados, para temperaturas interiores de acordo com as necessidades de conforto dos diversos espaços;
- Não climatizar espaços vazios ou sem utilização;
- Limpeza regular dos filtros de ar e manutenção periódica dos equipamentos;
- No projeto de um edifício ter em conta a arquitetura bioclimática e a arquitetura solar;
- Instalar sistemas de climatização centralizados, com mecanismos de regulação local, pois aumentam a eficiência do processo e facilitam a manutenção.

2.2.1. Fatores ambientais

Como foi referido, o conforto térmico depende de vários fatores ambientais tais como:

- Temperatura do ar e temperatura operativa

A temperatura operativa é a temperatura de um ambiente uniforme a 100% de humidade relativa, em que uma pessoa perde a mesma quantidade de calor que perderia num ambiente real [ASHRAE, 1997].

- Temperatura radiante

A temperatura radiante tem uma influência maior do que a temperatura do ar. Qualquer corpo presente num dado espaço pode ganhar ou perder energia para o ar ambiente por convecção, enquanto que a temperatura das superfícies internas, está relacionada com a transferência de calor por radiação, tendo uma maior influência nessas trocas de energia e portanto na temperatura operativa [Elzaidabi, 2008].

- Velocidade do ar

A velocidade do ar é um fator importante para o conforto térmico. Uma velocidade elevada do ar pode ser útil em zonas de clima quente, como meio para diminuir a temperatura do espaço. Ar parado ou ar em ambientes internos que são artificialmente aquecidos pode levar a que as pessoas se sintam abafadas e também pode causar uma acumulação de odor. A movimentação do ar pode aumentar a perda de calor por convecção, sem qualquer mudança na temperatura do ar, se a temperatura do ar for inferior à temperatura da pele [Elzaidabi, 2008].

- Humidade relativa

Humidade relativa, demasiado alta ou baixa pode levar a irritações nos olhos e pele. A ISO (1994) recomenda que a humidade relativa do ar deve ser entre 30% a 70% para condições de verão e inverno. A ASHRAE considerou que não havia limite inferior de humidade para o conforto térmico, mas notou que havia fatores não-térmicos de conforto a considerar: secagem da pele e dos olhos, irritação das mucosas e criação de eletricidade estática [Elzaidabi, 2008].

A ASHRAE especificou um limite máximo de humidade molar de 0,012 (pressão de vapor de 1,91 kPa ou a um ponto de orvalho de 16,8 °C). Isto corresponde a humidades relativas entre 55 - 85% para um conforto térmico aceitável, dependendo da temperatura operatória e do vestuário. No entanto, é importante ter em conta que a humidade relativa superior a cerca de 70% pode causar o crescimento de microrganismos e danos nas superfícies dentro dos edifícios, especialmente quando ocorre condensação nas superfícies. Portanto, recomenda-se que a humidade relativa em edifícios não deve exceder 70% [Elzaidabi, 2008].

2.2.2. Fatores pessoais

O conforto térmico também pode ser afetado pelas características pessoais e também pelas atividades desenvolvidas. De seguida apresentam-se os fatores mais relevantes [Elzaidabi, 2008]:

- Roupas de isolamento

O vestuário, por natureza, interfere com a capacidade de perder calor para o ambiente. O conforto térmico é muito dependente do efeito de isolamento do vestuário sobre as pessoas. Se a roupa não realiza o isolamento suficiente, o usuário pode estar em risco de ficar com lesões, como frieiras ou hipotermia em condições de frio [Elzaidabi, 2008].

- Trabalho / taxa de calor metabólico

O ritmo de trabalho ou de metabolismo é essencial para uma avaliação de risco térmico, pois descreve o calor que é produzido pelos corpos ao realizar uma atividade física. Quanto maior é o trabalho físico realizado, maior é o calor produzido. Este calor produzido necessita de ser removido, pois caso isso não aconteça existe o risco de sobreaquecimento. O impacto da taxa metabólica no conforto térmico é crítico [Elzaidabi, 2008].

Ao considerar esses fatores, é também essencial considerar as próprias características físicas de uma pessoa. A característica física de uma pessoa deve ser sempre considerada quando se avalia o seu conforto térmico, exemplos destas características são o seu tamanho e peso, idade, nível de condicionamento físico e sexo [Elzaidabi, 2008].

2.2.3. Mecanismos corporais de transferência de calor

Os seres humanos, em geral, estão em equilíbrio térmico em relação à sua vizinhança. O equilíbrio térmico corporal é um equilíbrio dinâmico entre a produção de calor (como um resultado da taxa de metabolismo humano) e a transferência de calor do corpo para o ambiente é feita através de vários mecanismos: convecção, condução, radiação e evaporação [Elzaidabi, Abdalla, 2008].

- Radiação

A transferência de calor por radiação dá-se através do transporte de energia devido à propagação de ondas eletromagnéticas, e não é necessário a presença de um meio físico para que essa propagação se dê. O único requisito para a transferência de calor por radiação ocorrer é a presença de duas superfícies ou mais a diferentes temperaturas. A radiação absorvida pela matéria produz aumento da energia interna e a radiação emitida produz diminuição dessa mesma energia [Kreider and Rabl, 1994].

- Convecção

A transferência de calor por convecção é o resultado dos movimentos de um fluido, seja líquido ou gás em grande escala. Geralmente, quanto maior for a velocidade do fluido maior é a taxa de transferência de calor por convecção. A perda de calor por convecção ocorre, por exemplo, quando o vento frio entra em contacto com a pele [[Kreider and Rabl, 1994].

- Condução

A transferência de calor por condução é o resultado da transferência de energia cinética a nível molecular em sólidos, líquidos e gases. Há uma forte correlação entre a condução térmica e a condução elétrica em sólidos. Fluxos de calor por condução ocorrem no sentido da diminuição da temperatura. Um exemplo deste tipo de transferência de calor é a perda de calor durante o inverno por todas as paredes opacas do edifício [Kreider and Rabl, 1994]. A condução é menos importante, em termos de determinação do conforto térmico humano quando comparado com os outros mecanismos de transferência de calor.

- Evaporação

A evaporação de um líquido é um processo endotérmico, isto é, as partículas do líquido ao evaporar retiram calor ao restante líquido, logo o líquido que ainda não evaporou arrefece. Este é um importante meio de transferência de calor e deve ser tido em consideração em várias circunstâncias, tais como no arrefecimento do corpo humano, quando ele é submetido a temperaturas acima da temperatura normal do corpo [Kreider and Rabl, 1994].

2.3. Climatização Adiabática

A ventilação adiabática ou evaporativa está cada vez mais presente nas instalações industriais, comerciais e até agrícolas [Revista do frio, 2013].

As tecnologias de climatização adiabática são indicadas para os espaços que insuflam ar limpo, lavado, e, com alto nível de humidade relativa, sendo normalmente aplicadas em estufas, instalações de criação de aves e suínos, escritórios, supermercados, padarias, indústrias têxteis e outras instalações fabris [Revista do frio, 2013].

Nos sistemas de climatização que utilizam o arrefecimento⁶ adiabático, o arrefecimento é efetuado com humedificação de ar sob condições adiabáticas, de modo a que não seja retirada ou adicionada energia térmica. Este processo ocorre quando o ar entra em contacto com a água a temperatura mais baixa, o calor necessário à evaporação é então retirado do ar, o que provoca a diminuição da sua temperatura e o aumento do teor de humidade [Kukushkina, 2011].

É importante cuidar do direcionamento e da distribuição do ar climatizado, outro aspeto vital de um projeto deste tipo, assim como as cargas térmicas e a quantidade de ar, que devem ser avaliadas na fase inicial de projeto [Revista do frio, 2013].

Nos locais onde é instalada a ventilação adiabática, deve ser colocado junto ao sistema um controlador de humidade, pois o nível de humidade tem de ser compatível com o efeito desejado. Nos sistemas que fazem recirculação de água, a manutenção é uma condição imperativa para a salubridade, pois há o risco de contaminação do ar pela água que fica parada, e a humidade excessiva favorece a criação de fungos e microrganismos [Revista do frio, 2013].

O ajuste de temperatura e humidade do ar por climatização adiabática pode ser uma alternativa económica aos sistemas convencionais de ar condicionado, pois é um método

⁶ Forma de climatização que permite controlar a temperatura máxima de um local.

ambientalmente amigável e energeticamente eficiente, que utiliza água como fluido de trabalho [Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009].

Vantagens da climatização adiabática expostas pelos fabricantes:

- Os custos de instalação e operação são uma fração dos custos dos sistemas de ar condicionado convencionais [Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009].
- A necessidade de manutenção é mínima, e não exige mão-de-obra especializada [Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009].
- Não há compressores, condensadores, circuitos de alta pressão ou tubos isolados [Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009].
- Comparado a um ar condicionado equivalente, a economia de energia pode ir até aos 95% [Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009].
- O custo da adequação do ambiente ao sistema de climatização por arrefecimento adiabático é muito baixo porque, ao contrário do que ocorre com sistemas de ar condicionado, o espaço a ser climatizado não necessita de ser fechado nem precisa ser tão bem isolado [Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009].
- É um sistema ecológico, pois este tipo de equipamentos funcionam apenas com água e o consumo de energia é muito baixo [Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009].
- Usa um processo natural de evaporação de água para arrefecer e humidificar o ar fresco de modo a criar um ambiente interior saudável e fresco [Turbovent, 2012].
- São sistemas abertos, ou seja, o ar fresco é insuflado no edifício, melhorando os níveis de oxigénio no ar, criando um ambiente saudável [Turbovent, 2012].
- O ar fresco insuflado no edifício é filtrado através de água para remover quaisquer partículas indesejáveis [Turbovent, 2012].
- Não usa gases refrigerantes nocivos. Estes gases refrigerantes são prejudiciais para o ambiente e para a saúde das pessoas [Turbovent, 2012].

2.3.1. Humidificação

Os equipamentos de humidificação podem ser instalados como parte integrante de uma unidade de tratamento de ar e/ou junto aos pontos de utilização. O ar pode ser humidificado recorrendo a atomizadores mecânicos, humidificadores elétricos ou por ultrassom. Se a humidade é controlada a partir do ar ambiente ou de retorno, é necessário a instalação de

um sensor de humidade na conduta de alimentação. Isto evita a condensação e a formação de microrganismos nas condutas de ar [ASHRAE, 2008].

Os métodos utilizados para humidificar o ar incluem o seguinte:

- Pulverização direta com recirculação de água.

A temperatura da corrente de ar é reduzida, mantendo a temperatura húmida quase constante, num processo adiabático (figura 2.1, caminho de 1 a 3). Dependendo da temperatura a que a água é pulverizada, podem ser obtidos diferentes estados termodinâmicos, por exemplo, pode-se obter ar mais frio mas com um teor de humidade mais baixo (figura 2.1, caminho de 1 a 2) ou mais quente e com um teor de humidade mais elevado (figura 2.1, caminho de 1 a 4). Outro método usado para humidificar o ar consiste em pulverizar ou distribuir água através de um meio poroso. Este método exige um controlo rigoroso das condições de qualidade da água para impedir que contaminantes biológicos possam contaminar a corrente de ar [ASHRAE, 2008].

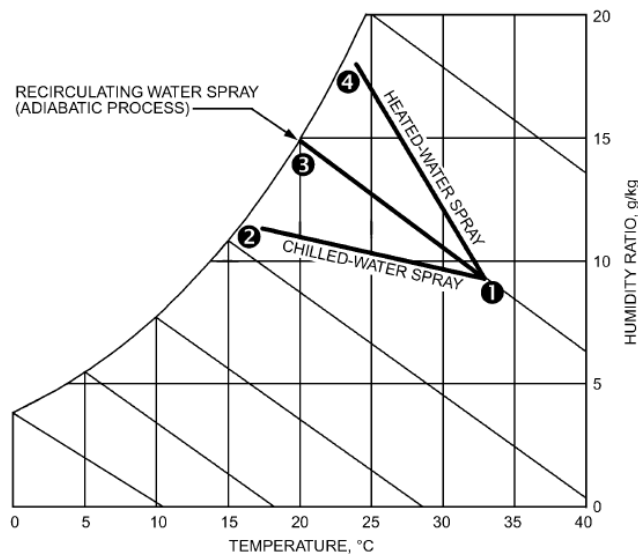


Figura 2.1 - Pulverização direta de água na corrente de ar de arrefecimento [ASHRAE, 2008].

A eficiência da humedificação é expressa pela equação 2.1 [ASHRAE, 2008].

$$\varepsilon_e = 100 \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_s} \quad (2.1)$$

Onde:

ε_e = Eficiência da climatização adiabática, %.

T_1 = Temperatura de entrada do ar, °C.

T_2 = Temperatura de saída do ar, °C.

T_s = Temperatura húmida de entrada do ar, °C.

- Circulação forçada de água através de um orifício, utilizando ar comprimido.

Este método é essencialmente um processo em que a temperatura húmida se mantém constante (processo adiabático). A água deve ser tratada para impedir a entrada de partículas na corrente de ar contaminando equipamentos e produtos. Vários tipos de orifícios estão disponíveis [ASHRAE, 2008].

- Injeção de vapor.

Humidificação com injeção de vapor saturado (figura 2.2, caminho de 1 a 2) é um processo de temperatura constante. Se o vapor injetado for vapor sobreaquecido, este aumenta a temperatura do ar (figura 2.2, caminho 1 a 3). Se o vapor é injetado diretamente na corrente de ar, o produto químico do tratamento da água da caldeira não deve ser tóxico para os ocupantes e não pode danificar o interior do edifício e mobiliário [ASHRAE, 2008].

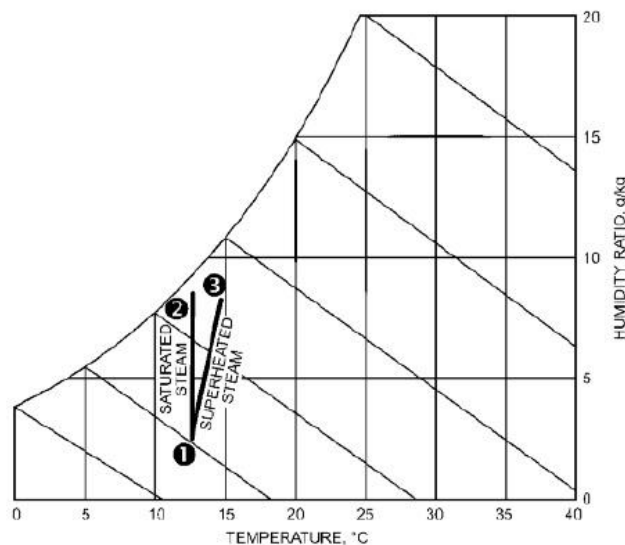


Figura 2.2 - Humidificação com vapor [ASHRAE, 2008].

Apesar da climatização adiabática ser um processo simples e barato, o seu efeito de arrefecimento é insuficiente para o conforto interior, quando a temperatura húmida ambiente é superior a cerca de 21°C. No entanto, o arrefecimento é ainda suficiente para algumas aplicações de refrigeração, por exemplo, estufas, arrefecimento industrial [ASHRAE, 2008].

2.3.2. Sistema de lavadores de ar convencionais

Um sistema em que o princípio fundamental seja a lavagem do ar, compreende um tanque de água (que alimenta o sistema de pulverização e que recolhe a água que não foi

evaporada), uma bomba de água, tubos com aspersores diretamente inseridos no tanque de água e um conjunto de lâminas separadoras de gotas, que tem como finalidade cortar o excesso de água no ar após a humidificação. Os separadores de gotas consistem numa série de placas verticais que estão espaçados de cerca de 20 a 50 mm na saída da câmara de humidificação, estas placas são formadas com numerosas curvas para provocar perturbação na orientação do ar. A bomba é colocada nestes sistemas para recircular a água a um caudal maior do que aquele que realmente evapora para o ar. O contacto entre o jato de água e o ar faz com que ocorra uma transferência de calor e de massa entre estes dois fluidos (figura 2.3). A velocidade do ar, a densidade e pressão da pulverização e outros fatores de projeto devem ser considerados para cada aplicação [ASHRAE, 2008].

Este tipo de equipamento é aplicado principalmente como arrefecedor evaporativo ou humidificador. Geralmente, dois ou mais conjuntos de pulverização são usados, deste modo é possível atingir um elevado grau de saturação [ASHRAE, 2008].

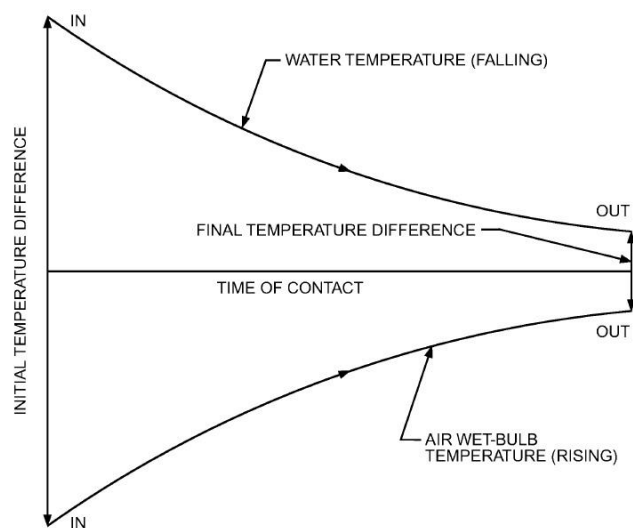


Figura 2.3 - Humidificação do ar [ASHRAE, 2008].

2.4. Necessidades de Arrefecimento

As necessidades nominais de arrefecimento de uma fração autónoma de um edifício representam a energia útil que é necessário retirar para manter permanentemente no seu interior a temperatura de referência durante toda a estação convencional de arrefecimento, isto é, nos meses de junho a setembro, inclusivé, representando um total de 122 dias, quatro meses. Este valor não representa necessariamente o consumo real dessa zona do edifício, podendo mesmo ocorrer diferenças substanciais por excesso ou por defeito entre as condições reais de funcionamento e as admitidas ou convencionadas [RCCTE, 2006].

No entanto, mais do que um método de prever as necessidades energéticas reais de um edifício, o valor das necessidades nominais, calculado para condições de referência, constitui uma forma objetiva de comparar edifícios do ponto de vista do comportamento térmico desde a fase do licenciamento. Quanto maior for o seu valor mais quente é o edifício no Verão ou mais energia é necessário consumir para o arrefecer até atingir uma temperatura confortável [RCCTE, 2006].

O cálculo preciso das necessidades de arrefecimento de um espaço, dada a natureza altamente dinâmica dos fenómenos térmicos em causa, só é possível por meio de uma simulação dinâmica detalhada. Os cálculos efetuados nesta dissertação foram baseados no Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), tabelas no anexo A. Este Regulamento, utiliza uma metodologia simplificada de cálculo, devidamente validada ao nível europeu, que produz resultados com a aproximação suficiente e adequada aos objetivos propostos [RCCTE, 2006].

As necessidades nominais de arrefecimento de um edifício ou fração autónoma (Nv_c) são calculadas pela expressão seguinte:

$$Nv_c = \frac{Qg \times (1 - \eta)}{A_p} \quad (2.2)$$

Os ganhos totais brutos, Qg , são obtidos pela soma das seguintes parcelas [RCCTE, 2006]:

- a) As cargas individuais relativas a cada componente da envolvente, devidas aos fenómenos combinados da diferença de temperatura interior-exterior e da incidência da radiação solar (Q_1);
- b) As cargas devidas à entrada da radiação solar através dos envidraçados (Q_2);
- c) As cargas devidas à renovação do ar (Q_3);
- d) As cargas internas, devido aos ocupantes, aos equipamentos e à iluminação artificial (Q_4).

Todas estas cargas térmicas têm dimensões de W/K .

As cargas térmicas através da envolvente opaca exterior (Q_1) resultam dos efeitos combinados da temperatura do ar exterior e da radiação solar incidente. Estes ganhos são determinados pela soma das perdas associadas às paredes exteriores (Q_p) e pelas associadas às coberturas exteriores (Q_c), como se pode ver na equação 2.3.

$$Q_1 = Q_p + Q_c \quad (2.3)$$

As cargas externas variam consideravelmente por causa de ganho solar, que varia ao longo do dia. A magnitude e a taxa de mudança dessa carga dependem da orientação do edifício, da área de vidro, da capacidade de armazenar calor, e da cobertura de nuvens. Mudanças constantes nos padrões de sombra de edifícios adjacentes, de árvores ou colunas exteriores e saliências não uniformes podem causar variações significativas na carga de energia solar [ASHRAE, 2008].

As equações 2.4 e 2.5 permitem calcular as cargas associadas às perdas térmicas pelas paredes exteriores e às associadas às coberturas exteriores, respetivamente.

$$Q_p = U_{paredes_{exterior}} \times A_{paredes} \quad (2.4)$$

$$Q_c = U_{coberturas_{exterior}} \times A_{coberturas} \quad (2.5)$$

As cargas associadas às perdas térmicas pelos envidraçados exteriores (Q_2) calculam-se da mesma forma que as perdas apresentadas anteriormente, através da equação 2.6.

$$Q_2 = U_{envidraçados} \times A_{envidraçados} \quad (2.6)$$

As cargas térmicas devido à renovação do ar (Q_3) são calculadas a partir da equação 2.7. Na realidade, dado que a temperatura média exterior durante toda a estação de arrefecimento é sempre inferior à temperatura interior de referência, a ventilação é, em média, uma perda.

$$Q_3 = 0,34 \times R_{ph} \times V \quad (2.7)$$

Nesta equação o número de renovações horárias do ar interior (R_{ph}) toma o valor de 11,6 h^{-1} , e foi calculado a partir do caudal debitado pelos ventiladores de insuflação e do volume da instalação. O valor de 0,34 tem dimensões de $W/K.m^3$ é obtido a partir da expressão seguinte:

$$0,34 = \frac{\rho_{ar} \times c_{p_{ar}}}{3600} = \frac{1,2 \times 1020}{3600}$$

No caso dos sistemas em que a ventilação recorre a quaisquer sistemas mecânicos a taxa de renovação horária é calculada com base em \dot{V}_f , o maior dos dois valores de caudal correspondentes ao caudal insuflado ou ao caudal extraído do edifício. Em caso de sistemas de caudal variável, o caudal a considerar é o caudal médio diário [RCCTE, 2006].

O número de renovações horárias do ar interior foi determinado de acordo com a expressão (equação 2.8):

$$R_{ph} = \frac{\dot{V}_f + \dot{V}_x}{V} \quad (2.8)$$

Em que \dot{V}_x é o caudal adicional correspondente a infiltrações devidas ao vento e ao efeito chaminé⁷ [RCCTE, 2006].

A pressurização positiva moderada no edifício com ventilação de ar é normalmente suficiente para compensar a infiltração de verão. No inverno, no entanto, a infiltração pode causar a perda de calor significativa, especialmente em pisos mais baixos dos edifícios de grande altura. A magnitude deste componente varia de acordo com o vento, bem como, com a diferença de temperatura na parede, entre o lado interior e o lado de fora [ASHRAE, 2008].

As cargas específicas totais (\dot{Q}_c) são a soma das perdas associadas às paredes exteriores, às coberturas exteriores, aos envidraçados exteriores e à renovação do ar interior, calculada através da equação 2.9.

$$\dot{Q}_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.9)$$

As perdas térmicas totais (Q_T) obtém-se a partir das perdas específicas totais multiplicando-as pela diferença de temperaturas entre o interior e o exterior do edifício, como se pode ver na equação 2.10.

$$Q_T = \dot{Q}_c \times (\theta_i - \theta_{atm}) \quad (2.10)$$

A temperatura de referência do ar no interior do edifício, θ_i , tem o valor de 26°C e a temperatura média do ar exterior, θ_{atm} , tem o valor 19°C para a zona climática V₁ Norte, anexo A – tabela A.2.

⁷ Fenómeno que consiste na movimentação vertical de uma massa gasosa localizada ou de fluxo de gases devido à diferença de temperatura ou pressão com o meio [CIMM].

Os ganhos solares do edifício (Q_s) ou fração autónoma engloba dois ganhos solares um pela envolvente opaca exterior (Q_{s_1}) e outro pelos envidraçados exteriores (Q_{s_2}) e podem ser calculados a partir da equação 2.11.

$$Q_s = Q_{s_1} + Q_{s_2} \quad (2.11)$$

Os ganhos solares pela envolvente opaca exterior foram calculados a partir da equação 2.12.

$$Q_{s_1} = A_{envolvente} \times U_{envolvente} \times \alpha \times G \times 0,04 \quad (2.12)$$

A constante 0,04 tem dimensões $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$, o coeficiente de absorção solar da superfície exterior, α , é de 0,4 (Anexo A: tabela A.8). A intensidade da radiação solar, G , toma diferentes valores consoante a orientação. O salão em estudo apresenta duas orientações, noroeste e sudeste, sendo assim, G apresenta os valores de 300 e de 430 kWh/m^2 , respetivamente (Anexo A: tabela A.2). Este valor foi calculado para cada incidência da radiação solar.

Os ganhos solares pelos envidraçados exteriores foram calculados através da equação 2.13.

$$Q_{s_2} = A_{envidraçados} \times \delta \times F_w \times G \quad (2.13)$$

O fator solar do vão envidraçado (δ) tem o valor de 0,50 para a orientação de noroeste e de 0,85 para a orientação sudeste. Este fator tem a comparticipação de dois fatores, um com um peso de 30% o outro com o peso de 70%. O fator solar do vidro tem o valor de 0,88 (Anexo A: tabela A.5) e é o fator com menor peso. O fator solar do vão tem o valor de 0,33 para a orientação noroeste e 0,84 para sudeste (Anexo A: tabela A.4) e representa a maior fatia do fator δ .

O fator de correção da seletividade angular (F_w) dos envidraçados é de 0,90 (Anexo A: tabela A.6).

Os ganhos solares foram calculados para cada incidência da radiação solar.

Os ganhos térmicos totais (Q_g) na estação de arrefecimento foram calculados a partir da soma dos ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores com os ganhos solares pela envolvente opaca exterior e os ganhos internos (equação 2.14). Os ganhos internos foram calculados a partir da equação 2.15.

$$Q_g = Q_i + Q_s \quad (2.14)$$

$$Q_i = q_i \times A_p \times 2,928 \quad (2.15)$$

A constante 2,928 resulta da transformação dos 122 dias em horas e da divisão por mil, para conversão de unidades (para obter Q_i em kWh).

As cargas internas devem incluir o ganho de calor das luzes, ocupantes, computadores e outros equipamentos geradores de calor [ASHRAE, 2008].

O valor das necessidades nominais de arrefecimento depende do valor do fator de utilização dos ganhos térmicos (η), fração dos ganhos solares captados e dos ganhos internos que contribuem de forma útil para o aquecimento ambiente durante a estação de aquecimento, por outro lado, este fator depende da inercia térmica do edifício (a) e da relação entre os ganhos totais brutos e as perdas térmicas totais do edifício (γ). Esta relação foi calculada através da equação 2.16:

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_c} \quad (2.16)$$

O valor do fator de utilização dos ganhos térmicos (η) foi calculado da seguinte forma:

$$\begin{cases} \eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} & \text{se } \gamma \neq 1 \\ \eta = \frac{a}{a + 1} & \text{se } \gamma = 1 \end{cases} \quad (2.17)$$

A constante a toma diferentes valores consoante o tipo de inércia do edifício: 1,8 para edifícios com inercia térmica fraca; 2,6 para edifícios com inercia térmica média; 4,2 para edifícios com inercia térmica forte.

As necessidades brutas de arrefecimento (Q_f) determinam-se a partir dos ganhos térmicos totais e do fator de utilização dos ganhos térmicos (equação 2.18).

$$Q_f = (1 - \eta) \times Q_g \quad (2.18)$$

Por outro lado, as necessidades brutas de arrefecimento totais (Q_n) correspondem à soma das necessidades brutas de arrefecimento e do consumo energético dos ventiladores (Q_v) (equação 2.19). O consumo energético dos ventiladores, por sua vez, depende da potência instalada e da duração da estação convencional de arrefecimento (equação 2.20).

$$Q_n = Q_f + Q_v \quad (2.19)$$

$$Q_v = P_v \times 24 \times 0,03 \times M \quad (2.20)$$

A duração média da estação convencional de arrefecimento, M , corresponde a 4 meses (122 dias) e 0,03 corresponde a 30 dias por mês divididos por mil, para conversão de unidades.

3. Caracterização da Instalação em Estudo

Este capítulo é dedicado à caracterização e descrição da instalação em estudo. Apresentam-se os valores das necessidades de arrefecimento e da capacidade de arrefecimento do equipamento já instalado. No final deste capítulo é feita uma análise destes resultados. São ainda apresentados dados de temperatura e humidade interiores recolhidos durante a realização deste trabalho.

3.1. Dados experimentais

Na figura 3.1 encontra-se a planta do salão climatizado (D), onde os retângulos representam equipamento (torcedores e bobinadeiras). Podemos também encontrar na imagem as ligações físicas com outros salões (A), como os corredores. Em cada um dos sectores B e C existem duas centrais de climatização.

Para efeitos de cálculo, considerou-se que os ganhos térmicos eram compensados pelas perdas, logo, considerou-se o salão como estando isolado dos outros salões/espacos contíguos, sendo a única interação com o exterior.

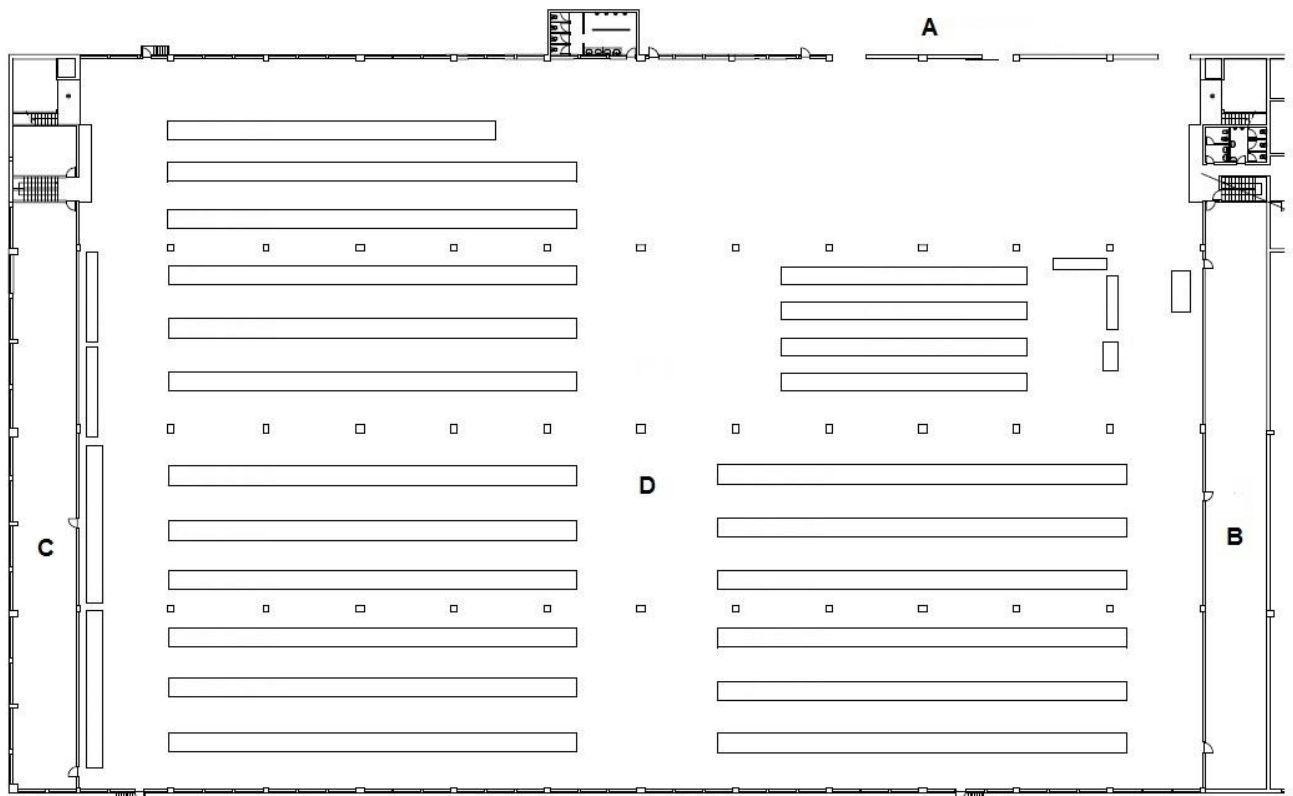


Figura 3.1 - Planta do salão climatizado. A) Ligação ao edifício; B) Centrais de Climatização 1 e 2; C) Centrais de Climatização 3 e 4; D) Espaço climatizado.

Na tabela 3.1 apresentam-se vários dados dimensionais do salão climatizado (D), alguns medidos na própria instalação através de um distanciómetro (comprimento, largura e pé direito) e outros calculados a partir dos dados recolhidos (área e volume).

Tabela 3.1: Dados dimensionais do salão climatizado.

Comprimento (m)	Largura (m)	Pé direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
101,68	64,17	5,916	6524,8	38600,7

- Área de envidraçados

Existem dois tipos de janelas, uma janela maior que tem uma área de 4,81 m² e uma mais pequena com 1,30 m².

Neste salão a área total de envidraçados é 278 m².

- Número de trabalhadores

Neste salão trabalham permanentemente 10 trabalhadores por turno. Três vezes por semana o número de trabalhadores pode atingir 15 pessoas, mas isto pode acontecer apenas em dois turnos. Por dia existem três turnos de oito horas cada um.

- Temperatura e humidade relativa de referência

Para este salão a temperatura de referência é $26 \pm 1^\circ\text{C}$ e a humidade relativa é de $50 \pm 5\%$.

- Equipamentos

Existem 2826 equipamentos, 2696 fusos torcedores e 130 fusos bobinadeiras.

Em relação à iluminação, existem 196 armaduras, cada uma com 2 lâmpadas fluorescentes.

Na tabela 3.2 encontram-se as áreas que posteriormente serão necessárias ao cálculo das necessidades de arrefecimento.

Tabela 3.2 - Áreas necessárias ao cálculo das necessidades de arrefecimento.

Área útil (m²)		6524,8
Área da cobertura (m²)		6524,8
Área dos envidraçados (m²)	Vidros Grandes	274,1
	Vidros Pequenos	3,9
	Noroeste	173,1
	Sudeste	104,9
Área da envolvente opaca (m²)	Noroeste	426,9
	Sudeste	495,1

Estas áreas encontram-se calculadas no anexo B – exemplo de cálculo B.1.

Depois de uma breve descrição dimensional do salão em estudo é imperativo uma descrição do sistema de climatização adotado para a climatização. Este sistema é composto por quatro centrais de climatização, cada uma constituída por:

- Dois ventiladores⁸ (um de extração e um de insuflação);
- Câmara de extração;
- Câmara de entrada de ar;
- Uma bomba de água;
- Um conjunto de persianas controladoras do caudal de ar;
- Um conjunto de laminadoras de ar (orientadoras de ar) e de faixas separadoras de gotas;
- Câmara de humidificação;
- Câmara de insuflação.

Este sistema tem como principal objetivo garantir as condições desejadas de temperatura e humidade dentro do salão em estudo.

O funcionamento das quatro centrais é idêntico, deste modo será explicado o funcionamento apenas de uma.

⁸ Equipamento que permite a renovação do ar interior por extração de ar do espaço (ar de extração) e insuflação de ar exterior ou de ar tratado numa mistura de ar novo vindo do exterior e de ar de retorno utilizando um sistema de condutas e ventiladores como propulsores do ar.

Ventilador de Extração

O ar é extraído do interior do salão por meio de um ventilador. Este faz passar o ar por um filtro de rede, que retira partículas presentes no ar.

Câmara de Extração

Depois de filtrado, o ar é encaminhado para uma câmara onde, consoante as condições exteriores, pode acontecer uma das duas situações:

- O ar pode ser todo rejeitado ou;
- Uma parte do ar pode passar para a próxima câmara (câmara de entrada de ar).

Persianas controladoras de caudal de ar

Existem três sistemas de persianas na instalação que permitem o controlo do ar que circula no sistema. O primeiro sistema encontra-se na câmara de extração, este controla o ar quente que é rejeitado para a atmosfera proveniente do salão climatizado.

O segundo sistema encontra-se entre a câmara de extração e a câmara de entrada de ar fresco. Neste ponto as persianas têm a finalidade de controlar o caudal de ar quente que retorna ao circuito.

Por fim, existe um último sistema de persianas na câmara de entrada de ar fresco que controla o caudal de ar fresco ou frio que é inserido no sistema.

A conjugação destes três sistemas permite uma otimização da temperatura a que o ar chega à câmara de humedificação onde será arrefecido e humedificado. O ângulo de abertura das persianas varia de 0° a 90°, sendo o primeiro quando estão totalmente abertas e o segundo quando estão totalmente fechadas.

Câmara de Entrada de Ar

Na câmara de receção de ar fresco, o ar é obrigado a passar por umas faixas laminadoras de ar, que direcionam o ar de modo a que este quando entre na câmara de humedificação esteja com um escoamento turbulento.

Câmara de Humidificação

De seguida o ar proveniente da câmara de entrada de ar é humedificado por auxílio de pulverização de água. Esta pulverização é feita através de uma bomba de água que faz circular a água através de uns bicos pulverizadores. Esta água circula em circuito fechado, existindo um filtro, para tratar a água antes de ser bombeada, e uma boia de controlo de nível, que repõe a água usada para humedificar o ar. Nesta etapa a água tem três funções, arrefecer, humedificar e lavar o ar, retirando assim quaisquer partículas suspensas.

Faixas separadoras de gotas

Depois de sujeito à humidificação, o ar passa por umas faixas separadoras de gotas, para retirar o excesso de água, que possa ter sido arrastado pelo ar.

Ventilador de Insuflação

O ar depois de sujeito ao arrefecimento e humidificação é então insuflado para dentro do salão, alimentando-o assim com ar fresco.

Acoplado a este sistema de tratamento de ar, existe um sistema de controlo de temperatura e humidade, de modo a manter a temperatura e a humidade, dentro do salão em estudo, iguais ao seu *set point*. O sistema de controlo é efetuado por dois controladores PID (Proporcional Integral Derivativo). Para se atingir o objetivo desta climatização, o sistema de controlo pode variar quatro parâmetros: a velocidade de rotação dos ventiladores (extração e insuflação), a quantidade de água vaporizada, a quantidade de ar fresco que vem do exterior e, por último, a quantidade de ar de retorno que volta à sala misturado com ar fresco.

Na figura 3.2, está representado um diagrama processual simplificado das etapas onde envolvem o ar e a água.



Figura 3.2 - Esquema processual do percurso do ar e da água dentro de cada central.

Como foi identificado anteriormente, cada ventilador e cada bomba de água tem um motor associado. As características dos motores existentes nas centrais, encontram-se listadas na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Características dos motores existentes nas centrais de climatização.

Função	Quantidade	Marca	Potência útil [kW]	Intensidade [A]	cos ϕ	Voltagem [V]	rpm	Frequência (Hz)
Vent. Insuflação	4	ABB	37	72	0,81	400	980	50
Vent. Extração	4	ABB	30	59	0,82	400	980	50
Bombagem	3	AEG	18,5	36	0,91	380	1465	50
Bombagem	1	Grundfos	30	57,5	0,91	400	2950	50

Durante a realização deste trabalho foram analisados vários parâmetros que refletem o comportamento térmico da instalação em estudo. Dois desses parâmetros são a temperatura e a humidade. O objetivo inicial era fazer uma otimização do funcionamento das centrais, isto é, tentar encontrar um ponto ótimo de funcionamento de modo a que as centrais trabalhassem a uma frequência adequada às necessidades. Logo, um dos primeiros estudos a ser feito foi o registo das temperaturas e humidades interiores do salão de torcedura. Neste registo seguiu-se uma metodologia que permitisse obter dados o mais próximo da realidade. Dado que o salão era um espaço bastante grande, dividiu-se em quatro partes iguais, cada uma destas influenciada pela ação de cada uma das centrais. Em cada parte mediu-se a temperatura e a humidade em cinco pontos distintos, estas medidas foram efetuadas desde fevereiro a abril e de agosto a setembro.

As figuras 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6 apresentam a variação da temperatura e da humidade relativa no interior do salão. A figura 3.7 apresenta a variação da temperatura e da humidade no exterior do salão. Estas figuras têm como origem as tabelas de dados recolhidos apresentadas no anexo C. As tabelas originais de recolha dos dados são extensas, e por isso apenas são apresentadas no anexo C as que contêm a média dos valores recolhidos em cada divisão.

Esta central não possui bomba de água, logo a humidade adicionada é proveniente do ar ambiente. Das quatro partes iguais em que foi dividido o salão, esta secção é a que apresenta menores cargas térmicas devido ao número reduzido de equipamento.

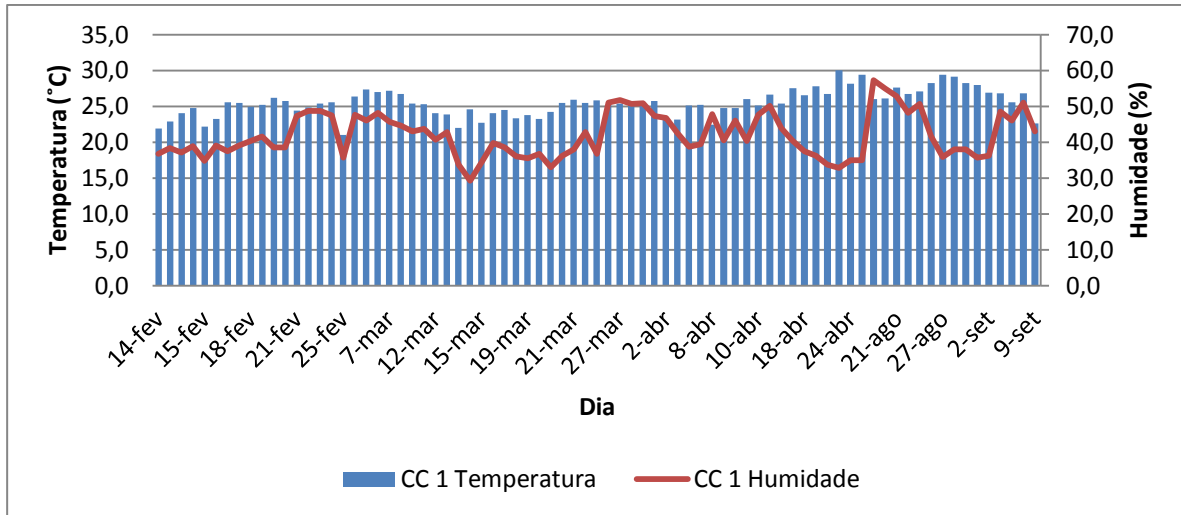


Figura 3.3 - Variação da temperatura e da humidade, na zona climatizada pela central 1.

Analisando a figura 3.3 verifica-se que no espaço influenciado pela central de climatização 1, a temperatura variou entre 21 e 30°C e a humidade variou entre 29 e 57%.

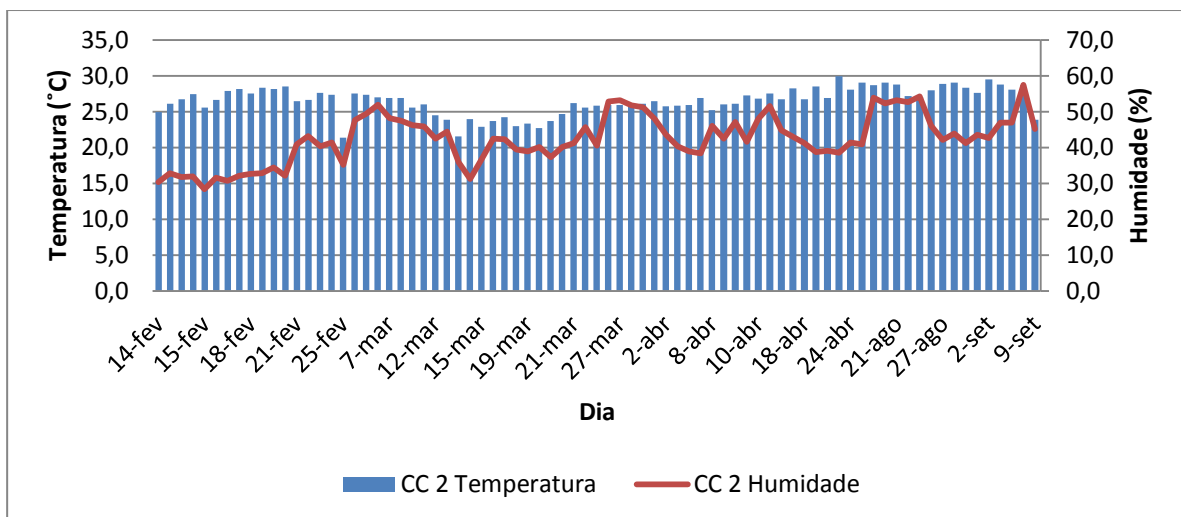


Figura 3.4 - Variação da temperatura e da humidade, na zona climatizada pela central 2.

Pela figura 3.4 verifica-se que no espaço influenciado pela central de climatização 2 a temperatura variou entre 21 e 30°C e a humidade variou entre 28 e 58%.

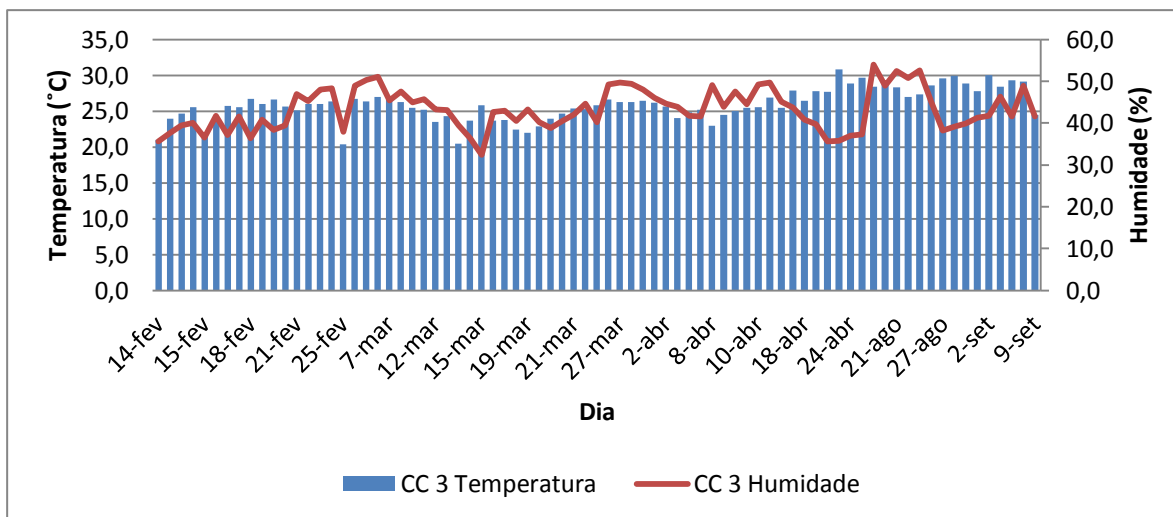


Figura 3.5 - Variação da temperatura e da humidade, na zona climatizada pela central 3.

Na figura 3.5 pode-se verificar que no espaço influenciado pela central de climatização 3 a temperatura variou entre 20 e 31°C e a humidade variou entre 32 e 54%.

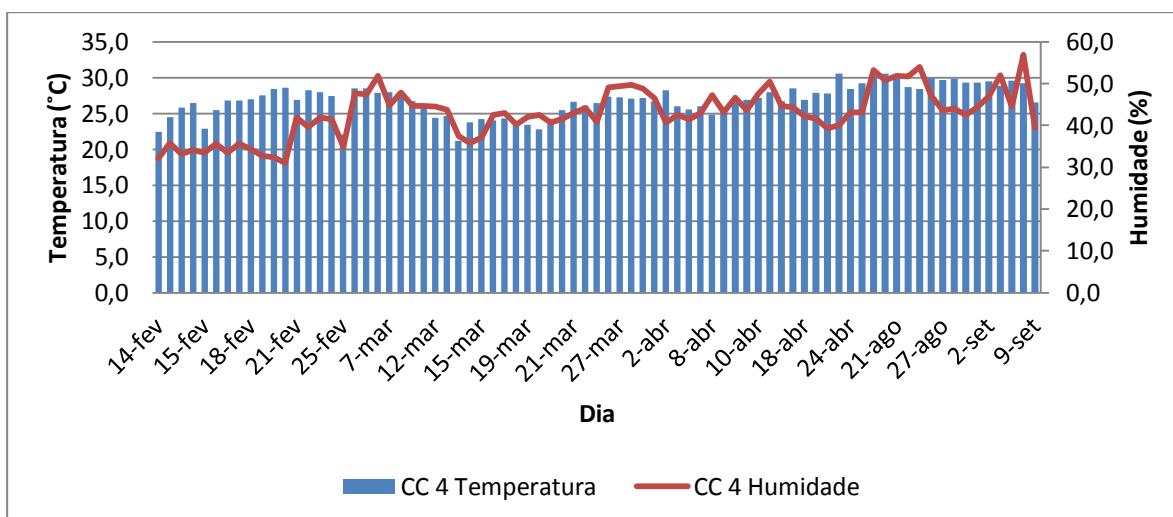


Figura 3.6 - Variação da temperatura e da humidade, na zona climatizada pela central 4.

Quanto ao espaço influenciado pela central de climatização 4, a figura 3.6 mostra que a temperatura variou entre 21 e 31°C e a humidade variou entre 31 e 57%. Apesar de esta central não ser aquela que apresenta o valor mais alto de teor de humidade no ar, é aquela em que o teor de humidade é menos oscilante, pois apresenta uma bomba mais eficiente do que as presentes nas centrais 2 e 3.

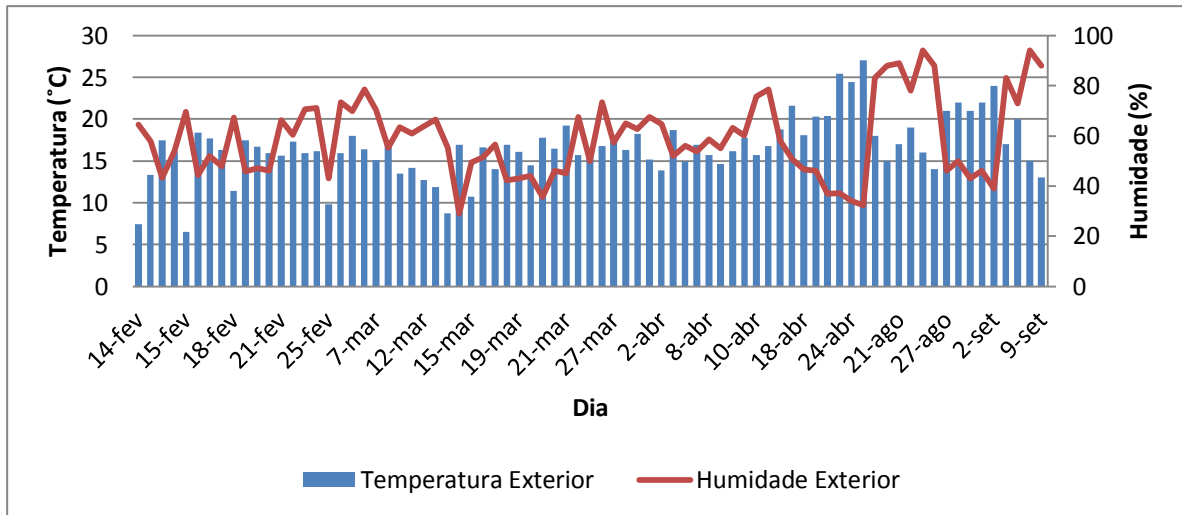


Figura 3.7 - Variação da temperatura e da humidade exterior.

Pela análise da figura 3.7 verificou-se uma variação da temperatura entre 7 e 27°C e a humidade variou entre 29 e 94%.

Depois de analisadas as variações da temperatura e da humidade interior, conclui-se que o *set point* de 26 °C poucas vezes foi conseguido, na maior parte do tempo a temperatura interior foi superior ao desejado. Tendo estes dados em consideração foram estudadas algumas oportunidades de melhoria que poderão ajudar a manter a temperatura desejada no interior do salão em estudo. Essas oportunidades serão apresentadas no capítulo 4.

Outro objetivo deste trabalho foi a determinação da eficiência da humedificação de cada central. Esta eficiência foi calculada para alguns dias do mês de março e para alguns dias do mês de setembro. Na figura 3.8 pode-se observar essa variação.

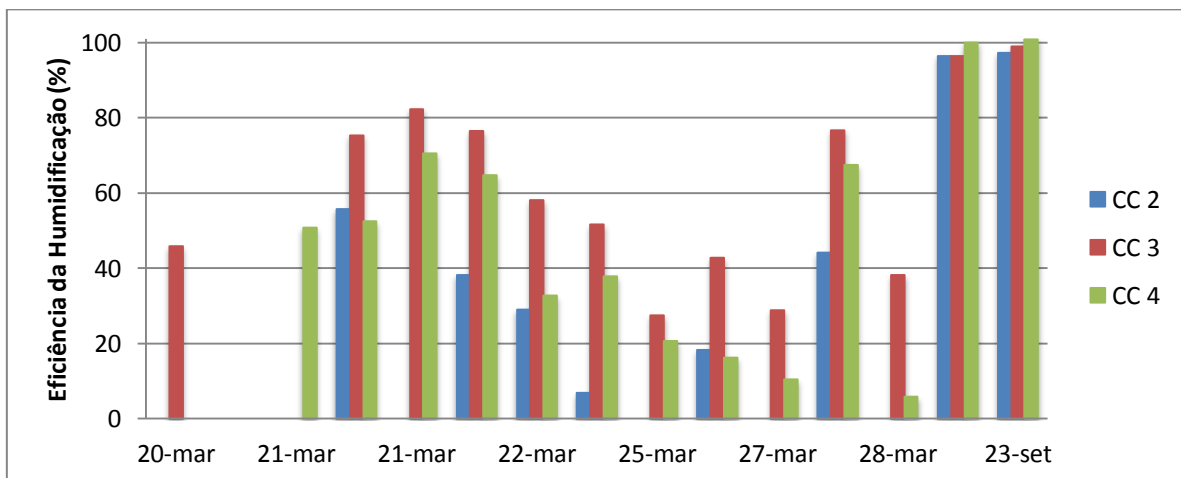


Figura 3.8 - Variação da eficiência da humedificação de março e setembro.

Nesta figura não se apresenta a eficiência de humidificação da CC 1, pois esta não tem bomba de água.

Na época do ano mais quente é quando as centrais conseguem obter uma eficiência de humidificação mais elevada, porque quanto mais elevada é a temperatura do ar à entrada maior é a sua capacidade de arrefecer e de receber água provocando a evaporação da mesma.

As centrais de climatização 3 e 4 são as que apresentam melhores eficiências de humidificação. Um resumo dos dados recolhidos para a elaboração desta distribuição encontra-se no anexo D.

3.2. Comportamento térmico do edifício

Este subcapítulo tem como objetivo o cálculo das necessidades de arrefecimento e a comparação dessas mesmas necessidades com a capacidade de arrefecimento das centrais.

Como foi visto anteriormente, pela análise das variações da temperatura e da humidade no interior do salão de torcedura, a temperatura desejada ($26^{\circ}\text{C} \pm 1$) praticamente não é respeitada durante a maior parte da duração da recolha dos dados. Deste modo foi proposto o cálculo das necessidades de arrefecimento. Estas necessidades foram calculadas através do Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), como foi dito previamente.

Os cálculos efetuados através do RCCTE são cálculos aproximados porque este documento destina-se ao cálculo das necessidades de arrefecimento para edifícios habitacionais e as equações foram modeladas nesse sentido. No entanto, para uma primeira análise este documento pode ser utilizado.

3.2.1. Cálculo das Necessidades de Arrefecimento

De seguida apresentam-se os cálculos efetuados com o objetivo de obter as necessidades nominais de arrefecimento. Estes cálculos foram baseados no RCCTE. Para este efeito considerou-se o salão como um espaço isolado dos espaços contíguos e com um volume de 38598 m^3 . Este espaço apenas perde energia térmica sob a forma de calor para o exterior através das paredes, envidraçados e cobertura. Não foram consideradas as perdas pelo pavimento, pois este não se encontra assente diretamente na terra, mas sim sobre um salão.

Numa primeira fase calcularam-se as perdas existentes no salão. Os coeficientes globais de transferência de calor utilizados foram obtidos a partir de dados do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) [LNEC, 2006]. Os valores calculados podem ser vistos no anexo B.

Na tabela 3.4 encontram-se as perdas associadas à cobertura. O coeficiente global de transferência de calor utilizado encontra-se no anexo A – tabela A.9.

Tabela 3.4 - Perdas associadas às coberturas exteriores.

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	UA (W/°C)
Cobertura	6524,4	1,4	9134,1

Na tabela 3.5 encontram-se as perdas associadas aos envidraçados. O coeficiente global de transferência de calor não foi obtido diretamente, foi necessário efetuar um cálculo auxiliar para a determinação do mesmo. A tabela utilizada da publicação ITE 50 do LNEC encontra-se no anexo A, tabela A.11. Este cálculo encontra-se detalhada no anexo B, exemplo de cálculo B.2.

Tabela 3.5 - Perdas associadas aos envidraçados exteriores.

Envidraçados Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	UA (W/°C)
Verticais:			
Vidros Grandes	274,1	4,62	1266,3
Vidros Pequenos	3,9	4,62	18,0
		TOTAL	1284,4

Na tabela 3.6 apresenta-se o cálculo das perdas térmicas específicas totais. As perdas associadas às paredes exteriores estão detalhadas no anexo B – B.4. As perdas associadas às coberturas exteriores foram calculadas na tabela 3.4 e as associadas aos envidraçados exteriores na tabela 3.5. Em relação às perdas associadas à renovação de ar, estas foram calculadas a partir da equação 2.7 (anexo B – B.5). O número de renovações horárias necessário ao cálculo das perdas associadas à renovação de ar encontra-se calculado no anexo B – B.3.

Tabela 3.6 - Perdas térmicas para o exterior e pela renovação do ar.

Perdas térmicas		
Perdas associadas às paredes exteriores (UA)	2021,3	(W/°C)
	+	
Perdas associadas às coberturas exteriores	9134,1	(W/°C)
	+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores	1284,4	(W/°C)
	+	
Perdas associadas à renovação de ar	152230,6	(W/°C)
	=	
Perdas específicas totais	164670,3	(W/°C)

Com recurso ao quadro III.1 do RCCTE, verificou-se que Vila Nova de Famalicão, onde se encontra a instalação em estudo, tem como zona climática de Inverno a zona I₂ e como zona climática de Verão é a zona V₁. Deste modo determinou-se que a temperatura média do ar exterior nesta zona é de 19 °C (anexo A: tabela A.2).

Tabela 3.7 - Perdas térmicas totais.

Temperatura interior de referência	26	(°C)
	-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento	19	(°C)
	=	
Diferença de temperatura interior-exterior	7	(°C)
	×	
Perdas específicas totais	164670,3	(W/°C)
	×	
	2,928	
	=	
Perdas Térmicas Totais	3375083	(kWh)

De seguida apresentam-se os ganhos solares pela envolvente opaca (tabela 3.8) e pelos envidraçados exteriores (tabela 3.9). Cada um destes ganhos está dividido em duas orientações solares – Noroeste e Sudeste. As áreas utilizadas neste cálculo encontram-se na tabela 3.2, o seu cálculo pode ser consultado no anexo B – B.1.

Tabela 3.8 - Ganhos solares pela envolvente opaca.

Ganhos solares pela envolvente opaca			
	Noroeste	Sudeste	
Área (m ²)	426,9	495,1	
	x	x	
U (W/m ² °C)	1,2	1,2	
	x	x	
Coeficiente de absorção	0,40	0,40	
	=	=	
$\alpha \cdot U \cdot A$	204,9	237,6	(W/°C)
	x	x	
Intensidade de radiação solar (kWh/m ²)	300	430	
	x	x	
	0,04	0,04	
	=	=	TOTAL
Ganhos Solares pela envolvente opaca exterior	2458,9	4087,5	6546,5 (kWh)

Da mesma forma que o cálculo das áreas da envolvente opaca está exposto no anexo B – B.1, o cálculo das áreas dos envidraçados de noroeste e sudeste também se encontra exposto no anexo B – B.1.

Tabela 3.9 - Ganhos solares pelos vãos envidraçados.

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores			
	Noroeste	Sudeste	
Área (m ²)	173,1	104,9	
	x	x	
Fator solar do vão envidraçado	0,495	0,852	
	x	x	
Fator da Seletividade do vidro (F _w)	0,9	0,9	
	=	=	
Área efetiva, A ₀	77,1	80,4	(m ²)
	x	x	
Intensidade de radiação solar (kWh/m ²)	300	430	
	=	=	TOTAL
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	23134,8	34588,0	57722,9 (kWh)

Para o cálculo dos ganhos internos (tabela 3.10) considerou-se que o salão em estudo seria equiparado a edifícios com pouca carga de ocupação (anexo A: tabela A.3) do qual resultou um ganho térmico interno medio por unidade de área útil de pavimento de 2 W/m^2 .

Tabela 3.10 - Ganhos internos.

Ganhos Internos		
Ganhos internos médios (W/m^2)	2,00	
	×	
Área útil de pavimento (m^2)	6524,8	
	×	
	2,928	
	=	
Ganhos internos totais	38209,3	(kWh)

Na tabela 3.11 são calculados os ganhos térmicos totais através da equação 2.14. Os dados apresentados têm origem nas tabelas 3.8, 3.9 e 3.10.

Tabela 3.11 - Ganhos térmicos totais.

Ganhos totais na estação de arrefecimento		
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	6546,5	(kWh)
	+	
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	57722,9	(kWh)
	+	
Ganhos internos	38209,3	(kWh)
	=	
Ganhos térmicos totais	102478,6	(kWh)

O valor das necessidades nominais de arrefecimento depende da inercia do edifício, por isso é necessário determiná-la para posteriormente definir o fator de utilização dos ganhos solares. Esse cálculo está indicado na tabela 3.12.

Para o cálculo do fator de utilização dos ganhos solares foi necessário pré-definir o tipo de inércia do edifício, ver tabela 3.12. Como não havia informação sobre o tipo de inércia foi considerado como sendo um edifício de inércia média.

Tabela 3.12 - Inércia do edifício.

Valor das necessidades nominais de arrefecimento		
Ganhos térmicos totais	102478,6	(kWh)
	/	
Perdas térmicas totais	3375083,3	(kWh)
	=	
Y	0,03	
Inércia do edifício	Média	

Sendo assim, após o cálculo de todos os valores necessários à determinação das necessidades nominais de arrefecimento, tem-se que a instalação em estudo apresenta uma necessidade de arrefecimento de 79 kWh/(m².ano), como pode ser analisado na tabela 3.13.

Tabela 3.13 - Necessidades nominais de arrefecimento.

		1	
		-	
Fator de utilização dos ganhos solares, η		1,00E+00	
		=	
		1,0983E-04	
		×	
Ganhos térmicos totais		102478,6	(kWh)
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento		11,3	(kWh/ano)
		+	
Consumo dos ventiladores		512640	
		=	
	TOTAL	512651,3	(kWh/ano)
		/	
Área útil do pavimento		6524,35	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc		78,6	(kWh/m ² /ano)
		≤	
Necessidades nominais de arref. Máximas - Nv		16	(kWh/m ² /ano)

As necessidades nominais máximas de arrefecimento de referência, N_v , referem-se a edifícios habitacionais e sem climatização. Logo, para um edifício não necessitar de climatização as suas necessidades de arrefecimento não podem ser superiores a 16 kWh/(m².ano), ver anexo A – tabela A.1. Como se pode ver pela tabela 3.13, o salão em estudo apresenta um valor muito superior e como já era esperado necessita de um sistema de climatização. Nesse sentido vai ser realizado um estudo da capacidade de arrefecimento da instalação já existente.

3.2.2. Cálculo da capacidade de arrefecimento do sistema instalado

Com vista a determinar a capacidade de arrefecimento da instalação existente calculou-se essa capacidade em dias em que a temperatura exterior fosse elevada. Como este cálculo só faz sentido na estação quente, escolheu-se dias em que a temperatura exterior fosse cerca de 30 °C. Calculou-se essa capacidade para dois dias não consecutivos, 13 e 23 de setembro.

Os cálculos que de seguida se apresentam (tabela 3.14), apenas se referem a três das quatro centrais, pois uma não tem bomba de água e por isso não efetua o arrefecimento adiabático.

Os dados recolhidos foram a temperatura e humidade do ar exterior e a temperatura e humidade do ar arrefecido e humidificado. Posteriormente foi necessário recorrer a uma carta de humidades para determinar a humidade específica.

A variação da entalpia entre o estado termodinâmico inicial e o final é um parâmetro necessário ao cálculo da capacidade de arrefecimento. Neste sentido, calculou-se a entalpia específica à entrada e à saída através da equação 3.1. Para a determinação do calor latente de vaporização da água foram consultadas tabelas de propriedades termodinâmicas do vapor de água saturado [Smith, 2004].

O calor específico do ar é 1 kJ/(kg.°C) e o da água é 4,18 kJ/(kg.°C), para uma temperatura média de 30 °C.

$$H = cp_{ar} \times T + Ye(cp_{\acute{a}gua} \times T + \lambda) \quad (3.1)$$

Na tabela 3.14 apresentam-se as capacidades de arrefecimento de cada central de climatização. Mais uma vez não é referida a capacidade de arrefecimento da CC 1 pois esta não possui bomba de água. Os valores apresentados encontram-se no anexo C – C.2, C.3 e C.4.

Tabela 3.14 - Capacidade de arrefecimento de cada central de climatização.

Centrais de Climatização	Capacidade de arrefecimento (kWh/m ² .ano)	
CC 2	-56	-62
CC 3	-54	-64
CC 4	-59	-62

Os valores negativos das capacidades de arrefecimento significam o arrefecimento efetuado pelas centrais.

Perante estes resultados pode-se concluir que a instalação presente não consegue atingir as necessidades de arrefecimento necessárias para manter a temperatura e a humidade pretendidas.

A capacidade máxima de arrefecimento obtida foi de 64 kWh/(m².ano). Este valor é inferior ao valor necessário (79 kWh/m²/ano) pelo que o sistema instalado não consegue satisfazer as condições de temperatura e humidade desejadas.

Contudo, como foi dito anteriormente, o valor calculado das necessidades nominais de arrefecimento pode sofrer alterações devido ao fato de se basear numa modelação para edifícios habitacionais.

4. Otimização Energética da Instalação

Neste capítulo são apresentados os consumos de água e de energia elétrica durante o ano de 2012 resultantes do funcionamento das centrais de climatização. Também são apresentadas algumas oportunidades de melhoria do sistema de climatização existente, tal como um estudo económico de uma melhoria possível.

Na figura 4.1 é representada a distribuição do consumo de água pelas centrais de climatização durante o ano de 2012. A água que é consumida é utilizada para a humedificação do ar, e é pulverizada diretamente no ar quente, que vai arrefecer e humedificar com a evaporação da água. Os dados dos consumos de água e energia elétrica do ano de 2012 podem ser encontrados no anexo E.

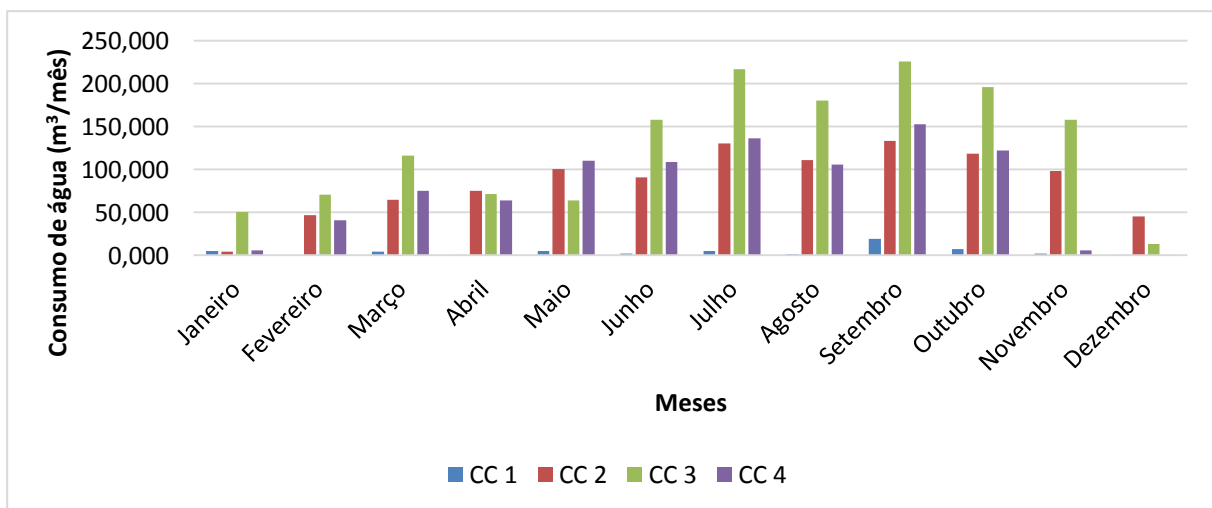


Figura 4.1 - Consumo de água distribuído pelos meses do ano, durante o ano de 2012.

Como se pode ver o consumo de água é mais acentuado nos meses mais quentes devido à maior evaporação da água pulverizada. Este aumento deve-se ao fato de o ar estar a uma temperatura mais alta e como tal consegue conter maiores teores de vapor de água na sua composição.

Nos meses em que a temperatura exterior é mais baixa e o teor de humidade é grande, o consumo de água é mais baixo e praticamente constante.

Na figura 4.2 encontra-se o consumo de energia elétrica das centrais de climatização distribuído pelos vários meses do ano.

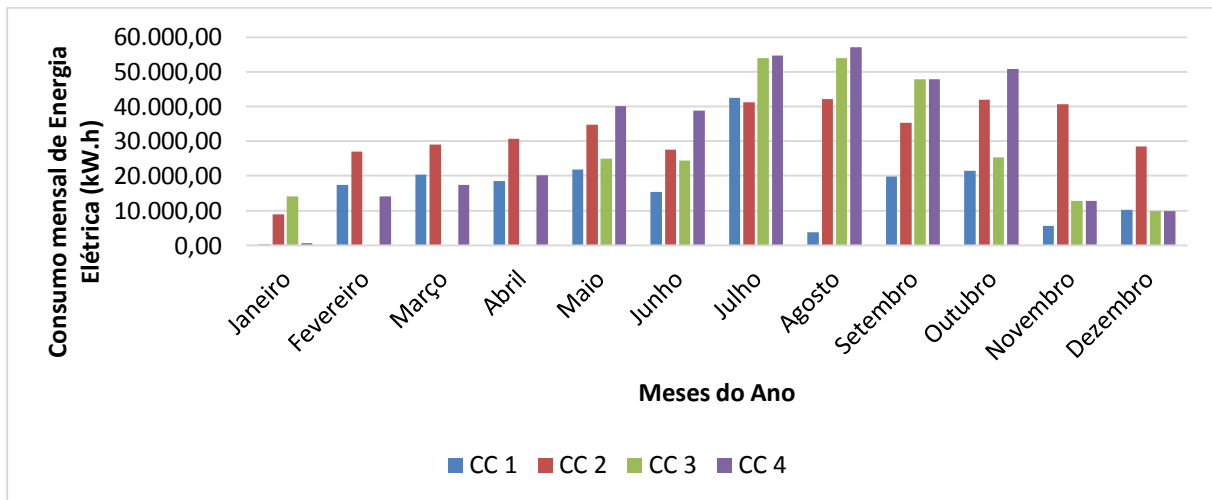


Figura 4.2 - Consumo de energia elétrica distribuído pelos meses do ano, durante o ano de 2012.

Analogamente à figura 4.1, a distribuição apresentada na figura 4.2 apresenta o seu maior consumo de energia elétrica nos meses mais quentes. Este fato deve-se ao aumento da frequência de trabalho dos ventiladores de extração e insuflação. Com o aumento da temperatura exterior existe uma necessidade de aumentar a taxa de renovação do ar interior para que a temperatura interior não aumente muito ao ponto de os equipamentos se desligarem por razões de segurança.

Alguns equipamentos presentes no salão de torcedura contêm sensores de temperatura que automaticamente desligam os equipamentos se a temperatura interior atingir um determinado valor. Neste sentido é imperativo impedir que este tipo de situações aconteça, por isso nos meses mais quentes todas as centrais de climatização trabalham no máximo das suas capacidades, provocando um grande consumo de energia elétrica.

4.1. Propostas de melhoria

Após a análise energética efetuada às centrais de climatização sugerem-se como propostas de melhoria do sistema atual de climatização:

- A. Modificação das grelhas de insuflação e de extração do ar;
- B. Substituição das bombas antigas por bombas iguais à existente na central 4;
- C. Isolamento de todas as condutas de ar;
- D. Substituição do sistema de humidificação.

De seguida são apresentadas de forma pormenorizada cada uma destas propostas.

A. Modificação das grelhas de insuflação e de extração do ar

Uma das principais melhorias a realizar é a redistribuição das grelhas de insuflação e de extração. De acordo com as informações recolhidas a distribuição das grelhas foi projetada para um *layout* diferente dos equipamentos existentes. Por isso seria necessário fazer um estudo mais aprofundado, que possibilite encontrar qual a melhor disposição das grelhas de insuflação e de extração, para obter uma melhor distribuição do ar fresco no salão climatizado.

É possível controlar o padrão de escoamento do ar com o objetivo de se obter uma boa mistura do ar e a uma temperatura adequada e de forma equalizada no espaço, mas para este fenómeno ser possível as saídas de ar necessitam de estar adequadamente dimensionadas e localizadas.

Existem acessórios usados nas saídas de ar que permitem regular o caudal de ar de entrada e controlar o seu padrão de escoamento. Por exemplo, numa saída de ar, o ar não pode ser distribuído adequada e uniformemente, a menos que o seu percurso até à saída seja uniforme e linear. Os acessórios podem ser também necessários para a distribuição de ar no espaço, de modo que devem ser selecionados e utilizados de acordo com as recomendações dos fabricantes.

As saídas de ar devem ser dimensionadas para escoar o ar de modo que a sua velocidade e temperatura alcancem níveis aceitáveis antes de entrar na zona ocupada.

B. Substituição das bombas antigas por bombas iguais à existente na central 4

Apesar de esta solução não trazer quaisquer vantagens quantificáveis em termos monetários, vai trazer uma melhoria significativa na qualidade de ar insuflado e também um maior arrefecimento durante os meses mais quentes.

Como se pode ver na figura 3.8 o sistema de humificação instalado na central 4, provoca boas eficiências de humificação no tempo mais quente e que traria algumas vantagens no tratamento e arrefecimento do ar.

C. Isolamento de todas as condutas de ar

É importante que todas as condutas que transportam ar, quer seja frio ou quente, estejam devidamente isoladas para evitar ganhos ou perdas térmicas.

No caso das condutas que transportam o ar fresco para o salão da torcedura o isolamento é necessário para que o ar insuflado seja o mais idêntico possível ao que foi tratado nas centrais de climatização.

No caso das condutas que transportam o ar extraído do salão, o seu isolamento é da mesma forma importante que o das condutas de ar fresco, pois podem ceder calor ao ar interior do salão que se encontra a uma temperatura inferior.

D. Substituição do sistema de humificação

Por último, é apresentada uma proposta da substituição do sistema de humificação presente por um sistema de alta eficiência. Esta substituição compreende duas partes, a primeira compreende a implementação de quatro unidades “TexFog” com casulo em aço inoxidável e estação com bomba de alta pressão. As bombas que seriam instaladas possuem um motor de 3,0 kW de potência, o que seria uma grande diminuição em relação às existentes (18,5 e 30 kW). O folheto informativo do sistema de humificação “TexFog” encontra-se no anexo F.

A segunda parte seria a instalação de um sistema automático de controlo novo LUWA DigiControl5 (anexo G) ou um sistema Siemens S7.

A apresentação desta proposta encontra-se no anexo H.

Não tendo dados suficientes para fazer o estudo económico das três primeiras propostas, seguidamente é feito um estudo económico da proposta D.

4.2. Estudo económico da substituição do sistema de humidificação

Neste subcapítulo é apresentado um estudo económico da proposta da substituição do sistema de humidificação.

Na tabela 4.1 foi feita uma comparação do consumo de água pelas centrais com a mudança do sistema de bombagem. O consumo de água é superior no novo sistema, pois este pulveriza água diretamente da rede, não necessita de um tanque para recolha da água que não foi evaporada, como é o caso do sistema instalado.

Os cálculos do custo do consumo de água e de energia elétrica tiveram como base 0,64 €/m³ e 0,18 €/kWh. Foi também considerado que um ano teria 8760 horas, isto é 365 dias em que labora 24 horas por dia.

Tabela 4.1 - Comparação entre a situação atual e a situação futura em relação ao consumo de água pelas centrais.

CC	Situação atual			Situação futura		
	Caudal (m ³ /h)	Consumo anual (m ³)	Custo (€/ano)	Caudal (m ³ /h)	Consumo anual (m ³)	Custo (€/ano)
CC 1	-	-	-	0,88	7685,7	4919
CC 2	0,11	963,6	592	0,88	7685,7	4919
CC 3	0,03	262,8	179	0,88	7685,7	4919
CC 4	0,11	963,6	615	0,88	7685,7	4919

Na tabela 4.2 pode-se analisar duas situações diferentes em relação ao consumo de energia elétrica. Na situação atual tem-se três bombas instaladas, duas com um motor de potência 18,5 kW e outra com 30 kW. O novo sistema contém motores com potências mais baixas, 3 kW. No caso da central de climatização 4, o consumo futuro é dez vezes mais baixo.

Tabela 4.2 - Comparação entre a situação atual e a situação futura em relação ao consumo de energia elétrica pelas centrais.

CC	Situação atual			Situação futura		
	Potência do motor da bomba (kW)	Consumo anual (kWh)	Custo (€/ano)	Potência do motor da bomba (kW)	Consumo anual (kWh)	Custo (€/ano)
CC 1	-	-	-	3	26280	4730
CC 2	18,5	162060	29171	3	26280	4730
CC 3	18,5	162060	29171	3	26280	4730
CC 4	30,0	262800	47304	3	26280	4730

De acordo com a proposta entregue pela empresa LUWA (anexo G) podem ser efetuados três investimentos distintos. De seguida é apresentado um resumo dos três investimentos.

Investimento 1

Este investimento consiste na aquisição de 4 unidades “TexFog” com casulo em aço inoxidável e estação com bomba de alta pressão da Luwa.

O investimento inicial é de 156000 €.

Investimento 2

Este investimento consiste na aquisição de 4 unidades “TexFog” com casulo em aço inoxidável e estação com bomba de alta pressão da Luwa e a aquisição de um sistema automático de controlo da Siemens S7.

O investimento inicial é de 163500 €.

Investimento 3

Este investimento consiste na aquisição de 4 unidades “TexFog” com casulo em aço inoxidável e estação com bomba de alta pressão da Luwa e a aquisição de um sistema automático de controlo DigiControl5, de novos sensores, motores nos registos e conversores de frequência.

O investimento inicial é de 304000 €.

Na tabela 4.3 encontram-se os períodos de retorno dos três investimentos apresentados.

Tabela 4.3 - Período de retorno dos investimentos.

Investimento (€)		Aumento de custos com o consumo de água (€)	Diminuição de custos com o consumo de energia elétrica (€)	Período de retorno do investimento (anos)
Investimento 1	156000	13370,60	91454	1,9
Investimento 2	163500	13370,60	91454	1,9
Investimento 3	304000	13370,60	91454	3,5

Estes períodos de retorno foram calculados considerando o pior cenário possível, isto é, todos os motores presentes em cada central estão a trabalhar na frequência máxima. É possível que com o novo sistema o fator de utilização dos motores possa ser reduzido, diminuindo o período de retorno do investimento.

Como conclusão deste estudo económico, o investimento mais vantajoso seria a instalação das 4 unidades “TexFog” com casulo em aço inoxidável e estação com bomba de alta pressão da Luwa, podendo o sistema automático de controlo atual ser posto em funcionamento. Caso não seja possível, o investimento 2 seria o mais vantajoso.

5. Conclusão e proposta de trabalhos futuros

Esta dissertação teve como objetivo o estudo de uma central de climatização adiabática, que tem como finalidade controlar a temperatura e humidade de um salão com equipamentos de torcedura e de bobinagem, pertencente à Continental - ITA.

No decorrer deste trabalho verificou-se que a temperatura e a humidade interior não estavam dentro dos valores ótimos desejados, $26 \pm 1^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$, e verificou-se igualmente que as condições ambientais afetavam de forma significativa os valores de temperatura e de humidade do salão em estudo.

Depois do levantamento e análise dos dados recolhidos de temperatura e humidade interior, calcularam-se as necessidades nominais de arrefecimento do salão em estudo (torcedura) e fez-se uma comparação com a capacidade de arrefecimento das centrais de climatização. Nesta comparação chegou-se à conclusão que as centrais de climatização não conseguiam alcançar o valor de $79 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$, que tinha sido previamente calculado a partir do RCCTE. O valor máximo registado para a capacidade de arrefecimento foi de $64 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$.

Com o objetivo de estudar a humedificação de cada central calculou-se a eficiência da humedificação de cada uma obtendo-se um eficiência variável nos meses de março e setembro. Como seria de esperar o valor máximo (100%) foi obtido no mês mais quente (setembro).

Com vista a melhorar o consumo de energia das centrais, foram apontadas algumas soluções que irão ao encontro do objetivo. O investimento mais vantajoso seria a instalação das 4 unidades "TexFog" com casulo em aço inoxidável e estação com bomba de alta pressão da Luwa, podendo o sistema automático de controlo atual ser posto em funcionamento. Caso não seja possível, o investimento 2 que incluiu a instalação das 4 unidades "TexFog" com casulo em aço inoxidável e estação com bomba de alta pressão da Luwa e a aquisição do sistema de controlo Siemens S7 seria o mais vantajoso.

As outras propostas apresentadas foram o isolamento de todas as condutas de ar, a alteração da disposição das grelhas de insuflação e de extração e a substituição das bombas existentes por bombas mais eficientes, do tipo que está instalado na central de climatização quatro. Em termos de ordem de aplicação destas medidas, as primeiras e serem aplicadas sem qualquer aquisição de equipamento seria o isolamento das condutas e

a mudança da disposição das grelhas de extração e insuflação. Posteriormente à aplicação destas medidas fazer nova análise do comportamento térmico da instalação e proceder à substituição de algum equipamento se necessário.

Como propostas de trabalhos futuros seria interessante determinar a quantidade de calor que se perde nas condutas de ar pelo fato de não estarem isoladas, estudar uma nova distribuição das grelhas de extração e de insuflação e analisar o impacto que esta alteração teria na homogeneização da temperatura e humidade no interior do salão em estudo.

Referências Bibliográficas

ASHRAE, 1997. *Fundamentals: 1997 ASHRAE Handbook.* ASHRAE

ASHRAE, 2008. *HVAC System & Equipment: 2008 ASHRAE Handbook.* ASHRAE.

CIMM. Centro de informação Metal Mecânica

<http://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/181-efeito-chamin> (acedido em 28 de Fevereiro de 2013)

COFELY – GDF SUEZ. “01.Empresa”. <http://www.cofely-gdfsuez.pt/> (acedido em 28 de Fevereiro de 2013)

Elzaidabi, A., 2008. *Low Energy, Wind Catcher Assisted Indirect – Evaporative Cooling System for Building Applications.* PhD Thesis em filosofia. Universidade de Nottingham. Inglaterra.

Emilam, 2013. *Manufacturing Process, Impregnation.* Dubai.

www.emilam.net/manufacture.html (acedido em 28 de Fevereiro de 2013)

FIEC – Sinditêxtil, 2002. *O Fiar e o Tecer, 120 anos da Indústria Têxtil no Ceará.* Fortaleza – Ceará.

Gomes, J., 2010. *Sistemas de Climatização Industrial com Saturação Adiabática.* Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia do Porto.

Hemaks, 2013. Hemaks Machinery CO. Turquia.

www.hemaks.com.tr/english/home.html (acedido em 28 de Fevereiro de 2013)

Indústria Têxtil do Ave, 2010. *Manual de acolhimento.* Lousado.

KREIDER, J. F., RABL, A., 1994. *Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency.* McGraw-HILL, New York, 890pp.

Kukushkina, G., 2011. *Indirect Adiabatic Cooling*. Tese de Bacharelato em Engenharia de Edifícios de Serviços. Mikkeli University of Applied Sciences. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009. Apostila de Refrigeração. Bahia.

Leite, J., 2013. Indústria Têxtil do Ave, S.A.

<http://restosdecoleccion.blogspot.pt/2013/02/industria-textil-do-ave-sa.html> (acedido em 28 de Fevereiro de 2013)

LNEC, 2006. ITE 50 – Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos Edifícios.

RCCTE, 2006. *Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*.

Revista do frio, 2013. Climatização evaporativa cresce e evolui no Brasil.

<http://www.revistadofrio.com.br/materia.asp?ID=62> (acedido em 28 de Fevereiro de 2013)

SCE, 2006. *Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade de Ar Interior (SCE)*.

Smith, J.M.;Hendrick, V. N.; Abbott, M.; 2004. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. Mcgraw-Hill, New York.

Turbovent, 2012. *Turbo Vent: Evaporative Coolers*.

http://www.turbovent.co.za/docs/evaporative%20coolers_lowres.pdf (acedido em 28 de Fevereiro de 2013)

Anexos

Anexo A – Tabelas para cálculo das necessidades de arrefecimento.

Neste anexo encontram-se as tabelas utilizadas no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento. Algumas têm como fonte o RCCTE e outras a publicação ITE 50 do LNEC.

Tabela A.1 – Valores limites das necessidades nominais de arrefecimento, fonte RCCTE.

Zona V₁ (norte), $N_v=16 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$;
 Zona V₁ (sul), $N_v=22 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$;
 Zona V₂ (norte), $N_v=18 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$;
 Zona V₂ (sul), $N_v=32 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$;
 Zona V₃ (norte), $N_v=26 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$;
 Zona V₃ (sul), $N_v=32 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$;

Tabela A.2 – Valores médios do ar exterior e da intensidade da radiação solar para a estação convencional de arrefecimento (junho a setembro), fonte RCCTE – quadro III.9.

Zona	θ_{atm}	N.	NE.	E.	SE.	S.	SW.	W.	NW.	Horiz.
V ₁ N.	19	200	300	420	430	380	430	420	300	730
V ₁ S.	21	200	310	420	430	380	440	430	320	760
V ₂ N.	19	200	320	450	470	420	470	450	320	790
V ₂ S.	23	200	340	470	460	380	460	470	340	820
V ₃ N.	22	200	320	450	460	400	460	450	320	800
V ₃ S.	23	210	330	460	460	400	470	460	330	820
Açores	21	190	270	360	370	340	370	360	270	640
Madeira	21	200	300	380	380	320	370	380	300	700

Tabela A.3 – Ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento, fonte RCCTE – quadro IV.3.

Tipo de edifício	$q_i(\text{W/m}^2)$
Residencial	4
Serviços dos tipos: escritórios, comércio, restauração, consultórios, serviços de saúde com internamento, etc.	7
Hotéis	4
Outros edifícios com pequena carga de ocupação ...	2

Tabela A.4 – Valores dos fatores de orientação, fonte RCCTE – quadro IV.4.

	Octante N.	Octantes NE. e NW.	Octantes E. e W.	Octantes SE. e SW.	Octante S.	Horizontal
X	0,27	0,33	0,56	0,84	1	0,89

Tabela A.5 – Fator solar de alguns tipos de vidro, fonte RCCTE – tabela IV.4.1.

Tipo	Factor solar
Vidro simples:	
Incolor:	
4 mm	0,88
5 mm	0,87

Tabela A.6 – Valores do fator de correção da seletividade angular dos envidraçados – Situação de Verão, fonte RCCTE – quadro V.3.

	N.	NE./NW.	E./W.	SE./SW.	S.
Vidro simples	0,85	0,90	0,90	0,90	0,80
Vidro duplo	0,80	0,85	0,85	0,85	0,75

Tabela A.7 – Valores do fator solar de vãos com proteção solar ativada a 100% e vidro incolor corrente, fonte RCCTE – quadro V.4.

Tipo de proteção	Vidro simples — Cor da proteção			Vidro duplo — Cor da proteção		
	Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores:						
Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
Persiana:						
Réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
Réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
Estore veneziano:						
Lâminas de madeira	—	0,11	—	—	0,08	—
Lâminas metálicas	—	0,14	—	—	0,09	—
Estore:						
Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
Proteções interiores:						
Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
Cortinas:						
Opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
Ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
Transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
Muito transparentes	0,70	—	—	0,63	—	—
Portadas de madeira (opacas)	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
Persianas de madeira	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
Proteção entre dois vidros — estore veneziano, lâminas delgadas				0,28	0,34	0,40

Tabela A.8 – Cor da superfície exterior da proteção solar, fonte RCCTE – quadro V.5.

Cor da protecção	Clara	Média	Escura
Coefficiente de absorção solar da superfície exterior da protecção Cor	0,4 Branco. Creme. Amarelo. Laranja. Vermelho-claro.	0,5 Vermelho-escuro. Verde-claro. Azul-claro.	0,8 Castanho. Verde-escuro. Azul-vivo. Azul-escuro. Preto.

Tabela A.9 – Coeficiente de transmissão térmica de coberturas horizontais (em terraço) sem isolamento térmico, fonte publicação ITE 50 de 2006 do LNEC.

Protecção da impermeabilização	Estrutura resistente							Chapa metálica nervurada
	Laje maciça	Laje aligeirada						
		blocos cerâmicos	blocos de betão normal		blocos de betão leve			
	Espessura da laje [m]							
	0,10 0,20	0,13 0,15	0,33 0,35	0,13 0,15	0,33 0,35	0,13 0,15	0,33 0,35	
leve (autoprottegida)	1,6	1,4	1,1	1,5	1,2	1,4	1,1	7,1
pesada	1,4	1,3	1,0	1,4	1,1	1,3	1,1	—

Tabela A.10 - Coeficiente de transmissão térmica de paredes duplas de fachada sem isolamento térmico, fonte publicação ITE 50 de 2006 do LNEC.

Constituição dos panos		Espessura dos panos [m]	U [W/(m ² . °C)]
Tijolo furado	Tijolo furado	0,11 + 0,11	1,1
		0,11 + 0,15	0,96
		0,15 + 0,15	0,86
Tijolo maciço	Tijolo maciço	0,11 + 0,11	1,3
		0,15 + 0,11	1,1
Blocos de betão normal	Blocos de betão normal	0,11 + 0,11	1,4
		0,11 + 0,15	1,3
		0,15 + 0,15	1,3
Blocos de betão leve	Blocos de betão leve	0,11 + 0,11	1,1
		0,11 + 0,15	1,0
		0,15 + 0,15	0,99
Alvenaria de pedra	Tijolo furado	(0,40 a 0,60) + 0,11	1,2
		(0,40 a 0,60) + 0,15	1,1
	Tijolo maciço	(0,40 a 0,60) + 0,11	1,5
			Blocos de betão normal
Blocos de betão leve	(0,40 a 0,60) + 0,15	1,3	
		(0,40 a 0,60) + 0,11	1,2
Blocos de betão leve	(0,40 a 0,60) + 0,15	1,2	
		1,2	
Parede de betão	Tijolo furado	(0,10 a 0,20) + 0,11	1,4
		(0,10 a 0,20) + 0,15	1,2
	Tijolo maciço	(0,10 a 0,20) + 0,11	1,7
			Blocos de betão normal
Blocos de betão leve	(0,10 a 0,20) + 0,15	1,5	
		(0,10 a 0,20) + 0,11	1,4
(0,10 a 0,20) + 0,15	1,3		

Tabela A.11 - Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais de caixilharia metálica, fonte publicação ITE 50 de 2006 do LNEC.

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m ² . °C)]	$U_{wdn}^{(2)}$ [W/(m ² . °C)]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa						
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa	—	6,0	4,9	4,5	3,8
		giratória	—	6,2	5,0	4,6	3,9
		de correr	—	6,5	5,2	4,8	4,1
	2 (vidro duplo)	fixa	6	3,9	3,4	3,2	2,8
			16	3,5	3,1	2,9	2,6
			16 low e ⁽³⁾	3,1	2,8	2,6	2,3
		giratória	6	4,3	3,7	3,4	3,0
			16	3,8	3,3	3,1	2,7
			16 low e ⁽³⁾	3,6	3,2	3,0	2,6
de correr	6	4,5	3,9	3,6	3,1		
	16 low e ⁽³⁾	4,0	3,5	3,3	2,9		
Duplo ⁽⁴⁾ (2 janelas)	1 (vidro simples em cada janela)	fixa, giratória ou de correr	50 a 100 mm	3,1	2,8	2,6	2,3
			(distância entre janelas)				

Anexo B – Exemplos de cálculo.

Nesta secção são apresentados os exemplos de cálculo dos vários valores apresentados.

B.1 – Cálculo das áreas utilizadas nas necessidades nominais de arrefecimento.

- Área útil

Comprimento do salão = 101,7 m

Largura do salão = 64,2 m

$$A_{\text{útil}} = 101,7 \times 64,2 = 6529,1 \text{ m}^2$$

- Área da cobertura

A área da cobertura é igual à área útil.

- Área envidraçados

$$A_{\text{vidros grandes}} = 2,458 \times 1,956 = 4,81 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{vidros pequenos}} = 2,458 \times 0,531 = 1,30 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{envidraçados}_{\text{Sudeste}}} = (15 + 6) \times 4,81 + (3 \times 1,30) = 104,7 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{envidraçados}_{\text{Noroeste}}} = (18 + 18) \times 4,81 = 173,1 \text{ m}^2$$

- Área da envolvente opaca

$$A_{\text{envolvente}_{\text{Sudeste}}} = (101,7 \times 5,9) - [(15 + 6) \times 4,81 + (3 \times 1,30)] = 495,1 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{envolvente}_{\text{Noroeste}}} = (101,7 \times 5,9) - (18 + 18) \times 4,81 = 426,9 \text{ m}^2$$

B.2 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, fonte ITE 50, LENC.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{U_w} - 0,04}$$

De acordo com a publicação ITE 50 do LNEC, o coeficiente de transmissão térmica para uma janela simples fixa é de 3,9 W/m².°C. logo atualizando este valor de acordo com a equação apresentada acima, fica:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{3,9} - 0,04} = 4,6 \text{ W/(m}^2\text{°C)}$$

B.3 – Cálculo do número de renovações horárias do ar interior, R_{ph} .

De acordo com a equação 2.8 o número de renovações horárias do ar interior é igual a:

$$R_{ph} = \frac{\dot{V}_f + \dot{V}_x}{V} = \frac{4 \times 111665}{38598,0} = 11,6 \text{ h}^{-1}$$

B.4 – Cálculo das perdas associadas às paredes exteriores.

A partir da equação 2.4 podemos calcular as perdas associadas às paredes exteriores.

$$Q_p = U_{paredes\text{exterior}\text{es}} \times A_{paredes} = 1,2 \times [(101,7 \times 5,9 \times 2) - 278] = 1106,5 \text{ W/°C}$$

B.5 – Cálculo das perdas associadas à renovação do ar.

As perdas associadas à renovação do ar são calculadas através da equação 2.7.

$$Q_3 = 0,34 \times R_{ph} \times V = 0,34 \times 11,6 \times 38598,0 = 152230,5 \text{ W/°C}$$

Os exemplos de cálculo da humidade específica, da humidade específica e da capacidade de arrefecimento têm como referência o dia 13 de setembro para a central 2 nas condições de entrada.

$$T = 31,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Y_r = 35,1 \text{ \%}$$

B.6 – Cálculo da entalpia específica.

A humidade específica foi calculada a partir da equação 3.2

$$c_{p_{ar}} = 1 \text{ kJ/(kg}^{\circ}\text{C)}$$

$$c_{p_{\acute{a}gua}} = 4,18 \text{ kJ/(kg}^{\circ}\text{C)}$$

$$\lambda = 2428,3 \text{ kJ/kg}$$

$$H = c_{p_{ar}} \times T + Y_e(c_{p_{\acute{a}gua}} \times T + \lambda) = 1 \times 31,2 + \frac{6,2}{1000}(4,18 \times 31,2 + 2428,3) = 56,8 \text{ kJ/kg}$$

B.7 – Cálculo da capacidade de arrefecimento

$$C = \frac{\Delta H \times 1,2 \times 111665 \times 2,928 \times 1000}{3600 \times 6524,3}$$

$$\rho_{ar} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{Q} = 111665 \text{ m}^3/\text{h}$$

Da mesma forma que a humidade específica das condições de entrada, a humidade específica nas condições de saída também foi calculada a partir da equação 3.2. Nas condições de saída a humidade específica foi igual a 53,5 kJ/kg.

$$C = \frac{(53,5 - 56,8) \times 1,2 \times 111665 \times 2,928 \times 1000}{3600 \times 6524,3} = -54 \text{ kWh/(m}^2\text{ano)}$$

Anexo C - Dados recolhidos de temperatura e humidade.

Neste anexo encontra-se a tabela que deu origem às figuras 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7. Como já foi dito esta tabela já é uma tabela com dados tratados, os valores são médias dos dados originais.

Tabela C.1 – Dados experimentais recolhidos.

Dia	CC 1		CC 2		CC 3		CC 4		Ambiente	
	T (°C)	Yr (%)	T (°C)	Yr (%)	T (°C)	Yr (%)	T (°C)	Yr (%)	T (°C)	Yr (%)
14-Fev	21,9	36,7	24,9	30,2	21,0	35,6	22,4	32,1	7,4	64,5
14-Fev	22,9	38,3	26,1	32,8	24,0	37,6	24,4	35,8	13,3	57,9
14-Fev	24,0	37,0	26,7	31,8	24,7	39,5	25,8	33,2	17,5	43,3
14-Fev	24,7	38,9	27,5	31,8	25,5	40,1	26,5	34,1	16,2	53,7
15-Fev	22,1	34,8	25,6	28,4	21,9	36,6	22,9	33,4	6,5	69,5
15-Fev	23,2	39,0	26,7	31,6	23,6	41,7	25,5	35,6	18,4	44,4
15-Fev	25,5	37,4	27,8	30,6	25,8	37,1	26,8	33,5	17,7	52,0
15-Fev	25,5	39,0	28,1	32,0	25,6	41,5	26,8	35,7	16,3	47,9
18-Fev	24,9	40,3	27,6	32,6	26,7	36,5	27,0	34,4	11,4	67,2
18-Fev	25,2	41,6	28,3	32,9	26,0	40,8	27,6	32,7	17,5	45,8
18-Fev	26,2	38,5	28,1	34,4	26,6	38,4	28,4	32,4	16,7	47,2
18-Fev	25,8	38,6	28,5	32,1	25,7	39,4	28,6	31,0	15,9	46,2
21-Fev	24,4	47,3	26,4	40,8	25,1	47,0	26,9	41,9	15,6	66,3
21-Fev	24,9	48,7	26,7	43,2	26,0	45,3	28,2	39,6	17,3	60,5
21-Fev	25,4	48,7	27,6	40,3	26,0	48,0	27,9	41,9	15,9	70,7
21-Fev	25,5	47,5	27,3	41,3	26,3	48,4	27,4	41,5	16,2	71,2
25-Fev	21,0	35,7	21,4	35,2	20,3	37,8	22,1	34,9	9,8	43,1
6-Mar	26,3	47,6	27,5	47,6	26,7	48,9	28,5	47,7	15,9	73,3
6-Mar	27,3	46,0	27,3	49,4	26,4	50,3	28,5	47,5	18,0	69,9
7-Mar	27,0	48,1	27,0	51,9	27,0	51,1	27,9	51,9	16,4	78,6
7-Mar	27,1	45,6	26,9	48,1	26,8	45,5	28,0	44,8	15,1	70,4
8-Mar	26,7	44,6	26,9	47,5	26,3	47,6	27,5	47,9	17,4	55,2
11-Mar	25,4	43,0	25,6	46,2	25,5	45,0	26,7	44,7	13,5	63,4
11-Mar	25,3	43,6	26,0	45,8	25,2	45,7	26,2	44,7	14,2	61,0
12-Mar	24,1	40,7	24,5	42,5	23,5	43,3	24,4	44,5	12,7	63,6
12-Mar	23,8	42,7	23,8	44,5	24,3	43,1	24,7	43,8	11,9	66,6
13-Mar	21,9	33,8	21,5	35,8	20,5	39,4	21,2	37,5	8,7	55,3
13-Mar	24,5	29,1	23,9	31,2	23,7	36,3	23,8	35,8	16,9	29,1
15-Mar	22,7	34,4	22,9	36,8	25,8	32,3	24,2	37,1	10,7	49,4
18-Mar	24,1	39,8	23,6	42,5	23,7	42,7	24,0	42,5	16,6	51,4
18-Mar	24,5	38,5	24,2	42,2	23,8	43,0	24,3	42,9	14,0	56,6
19-Mar	23,3	36,0	23,0	39,4	22,4	40,5	23,6	40,3	16,9	42,2
19-Mar	23,8	35,5	23,3	38,9	22,0	43,2	23,4	42,1	16,1	43,0
20-Mar	23,2	36,7	22,7	40,1	22,9	40,1	22,8	42,5	14,5	44,0

Dia	CC 1		CC 2		CC 3		CC 4		Ambiente	
	T (°C)	Yr (%)	T (°C)	Yr (%)	T (°C)	Yr (%)	T (°C)	Yr (%)	T (°C)	Yr (%)
20-Mar	24,2	33,0	23,7	37,3	23,9	38,8	24,0	40,6	17,8	35,6
21-Mar	25,5	36,1	24,7	40,0	24,6	40,6	25,4	41,5	16,5	46,2
21-Mar	25,9	37,9	26,1	41,1	25,4	42,0	26,6	43,0	19,2	45,0
22-Mar	25,4	42,8	25,6	45,6	25,3	44,6	26,1	44,3	15,7	67,5
22-Mar	25,9	36,7	25,8	40,5	25,8	40,2	26,5	40,8	15,8	50,0
25-Mar	25,2	51,0	25,9	52,7	26,6	49,3	27,4	49,1	16,8	73,3
27-Mar	25,4	51,7	25,9	53,1	26,3	49,8	27,3	49,4	17,4	57,2
27-Mar	25,4	50,7	26,2	51,8	26,3	49,4	27,1	49,7	16,3	65,1
28-Mar	25,3	50,8	26,1	51,2	26,4	48,1	27,1	48,7	18,2	62,7
28-Mar	25,7	47,2	26,5	47,9	26,2	46,0	26,7	46,5	15,2	67,5
2-Abr	23,1	46,7	25,7	43,5	25,7	44,7	28,2	40,6	13,9	64,6
2-Abr	23,1	42,4	25,8	40,3	24,0	43,9	26,0	42,5	18,7	52,0
4-Abr	25,1	38,8	25,9	38,9	24,8	41,8	25,5	41,5	14,9	56,1
4-Abr	25,2	39,5	26,9	38,4	25,2	41,7	26,0	42,9	16,9	53,8
8-Abr	22,5	47,7	25,2	45,9	23,0	49,1	24,9	47,3	15,7	58,7
8-Abr	24,8	40,5	26,0	42,5	24,5	43,9	25,8	43,1	14,6	55,1
9-Abr	24,8	46,0	26,1	47,0	25,0	47,5	26,5	46,6	16,2	63,3
9-Abr	26,0	40,4	27,2	41,6	25,4	44,5	26,9	43,6	17,8	60,1
10-Abr	25,1	47,7	26,8	47,9	25,5	49,2	27,2	47,6	15,7	75,8
10-Abr	26,7	50,1	27,5	51,6	26,9	49,7	28,0	50,4	16,8	78,5
17-Abr	25,4	44,0	26,7	44,8	25,5	45,2	26,7	44,7	18,8	58,1
17-Abr	27,5	40,3	28,2	43,0	27,9	43,8	28,5	44,4	21,6	50,6
18-Abr	26,5	37,4	26,7	41,2	26,5	40,9	26,9	42,3	18,1	46,7
18-Abr	27,8	36,2	28,5	38,6	27,8	39,8	27,9	41,7	20,3	46,2
23-Abr	26,7	33,8	26,9	39,0	27,7	35,6	27,8	39,4	20,4	36,9
23-Abr	30,0	32,7	30,0	38,5	30,8	35,8	30,5	40,1	25,4	37,2
24-Abr	28,2	34,9	28,0	41,3	28,8	37,0	28,4	43,1	24,4	34,1
24-Abr	29,4	35,0	29,0	40,8	29,6	37,3	29,2	43,1	27,0	32,3
19-Ago	26,0	57,2	28,7	53,8	28,4	54,0	30,2	53,2	18,0	83,0
20-Ago	26,1	55,0	29,0	52,3	28,9	49,0	30,6	50,8	15,0	88,0
21-Ago	27,6	52,8	28,8	53,1	28,3	52,4	29,9	51,9	17,0	89,0
22-Ago	26,7	48,2	27,2	52,7	27,0	50,8	28,7	51,7	19,0	78,0
23-Ago	27,1	50,7	27,0	54,3	27,3	52,6	28,4	54,0	16,0	94,0
26-Ago	28,2	41,6	28,0	46,1	28,6	45,1	29,9	47,1	14,0	88,0
27-Ago	29,4	35,9	28,9	42,1	29,6	38,2	29,7	43,6	21,0	46,0
28-Ago	29,1	38,0	29,0	43,9	29,9	39,1	29,8	44,1	22,0	50,0
29-Ago	28,2	37,9	28,3	41,2	28,9	39,9	29,3	42,5	21,0	43,0
30-Ago	28,0	35,6	27,6	43,6	27,8	41,3	29,3	44,3	22,0	46,0
2-Set	26,9	36,2	29,5	42,6	30,0	41,7	29,5	47,0	24,0	39,0
3-Set	26,8	48,5	28,8	47,0	28,4	46,3	28,9	52,0	17,0	83,0
4-Set	25,6	46,1	28,1	46,9	29,3	41,6	29,6	44,5	20,0	73,0
6-Set	26,8	51,0	27,8	57,5	29,1	49,0	29,2	56,9	15,0	94,0
9-Set	22,6	42,9	23,9	45,1	24,5	41,6	26,5	39,5	13,0	88,0

Tabela C.2 – Capacidade de arrefecimento da central de climatização 2.

Data		13-set	23-set
Hora		15:30	14:30
Exterior (condições de entrada)	T (°C)	31,2	30,2
	WB (°C)	19,8	19,4
	Yr (%)	35,1	36,7
	Ye (g/kg)	10,0	9,8
	λ (kJ/kg)	2428,3	2430,7
	ρ (kg/m ³)	1,153	1,157
	H (kJ/kg)	56,8	55,5
Condições de saída CC 2	T (°C)	20,2	19,7
	Yr (%)	87,9	87,4
	Ye (g/kg)	13,0	12,6
	λ (kJ/kg)	2454,3	2454,3
	ρ (kg/m ³)	1,2	1,2
	H (kJ/kg)	53,4	51,7
Variação da entalpia	ΔH (kJ/kg)	-4,5E+05	-5,0E+05
Capacidade de arrefecimento	C (kWh/m ² /ano)	-56	-62

Tabela C.3 – Capacidade de arrefecimento da central de climatização 3.

Data		13-set	23-set
Hora		15:30	14:30
Exterior (condições de entrada)	T (°C)	31,2	30,2
	WB (°C)	19,8	19,4
	Yr (%)	35,1	36,7
	Ye (g/kg)	10,0	9,8
	λ (kJ/kg)	2428,3	2430,7
	ρ (kg/m ³)	1,153	1,157
	H (kJ/kg)	56,8	55,5
Condições de saída CC 3	T (°C)	20,2	19,5
	Yr (%)	88,1	88,7
	Ye (g/kg)	13,1	12,6
	λ (kJ/kg)	2454,3	2454,3
	ρ (kg/m ³)	1,2	1,2
	H (kJ/kg)	53,5	51,6
Variação da entalpia	ΔH (kJ/kg)	-4,3E+05	-5,1E+05
Capacidade de arrefecimento	C (kWh/m ² /ano)	-54	-64

Tabela C.4 – Capacidade de arrefecimento da central de climatização 4.

Data		13-set	23-set
Hora		15:30	14:30
Exterior (condições de entrada)	T (°C)	31,2	30,2
	WB (°C)	19,8	19,4
	Yr (%)	35,1	36,7
	Ye (g/kg)	10,0	9,8
	λ (kJ/kg)	2428,3	2430,7
	ρ (kg/m ³)	1,153	1,157
	H (kJ/kg)	56,8	55,5
Condições de saída CC 4	T (°C)	19,8	19,3
	Yr (%)	90,7	90,8
	Ye (g/kg)	13,1	12,7
	λ (kJ/kg)	2454,3	2456,7
	ρ (kg/m ³)	1,2	1,2
	H (kJ/kg)	53,2	51,7
Varição da entalpia	ΔH (kJ/kg)	-4,7E+05	-5,0E+05
Capacidade de arrefecimento	C (kWh/m ² /ano)	-59	-62

Anexo D - Rendimentos de humidificação

Neste anexo são apresentados os rendimentos de humidificação calculados para cada central de climatização. Estes dados deram origem à figura 3.8.

Tabela D.1 – Dados e cálculo do rendimento de humidificação de cada central de climatização.

Data	Hora	Exterior (condições de entrada)			Centrais						Eficiência Humidificação (%)			
					CC 2		CC 3		CC 4					
		T (°C)	WB (°C)	Yr (%)	T (°C)	Yr (%)	T (°C)	Yr (%)	T (°C)	Yr (%)	CC 1	CC 2	CC 3	CC 4
20-Mar	-	15,3	9,2	44,3	15,8	71,6	12,5	79,6	15,4	69,2	-	-8,2	45,9	-1,64
21-Mar	08:30	15,8	10,2	49,5	-	-	-	-	16,0	72,0	-	-	-	-3,6
	09:30	15,6	9,9	48,3	-	-	-	-	12,7	88,4	-	-	-	50,9
	10:15	16,5	10,4	46,2	13,1	86,4	11,9	86,7	13,3	86,4	-	55,7	75,4	52,5
	15:00	19,2	12,4	45,0	19,2	45,0	13,6	89,4	14,4	89,1	-	0,0	82,4	70,6
22-Mar	09:00	15,7	12,3	67,5	14,4	87,3	13,1	89,4	13,5	91,3	-	38,2	76,5	64,7
	14:30	15,8	10,3	50,0	14,2	83,8	12,6	85,8	14,0	83,4	-	29,1	58,2	32,7
25-Mar	10:00	16,8	13,9	73,3	16,6	88,5	15,3	88,8	15,7	91,1	-	6,9	51,7	37,9
	16:00	16,8	13,9	73,3	17,4	87,7	16,0	88,4	16,2	91,1	-	-20,7	27,6	20,7
27-Mar	12:00	17,4	12,5	57,2	16,5	88,7	15,3	88,3	16,6	89,7	-	18,4	42,9	16,3
	16:30	16,3	12,5	65,1	16,5	88,9	15,2	86,2	15,9	91,4	-	-5,3	28,9	10,5
28-Mar	12:00	18,2	13,9	62,7	16,3	89,0	14,9	89,1	15,3	92,1	-	44,2	76,7	67,4
	17:00	15,2	11,8	67,5	15,6	86,8	13,9	87,8	15,0	87,6	-	-11,8	38,2	5,9
13-Set	15:30	31,2	19,8	35,1	20,2	87,9	20,2	88,1	19,8	90,7	-	96,5	96,5	100,0
23-Set	14:30	30,2	19,4	36,7	19,7	87,4	19,5	88,7	19,3	90,8	-	97,2	99,1	100,9

Anexo E - Consumo energético e de água das centrais.

Neste anexo encontram-se os dados relativos ao consumo de água e de energia elétrica pelas centrais de climatização.

Tabela E.1 – Consumo de água pelas centrais de climatização durante o ano de 2012.

Mês	Centrais de Climatização - Consumo de Água 2012 (m ³ /mês)			
	C.C.nº1	C.C.nº2	C.C.nº3	C.C.nº4
Janeiro	4,908	4,733	50,916	5,929
Fevereiro	0,000	47,123	70,598	40,590
Março	4,096	64,421	116,231	75,363
Abril	0,162	74,820	71,546	63,965
Maio	4,928	100,653	64,046	110,240
Junho	2,082	90,858	158,180	108,472
Julho	4,942	130,540	216,975	135,881
Agosto	1,417	110,937	179,824	105,945
Setembro	19,084	133,616	225,535	152,348
Outubro	7,375	118,203	195,824	122,372
Novembro	2,350	98,030	157,770	6,020
Dezembro	0,223	45,382	13,340	0,675
Total (m ³ /ano)	51,57	1.019,32	1.520,79	927,80
	3.519,47			

Tabela E.2 – Consumo de energia elétrica pela central de climatização 1 durante o ano de 2012.

Mês	Consumo de Energia Elétrica 2012		
	CC 1		
	Consumo (kWh)	Consumo diário (kWh/dia)	Consumo horário (kWh/h)
Janeiro	7,00	0,23	0,01
Fevereiro	17.382,34	579,71	24,15
Março	20.455,66	678,87	28,29
Abril	18.603,04	598,20	24,92
Maio	21.769,71	676,78	28,20
Junho	15.413,25	556,27	23,18
Julho	42.433,49	1.319,00	54,96
Agosto	3.786,96	111,39	4,64
Setembro	19.787,20	705,11	29,38
Outubro	21.402,82	714,92	29,79
Novembro	5.540,21	186,23	7,76
Dezembro	10.243,31	330,87	13,79
Total (kWh/ano)	196.825,00		

Tabela E.3 – Consumo de energia elétrica pela central de climatização 2 durante o ano de 2012.

Mês	Consumo de Energia Elétrica 2012		
	CC 2		
	Consumo (kWh)	Consumo diário (kWh/dia)	Consumo horário (kWh/h)
Janeiro	8.875,00	286,16	11,92
Fevereiro	27.013,12	900,90	37,54
Março	29.005,88	962,63	40,11
Abril	30.675,48	986,39	41,10
Maio	34.827,84	1.082,73	45,11
Junho	27.608,69	996,40	41,52
Julho	41.217,10	1.281,19	53,38
Agosto	42.134,78	1.239,41	51,64
Setembro	35.242,42	1.255,85	52,33
Outubro	41.917,69	1.400,17	58,34
Novembro	40.631,42	1.365,76	56,91
Dezembro	28.414,58	917,83	38,24
Total (kWh/ano)	387.564,00		

Tabela E.4 – Consumo de energia elétrica pela central de climatização 3 durante o ano de 2012.

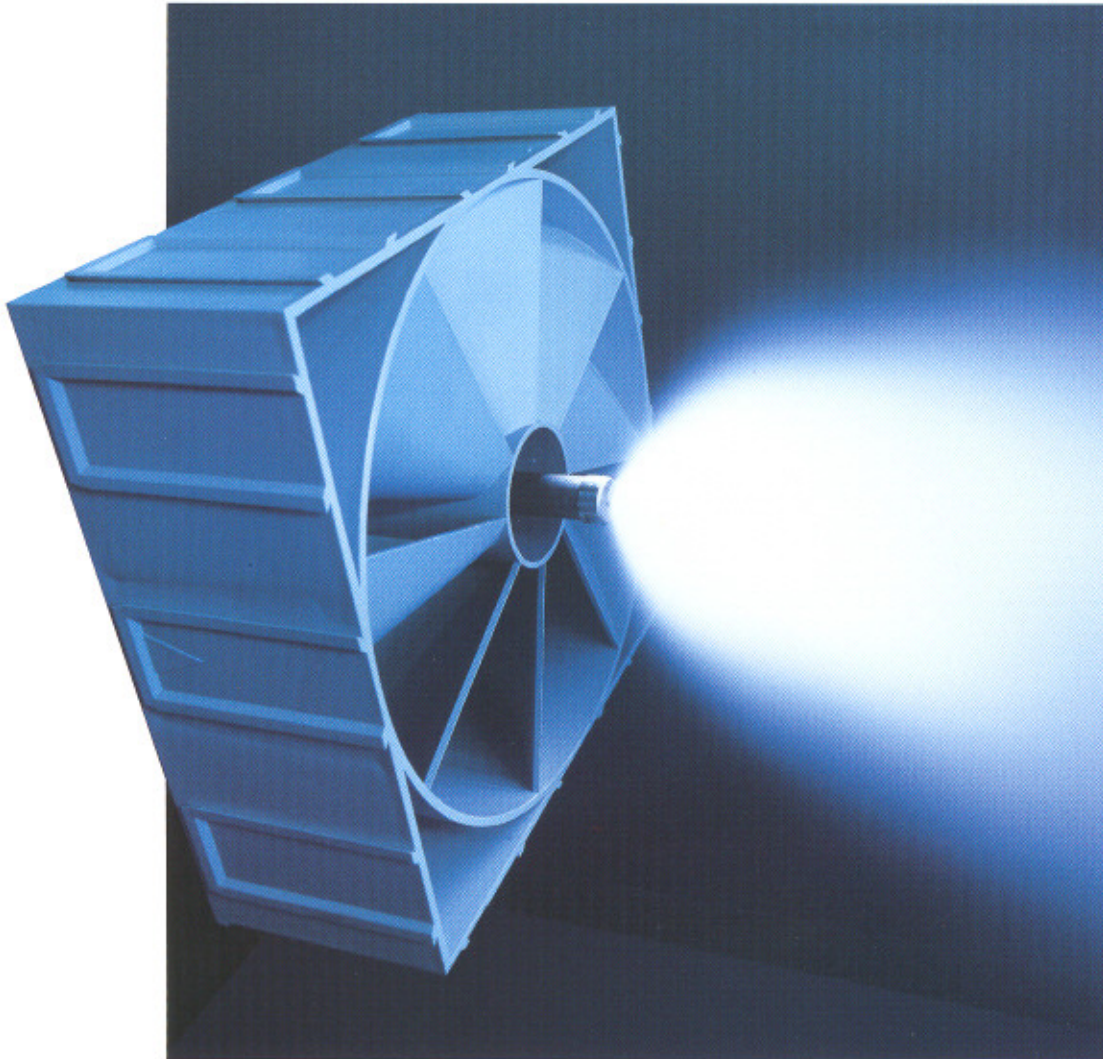
Mês	Consumo de Energia Elétrica 2012		
	CC 3		
	Consumo (kWh)	Consumo diário (kWh/dia)	Consumo horário (kWh/h)
Janeiro	14.004,67	451,56	18,82
Fevereiro	0,00	0,00	0,00
Março	0,00	0,00	0,00
Abril	0,00	0,00	0,00
Maio	25.000,00	803,89	33,50
Junho	24.392,69	880,34	36,68
Julho	54.000,00	1.678,54	69,94
Agosto	54.000,00	1.588,43	66,18
Setembro	47.870,62	1.705,86	71,08
Outubro	25.388,95	848,06	35,34
Novembro	12.870,01	432,61	18,03
Dezembro	9.834,86	317,68	13,24
Total (kWh/ano)	267.361,80		

Tabela E.5 – Consumo de energia elétrica pela central de climatização 4 durante o ano de 2012.

Mês	Consumo de Energia Elétrica 2012		
	CC 4		
	Consumo (kWh)	Consumo diário (kWh/dia)	Consumo horário (kWh/h)
Janeiro	625,00	20,15	0,84
Fevereiro	14.010,59	467,26	19,47
Março	17.494,42	580,59	24,19
Abril	20.212,00	649,93	27,08
Maio	40.036,73	1.244,67	51,86
Junho	38.814,27	1.400,82	58,37
Julho	54.690,65	1.700,01	70,83
Agosto	57.066,96	1.678,65	69,94
Setembro	47.870,62	1.705,86	71,08
Outubro	50.777,89	1.696,13	70,67
Novembro	12.870,01	432,61	18,03
Dezembro	9.834,86	317,68	13,24
Total (kWh/ano)	364.304,00		

Anexo F – Folheto Informativo do sistema de humificação “TexFog”

Luwa[®] TexFog



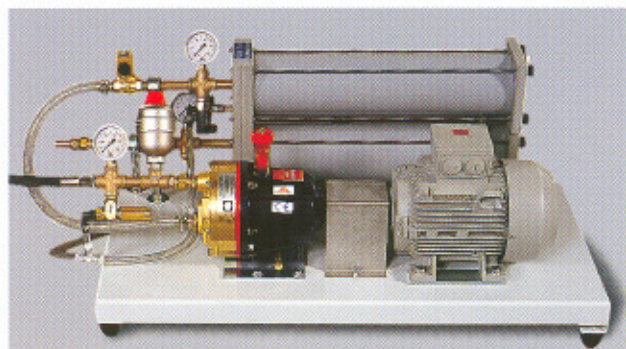
***The high-performance humidification system
for the textile industry: economical, hygienic,
easy to maintain and service.***

Luwa

High pressure humidification in the textile industry

The Luwa® TexFog high-performance humidification system is the result of intensive development and construction work. It was especially conceived for use in the textile industry to provide:

- constant and most efficient humidification of the supply air for dewpoint operation
- humidification of the supply air exactly dosed for partial saturation.



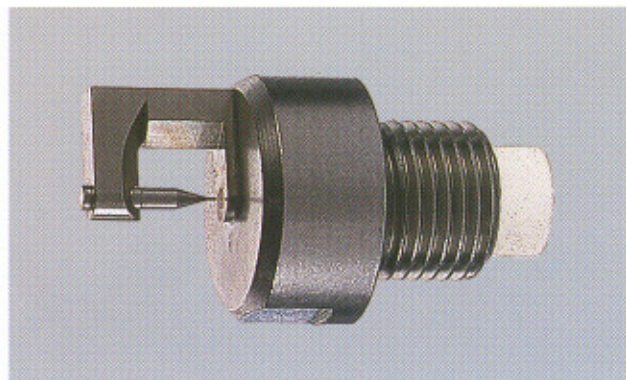
The compact high-pressure pumping unit with integrated 2-step fine filtering, with all necessary safety and monitoring devices.

The principle

A compact pump station propels the water through a two-step filter to special nozzles. There it is diffused into aerosol under high pressure and intensively mixed with air by means of turbulator elements. The diffusing and mixing with air causes the largest part of the water to evaporate. The droplet eliminator at the exit of the humidifier prevents the following components from getting wet.

The core

The specially developed and patented air turbulator elements together with the top precision water nozzles make up the core of the system.

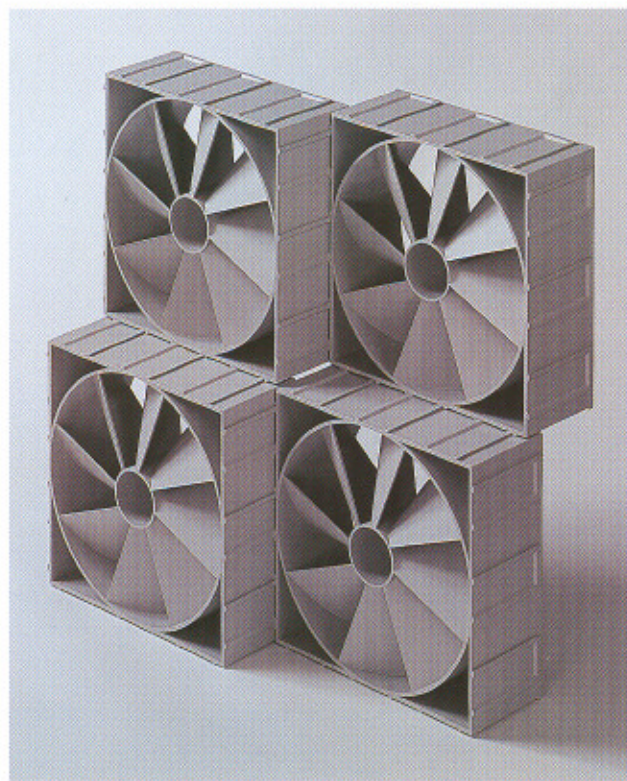


The nozzles diffuse the water under high pressure. As the water enters, a filter eliminates even the smallest impurities.

The turbulator elements are constructed in a way which prohibits backflow. This minimizes the risk of these elements getting soiled.

The high-pressure nozzles have to fulfil a demanding task, propelling water at extremely high speed through the nozzle and out of it. Rubies with ultra-fine orifices are pressed into the robust nozzle body. These allow for an extraordinarily long lifetime.

Filters at the nozzle input protect the fine nozzle orifices from being clogged.



The patented air turbulator elements are fitted together to form the humidifier entrance.

Comparison between a conventional high-speed air washer and Luwa® TexFog

Basis: air volume flow = 140'000 m³/h

	Convent.	TexFog
max. sprayed water volume flow m ³ /h	140,0	1,1
max. motor-shaft power of the pump kW	14,0	3,0
name-plate power of the pump kW	18,5	4,0

The advantages

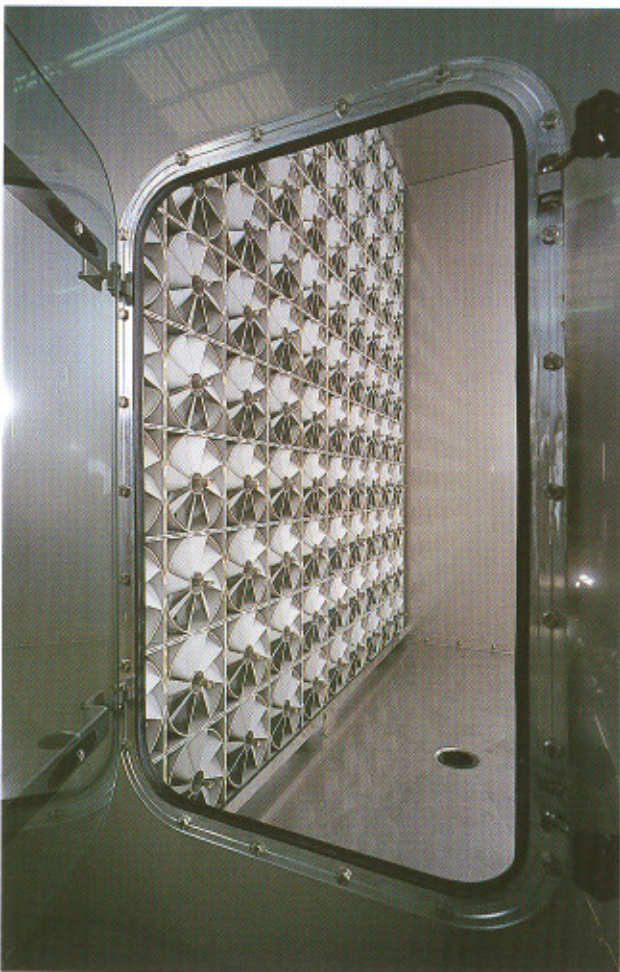
In comparison with conventional air washers, the economical advantages are the most obvious:

- high humidification and evaporation efficiency
- small spray water amounts
- low pump power requirement.

Aside from these measurable factors, the Luwa® Tex-Fog has another attribute which continues to gain on significance:

biological harmlessness.

- since only fresh tap water is sprayed and the residual water is drained off, no germs are able to grow. The hygienic environment is thereby considerably improved.



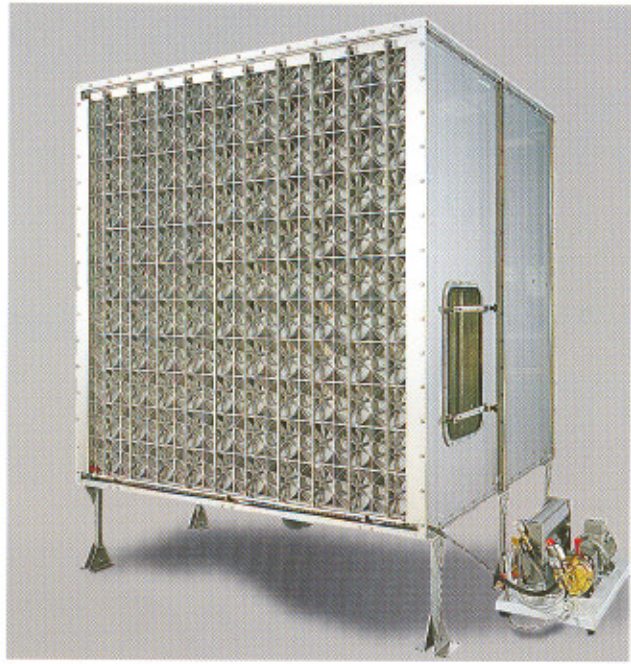
Mineral salts and other impurities are flushed down the drain with the residual water.

The small spray water amounts, as well as the removal of mineral salts and impurities with the residual water, help keep the built-in parts clean, especially the eliminator. This brings along yet another advantage:
Ease of maintenance and service.

The components and their material specifications

The air humidifier housing

- housing made of stainless sheet steel
- floor supports made of galvanized sheet steel
- drain pipes made of plastics



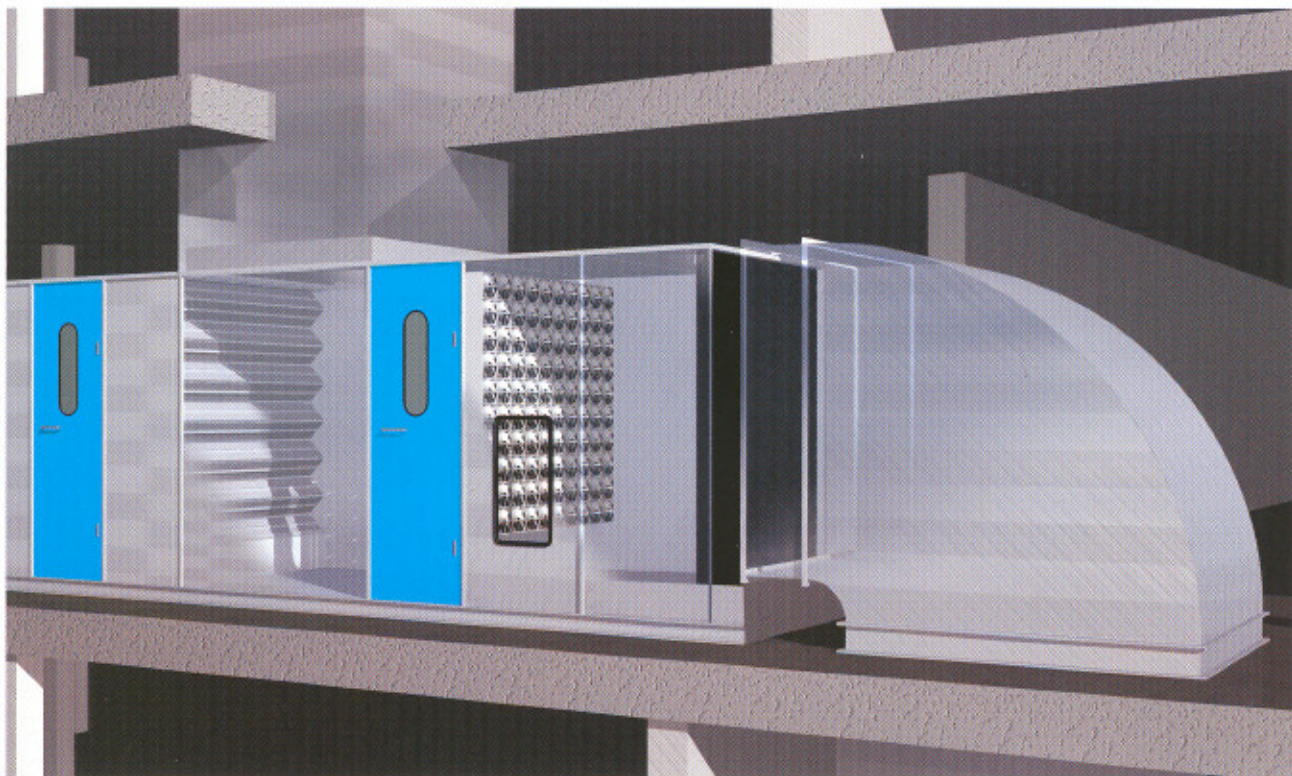
The air input side of the Luwa® TexFog.

The air humidifier built-in parts

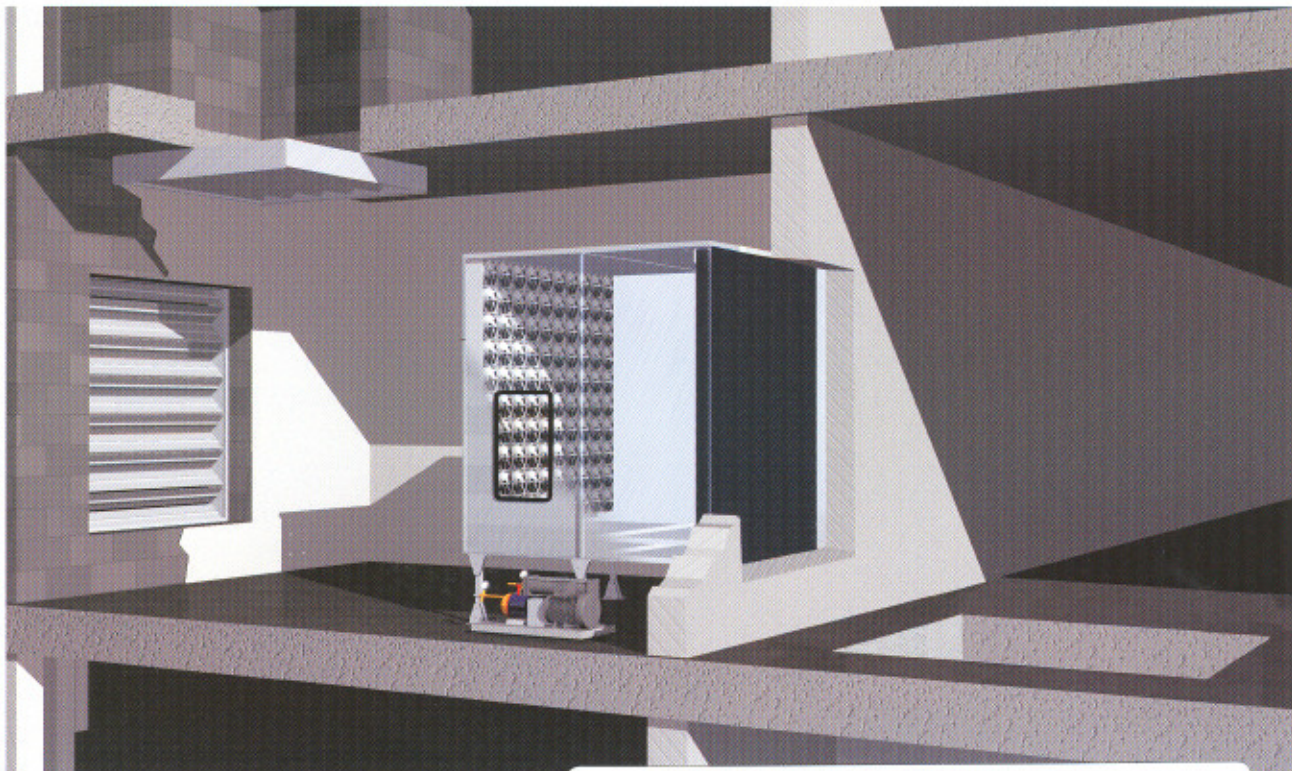
- air turbulator elements made of polystyrene
- atomizer assembly with removable stand pipes made of stainless steel, fastened with screw connections on the distribution pipe of the same material
- high-pressure nozzle body made of brass, chemically nickel-plated
- case made of stainless steel with integrated ruby
- nozzle needle made of stainless steel
- frame and supports made of corrosion-proof materials
- drain pipe made of plastics
- droplet eliminator blades made of plastics

The pumping unit

- base plate made of steel, powder-coated
- 2-step filter unit



The Luwa® TexFog in a Luwa® TexPac compact plant system.



The Luwa® TexFog in a central air-conditioning plant in mason

notice.

Luwa
Wilstrasse 11
CH-8610 Uster
Telephone ++41 (0)1 943 51 51
Telefax ++41 (0)1 943 51 52
Internet: www.luwa.com

A Division of Zellweger Luwa AG
 Group companies, licensees and representatives in more than 60 countries

ip
 ries

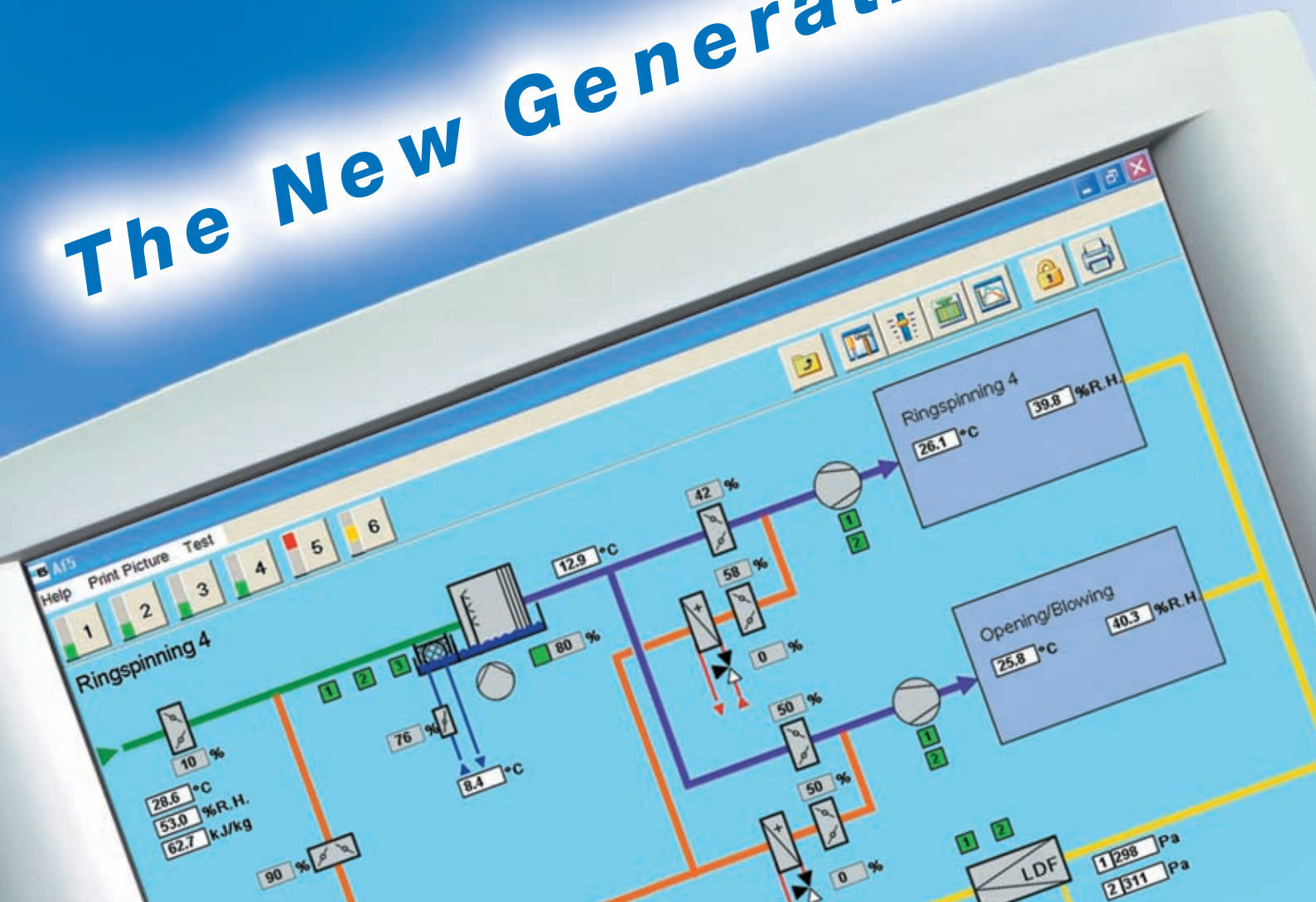
Luwa

Anexo G – Folheto Informativo do sistema de controlo automático “DigiControl 5”

Your air. We care.

DIGI5
CONTROL

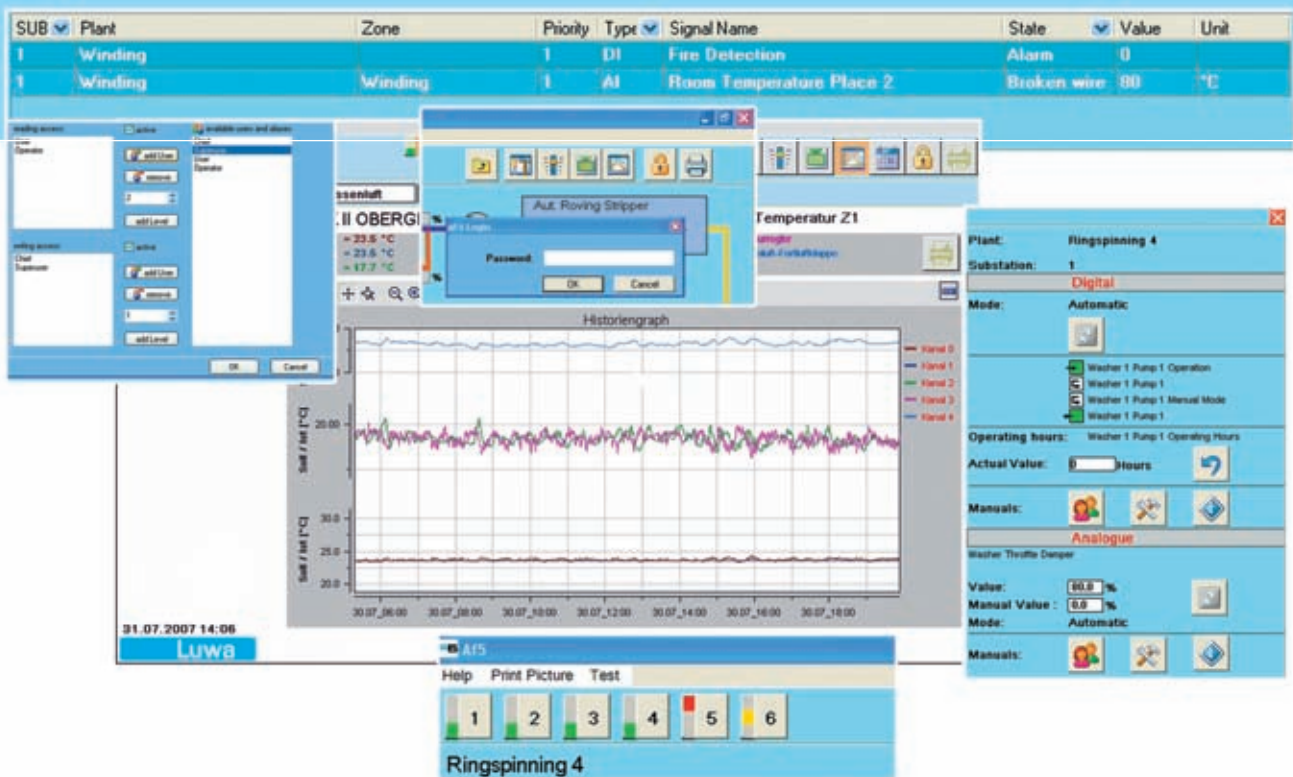
The New Generation



The intelligent system for regulating, controlling and monitoring of all air handling processes.

Luwa

DigiControl 5 – precise regulating

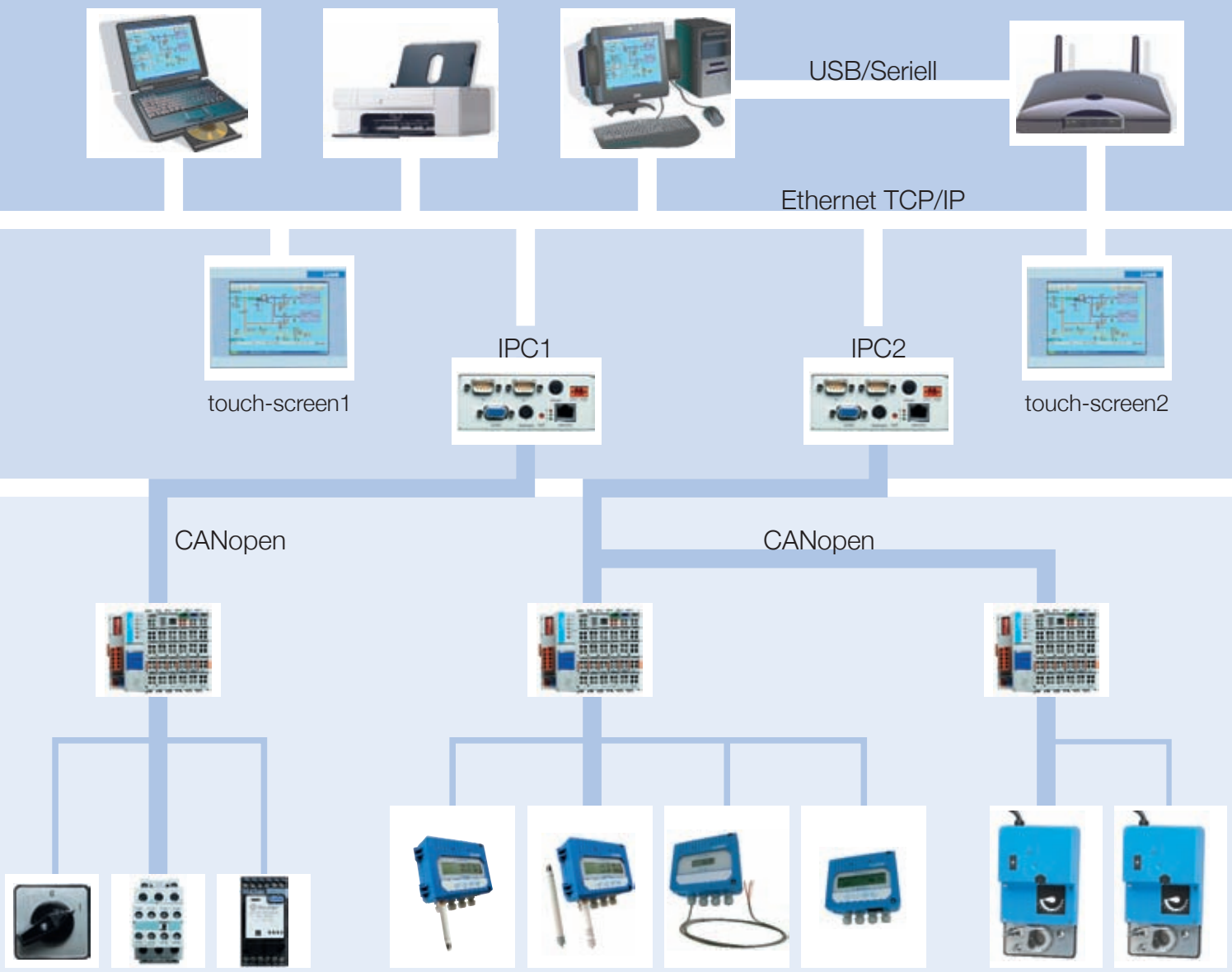


For our customers production processes, it is of essential importance that specified air conditions are adhered to. As the leading air engineering company, Luwa has developed the programmable digital system DigiControl5 for regulating, controlling and monitoring of all air handling processes. DigiControl5 ensures that the air is always ideally conditioned, and also allows permanent operation with optimized operating costs.

Advantages and characteristics

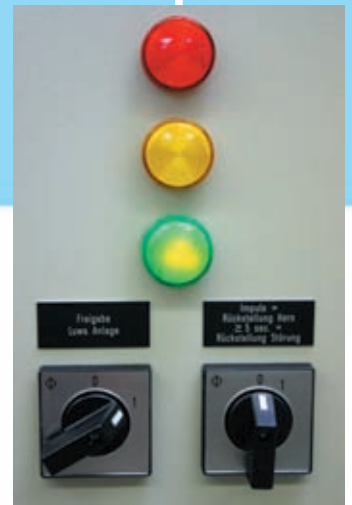
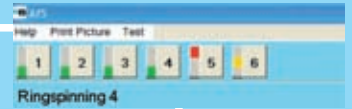
- Master station is part of each plant
- Easy navigation with personal computer or large touch-screen
- On-line selection of language (if available)
- On-line help functions
- Maintenance information
- Report generator
- Password manager

For optimal quality and productivity.



DigiControl 5 consists of three levels:

- Master level with personal computer and/or touch-screen(s)
- Process level with substation(s) and CAN-modules
- Field level with field instruments



Lights on switchboard show an overview of the plant condition

Features and advantages

Integrated system consisting of electrical switchboards, control systems with visualization/monitoring (personal computer and/or touch panels) and field instruments

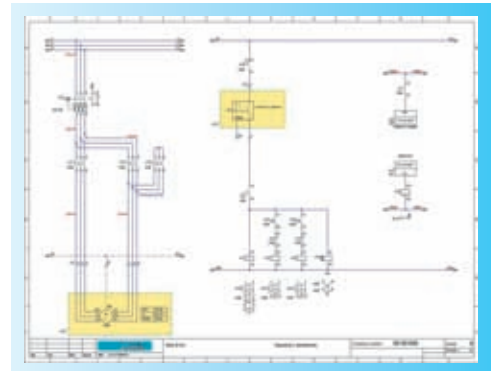
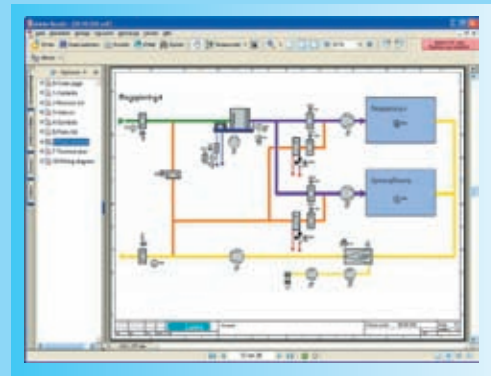
- Measuring, controlling and regulating with high precision
- Fully automated motor control with the possibility for manual operating
- Recording of motor operating hours
- Simple and clear signalisation and easy operation on electrical switchboard and visualization/monitoring
 - Fast survey of plant situation
 - Visualization and recording of alarms and maintenance indications
 - Easy navigation on large screen
- Documentation of control systems and field instruments available by online help
- Graphs and reports for monitoring and analysis of air conditions



Optional

- SMS alarming and TeleService support
- OPC server (data exchange to another system)
- Energy monitoring and functions for energy saving





Pos.	Bezeichnung	Einheit	Stückzahl	Materialnummer	Stückzahl
1	1.1	1.1	1	1.1.1	1
2	1.2	1.2	1	1.2.1	1
3	1.3	1.3	1	1.3.1	1
4	1.4	1.4	1	1.4.1	1
5	1.5	1.5	1	1.5.1	1
6	1.6	1.6	1	1.6.1	1
7	1.7	1.7	1	1.7.1	1
8	1.8	1.8	1	1.8.1	1
9	1.9	1.9	1	1.9.1	1
10	1.10	1.10	1	1.10.1	1
11	1.11	1.11	1	1.11.1	1
12	1.12	1.12	1	1.12.1	1
13	1.13	1.13	1	1.13.1	1
14	1.14	1.14	1	1.14.1	1
15	1.15	1.15	1	1.15.1	1
16	1.16	1.16	1	1.16.1	1
17	1.17	1.17	1	1.17.1	1
18	1.18	1.18	1	1.18.1	1
19	1.19	1.19	1	1.19.1	1
20	1.20	1.20	1	1.20.1	1

Continuance of operating level (visualisation), circuit diagram, plant overview and list of material

In case of messages referring to malfunction or necessary maintenance, it is easy to refer from operating level to the required information in the electrical diagram. In this way, the locating of the related components within the switchboard is substantially simplified. Thanks to the direct access to the list of material, the required spare parts can be quickly identified.

For stable and safe operation.

Field instruments

Luwa offers own temperature, humidity and differential pressure transmitters and actuators such as servomotors. The field instruments are electrical wired to the CAN-modules of DigiControl 5 system.

The field instruments are fitted in shockproof, dust-proof and water-repellent casings. Sensors with high precision and microprocessor-controlled electronics guarantee exact and reliable measurement. All transmitters have a large data display with easy readable data and menu structure.

Humidity and temperature transmitter HTT III

The humidity and temperature transmitter HTT III is used wherever an exact humidity and temperature measurement is required. Depending on the version, the humidity and temperature transmitter HTT III has a sensor probe which is directly connected (room version) or a sensor probe which is connected by a cable of 10m length (duct version).



Temperature transmitter TT III

The temperature transmitter TT III for Pt100 measuring elements guarantees exact temperature measurement.



Differential pressure transmitter DPG/T III

The differential pressure transmitter DPG/T III guarantees an exact measurement of differential pressure. For reasons of direct controlling of limit values the DPG/T III has 2 built in relays.



Damper drive

The damper drive is used wherever air dampers have to be exactly regulated.

DigiControl 5 – for air conditions to be kept automatically within the optimal range.

After sales service – trouble-free operation

We are also available to our customers when an existing plant needs to be extended, repaired or maintained. Regular maintenance contributes considerably to a reduction in operating costs.

Expert checking of the plant and adjustment of the regulating parameters guarantee irreproachable, trouble-free operation and lengthens a plant's life.

Our services – as a package or à la carte

Our TAC® service contract includes regular checks of the plants regarding condition, function, operating costs and safety. Maintenance and function-relevant cleaning ensure the machine is always ready for operation.

We also carry out maintenance tasks, breakdown remedying, conversion, tele-service and repair work, training and instruction of the operating staff according to requirements.

Optimizing of installed plants – operating costs as a priority

Luwa makes their know-how available also for optimizing and advising about existing plants from other manufacturers.

The main focus is on operating safety and reduction of operating costs – a Luwa speciality.



Luwa Air Engineering AG
Wilstrasse 11
CH-8610 Uster
Phone +41 44 943 11 00
Fax +41 44 943 11 01

www.luwa.com

Luwa

Anexo H – Proposta de investimento da empresa LUWA



F. PINTO & FILHOS, LDA.

e-mail: fpintoefilhos@mail.telepac.pt
RUA JOÃO DE DEUS, N.º 6 - 6.º / SALA 606
TELEF. 226 076 810 FAX 226 076 819
4100-456 PORTO PORTUGAL

Continental – Indústria Têxtil do Ave, S. A.

Rua António José da Costa, 200
4760-608 Lousado

Porto, 1 de Outubro de 2013

Refª: Instalações **Luwa Air Engineering AG.**

Exmºs. Senhores,

Referimos o interesse demonstrado por V. Exªs. e temos o prazer de vir submeter à vossa apreciação a seguinte oferta da nossa representada **LUWA:**

- Nº **3`004`235** de 01.10.2013
Referente a 4 novas Unidades Humidificadoras de Alta-Pressão modelo “TexFog”, para substituição das “lavadoras” nas 4 Centrais de acondicionamento de ar existentes para a área de torcedoria e bobinagem.
Novo Sistema Automático de Controlo Digi Control 5 ou Siemens S7.

Esta proposta compreende duas partes, como seguem:

1) 4 unidades “TexFog” com casulo em aço inoxidável e estação com bomba de alta pressão

Como não foi fornecida nenhuma informação no que respeita ao desenho e planos das centrais existentes, foram especificadas nesta oferta as dimensões para estas unidades – ver, por favor, pág. 7 da proposta.

O item respeitante só ao fornecimento das Unidades TexFog, não inclui qualquer controlo. A conexão ao existente sistema de controlo da Omron teria que ser realizado pela Continental - ITA.

Cada uma das 4 bombas de alta pressão possui um motor de 3.0 KW de potência (bombas existentes 3 x 18.5KW / 1 x 30KW).

A supervisão/instalação estão cotadas separadamente.

Numa fase posterior, teria que se verificar se a implementação destas unidades seria possível, tomando em consideração o desenho das centrais existentes.

A Luwa recomenda classe de filtros F5 para o ar expulso, desconhecendo-se se as centrais estarão já equipadas destes filtros.

2) Completamente novo sistema automatico de controlo LUWA DigiControl5 ou, em contrapartida, Siemens S7

A substituição do sistema Omron existente significaria a implementação de um sistema completamente novo (Digi5 ou Siemens S7). Sensores, motores nos registos e conversores de frequência teriam também que ser substituídos, estando já o seu custo previsto neste orçamento.

Para que o sistema seja realmente completo, a Luwa recomenda também a substituição dos quadros de comando existentes.

Por forma a proporcionar um benefício adicional e a possibilidade de poupança de energia, a Luwa propõe um sistema de controlo composto de 2 sequências para controlo da humidade:

1ª Sequência controla a bomba do TexFog, enquanto os ventiladores do ar de insuflação e de retorno operam com uma velocidade reduzida (min. em 50% de carga).

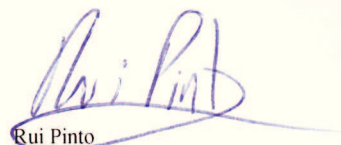
Se a humidade pedida não for alcançada, numa
2ª Sequência será aumentada a velocidade dos ventiladores de insuflação e retorno de ar até que a humidade solicitada seja alcançada.

Esta 2ª sequência do sistema de controlo proporcionará uma poupança de energia adicional nos motores dos ventiladores, os maiores responsáveis pelo consumo. Com este desenho específico dos controlos, estima-se uma redução da carga média anual de energia dos actuais 100% para aproximadamente 70%.

Em anexo, a Luwa apresenta um rápido estudo acerca da expectável poupança em custos de energia e o correspondente período de retorno do investimento. Os preços fornecidos são estimados e teriam que ser avaliados em conjunto com a Continental-ITA.

Esperamos que esta proposta possa merecer a vossa melhor atenção e ficamos ao dispor para quaisquer esclarecimentos que necessitem sobre este(s) assunto(s).

Entretanto, apresentamos a V. Ex^{as}. os nossos melhores cumprimentos,



Rui Pinto

F. Pinto & Filhos, Lda

Luwa

Luwa Air Engineering AG

Tender No. 3'004'235

Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A

Rua António José da Costa, 200
4760-608 Lousado

Portugal

Uster: October 1th, 2013
Ref: Fra / Aed

4 Luwa High-Pressure Humidification Units “TexFog”

(for modification 4 existing AHU's)

for

Winding & Twisting Room

New Automatic Control System

Luwa Digi Control 5

or

Siemens S7

Table of

Contents

Basis of Design	Geographical Location	3
	Outside Climatic Conditions	3
	Building Construction	3
	Energies and Utilities	4
	Technical Data	6
	TexFog Dimensions	7
<hr/>		
Performance Data	Air Humidification System	8
<hr/>		
Material Specification	Air Conditioning System	9-11
<hr/>		
Summary Sheet	Air Conditioning System	12
<hr/>		
Prices and Sales Conditions	Price	13
	Terms of Payment	13
	Delivery Ex-Works	13
	Delivery Conditions	13
	Validity	13
	Not included	14
Erection Conditions	15-16	
<hr/>		

1. Basis of Design

1.1 Geographical Location

Location	Lousado
Altitude	120 meters
Latitude	41 °NL

1.2 Outside Climatic Conditions

Mean maximum drybulb temperature	33.0 °C
Mean maximum wetbulb temperature	22.0 °C
Minimum drybulb temperature	0.0 °C
Minimum wetbulb temperature	-1.0 °C

1.4 Energies and Utilities

Electric Power

Operating Voltage	Three Phase Current With earthing without neutral conductor	400 V
	Frequency	50 Hz
Control Voltage	From Transformer	230 V
Motor Start-up	Direct on line up to Star-delta from	7.5 kW 11.0 kW
Applicable Standards	In the absence of any special instructions, the switchboard will be constructed in IEC Standard	
Cooling Method Medium	Evaporative cooling Circulating Water	
Fresh Water	From mains supply under pressure preferably softened	1.5 bar

Remark 1 Control Voltage

In case of unstable supply voltage, outside the limits 230V +20%/-15%, the DigiControl (Central control station) has to be connected to an uninterrupted online power supply (USV) **by customer**.

Remark 2 to water consumption in para 2. Performance Data

The fresh water consumption (mean value) for replacement of evaporated and renewal of recirculated water (bleed-off). The bleed-off rate depends on the quality of fresh and recirculated water.

Water quality for air-conditioning plants in textile mills

General recommendations for operation with TexFog

Absolutely pure water does not exist naturally. Untreated water or water supplied by the waterworks always contains impurities to a greater or lesser extent, which can have harmful effects on the materials used in the plant, depending upon operating conditions. These harmful effects can be corrosion, precipitation, deposits and micro-organisms. Depending upon the source of the water (blended from different wells, ground or surface water), its composition can vary greatly over the course of time. It is also often found that the water quality deteriorates constantly due to the increasing environmental load.

The following list of values can be used as a guideline for adequate water quality for textile air-conditioning plants with TexFog. These are mean values of the analysis of water taken from air-conditioning plants that have been operated for years and maintained normally.

Limit values for:				
	mg/l	mol/m ³	°dH	°fH
Carbonate hardness CaCO ₃ (=acid capacitance up to pH 4.3)				
Calcium Ca ²⁺				
Magnesium Mg ²⁺				
Total hardness CaCO ₃			3.0 - 8.0	
Sodium Na ⁺ (before softening)				
Iron Fe ²⁺				
Chlorides Cl ⁻	<50			
Sulphates SO ₄ ²⁺	<50			
Nitrates NO ₃ ²⁻				
Silikate SiO ₂				
Phosphates PO ₄ ³⁻				
pH value	8,5 – 9.0			
Specific electrical conductivity	<200 µS/cm			

1°fH or 0.56°dH corresponds to 10 mg/l CaCO₃

10°fH or 5.6°dH corresponds to 2mval/l or 1.0mmol/l

Attention must be paid to the fact that with partial demineralization the total hardness is not less than 80 mg/l. This will allow a thin protective coating to build up, which will reduce the harmful effects of the chlorides.

Even if all the above requirements are met, it can still not be guaranteed with absolute safety that corrosion problems will not occur. The characteristics of the sprayed water can be decisively changed by a variation in the fresh water quality, harmful substances washed out of the air, materials used in the plant. A regular inspection of the air-conditioning plant is therefore required in all cases, so that corrective measures can be taken if necessary, before the extent of damage becomes too severe.

The function of the separator blades can not be guaranteed, if insufficient maintenance is carried out. The quality of the sprayed water can also have an adverse effect on the air carrying system as far as corrosion behaviour and deposits are concerned.

If certain values are exceeded in the water available, serious trouble can often be avoided: through treating the water with corrosion inhibitors, dispersing agents, pH value correction agents, complexing agents, stabilisers, biocides or biostatics etc.

In other cases, a partial demineralisation plant can be useful, usually combined with a water treatment plant.

A total demineralisation plant is not usually of much use in connection with air-conditioning plants. In particular, water treated for other purposes like boilers, dying, finishing must not be used for air-conditioning plants.

The above data refer to conventional textile air-conditioning plants with TexFog, which work on the saturation principle. With other air-conditioning plants, other clarifications and measures may be necessary from case to case.

If there are doubts regarding corrosion behaviour, it is recommended to protect endangered parts (with the exception of separator blades) using a suitable protective coating (e.g. bitumen based). It is advantageous to apply the protective coating to the parts to be protected when they are still as new. It is absolutely necessary that the protective coating be inspected regularly and renewed as required.

In all cases, a detailed water analysis must be provided as a basis for evaluation. Due to the fact that chemical alterations can occur to water samples during transportation, the water analysis must be made as soon as possible after taking the sample. Therefore a qualified regional specialist institute must be consulted.

A necessity for trouble-free operation, is reliable, competent monitoring of the water treatment plant and the analysis values of the water in the system. This task can be fulfilled by a local specialist company at reasonable cost.

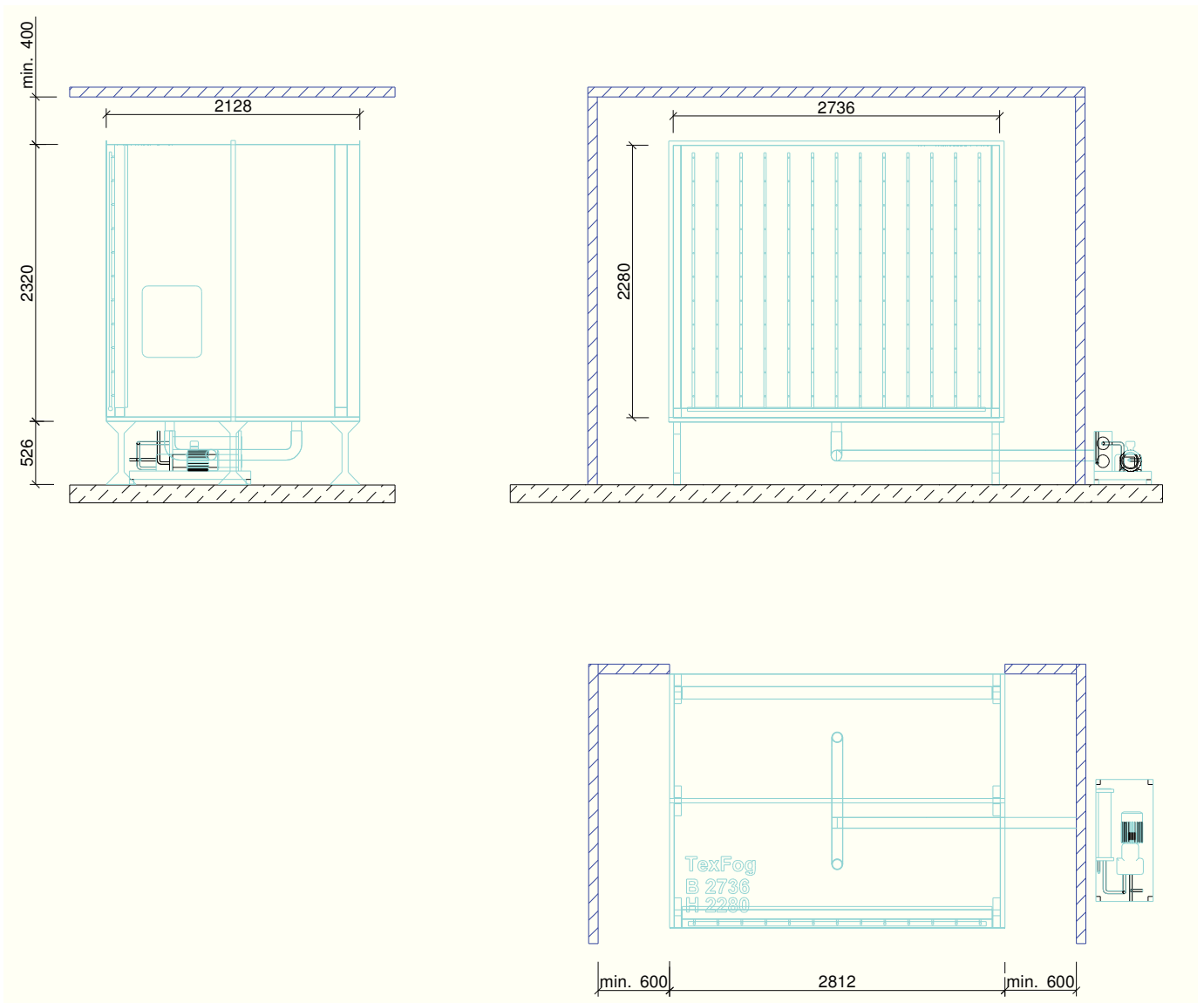
1.5 Technical Data

Thermal charges inside the room

Thermal Load	Type	Qty	Total Power kW
Sunlight	Sensitive	1	39.6
Occupancy	Latent	1	1.4
	Sensitive	1	0.8
Lighting	Sensitive	1	29.9
Machinery	Sensitive (Winding+Twisting)	1	1'064.0

**Based on customers data.

1.6 TexFog Dimensions



2. Performance Data

2.1 Luwa High-Pressure Humidification “TexFog”

Section		Winding & Twisting Room	
Dimension	m		Unknown
Area	m ²		Unknown
Clear Height	m		Unknown
Volume	m ³		38'589
Internal Heat Load			
Lighting	W/m ²		4.7
Total Installed Machinery	kW		1064.0
Total Factor	%		85
Guarantees (at sensors)			
Relative Humidity			
• Maximum	%		50 ± 2.5
Room Temperature			
• Maximum with adiabatic cooling	°C		approx. 33.6
• Minimum with adiabatic cooling	°C		approx. 20.0
Zone Performance			
Supply Air Flow Rate	m ³ /h		4 x 111'665
Air Change	h ⁻¹		11.6
Plant Capacity			
System Type		Luwa TexFog	
Number of Units			4
Number of Control Zones			4
Total Supply Air Flow Rate	m³/h		4 x 111'665
Total Return Air Flow Rate	m ³ /h		4 x 101'545
Start-up Heating Requirement	kW		N/A
Water Consumption	m ³ /h		4 x Maximum 0.92
Make-up Water	m ³ /h		4 x Maximum 0.55
Rated Power (Pump)	kW		4 x 3.0
Shaft Power Consumption (Pump)	kW		4 x 2.3

3. Material Specification

3.1 Luwa Central Air Conditioning Plant

3.1.1 A/C Plant in Panel Housing existing

3.1.2 Protection Grille (existing)

- for outside air
- for exhaust air

3.1.3 Air Control Damper (existing)

- for outside/ exhaust air
- for recirculated air

3.1.4 Passage Doors (existing)

-for Luwa TexFog (by Luwa)

Airtight execution with lock. Door constructed in double metal sheeting, galvanized, with two lever fastener, tubular sealing and hot-galvanized frame.

3.1.5 High Performance Humidification System TexFog (by Luwa)

consisting of:

Air Humidifier build-in Components

Air turbulator elements of synthetic material. Stainless steel spray bank consisting of distribution pipe, individual removable spray pipes and fittings. High pressure water spray nozzles of corrosion resistant material. Frame and support components of stainless steel. Drain pipes of plastic. Water eliminator blades of synthetic material in stainless steel frame.

Water Pump Station

Base plate of powder coated steel sheet. Two-stage water filter unit; high pressure pump with electric motor, coupling guard and coupling; piping of corrosion-proof material; completely assembled with the necessary safety and monitoring devices and mounted on base plate.

Uniluwa-Housing for Luwa TexFog (by Luwa)

Housing of sandwichpanel construction with integrated 50mm thermal insulation. Construction including galvanised steel frame. Housing with plastic coating and stainless steel within wet section of humidifier.

3.1.6 Piping System for Fresh Water (by customer)

- for Luwa TexFog fresh water supply

Seamless pipes with the necessary reductions, elbows, T-pieces and connection elements made of galvanized steel, fixing material. Hand stop cock, quick filling tap, hose pipe tap with hose.

3.1.7 Insulation for Piping System (by customer)

- for Fresh Water

Insulation made of fire inhibitant expanded foam material covered with PVC sheets.

3.1.8 Fan (existing)

- for supply air

- for extract air

3.1.9 Air Filter (existing)

3.1.10 Electrical Switchboard

-Replacement for old equipment with Omron regulation. (existing)

-New Switchboard only for the new regulating & control system:

Plant release switch and collecting signalisation

Steel sheet housing in 1.5mm steel sheet, RAL 7032 powder coated.

Main (load) switch, control switches and signal lamps installed into front door.

The control and safety equipment is built onto mounting plates or mounting rails. The Motor Starters (main contactor and motor protection switch) are mounted onto module plates, facilitating the mounting of additional Motor Starters or the replacement of Motor Starters. The switchboard housing is in accordance with protection classification IP54.

3.1.11 Frequency Inverter (by Luwa)

- For Supply Air Fan

- For Return Air Fan

- For Tex Fog Pump

Micro processor controlled frequency inverters (brand Danfoss) for variable speed control of 3-phase motors; built into housing.

- **Protection class IP 54** for field installation

3.1.12 Automatic Control Regulation

Option 1: Luwa DigiControl System Digi5 (DDC)

Digi5 is a state of the art electronic control system specially tailored to meet the demands of the Textile Industry. Digi5 comprises of: Field instruments; I/O modules with CAN Bus; Sub-stations (IPC); Master Station for the visualisation of process data, either with a standard Personal computer or optionally with a Touch panel with Ethernet Bus. Each Main Station includes the operating software license protected with a USB dongle.

The whole system is fully programmed and tested in the works. **Field instruments**

- Temperature Transmitter (TT)

Temperature measurement with a long averaging sensor; includes a digital display.

- Temperature Sensor TS

PT 100 sensor without display.

- Combined Humidity and Temperature Transmitter (HTT) with a digital display.

- Differential Pressure Guard and Transmitter (DPG/T) with a digital display.

Piezoelectric measuring element in dust prove plastic housing with digital display. Adjustable alarm settings for high and low pressure limits.

All Luwa transmitters are working with a nominal output signal of 4 to 20 mA.

- Electric Servo Motors

For air control dampers and throttle valves.

Substation for humidification plant

Control functions for plants with evaporative cooling.

With automatic motor starting device.

With measuring of outside air conditions.

Main Station (PC)

The Main Station (PC) communicates with all substations and consists of:

- Personal Computer, 17" monitor, keyboard, mouse and color printer.
- Visualisation software for the monitoring of all relevant climatic conditions and alarm protocols.

3.1.13 Option 2: Automatic Control System Siemens S7

Automatic Control System for Air Conditioning Regulation.

This software developed by Siemens offer fully control of temperature / humidity and pressure .

The whole system is fully programmed and tested in the works.

Field instruments**- Temperature Transmitter (TT)**

Temperature measurement with a long averaging sensor; includes a digital display.

- Temperature Sensor TS

PT 100 sensor without display.

- Combined Humidity and Temperature Transmitter (HTT) with a digital display.**- Differential Pressure Guard and Transmitter (DPG/T) with a digital display.**

Piezoelectric measuring element in dust prove plastic housing with digital display.

Adjustable alarm settings for high and low pressure limits.

All Luwa transmitters are working with a nominal output signal of 4 to 20 mA.

- Electric Servo Motors

For air control dampers and throttle valves.

Substation for humidification plant

Control functions for plants with evaporative cooling.

With automatic motor starting device.

With measuring of outside air conditions.

Main Station Touch-Panel

The Main Station Touch-Panel communicates with all substations and consist of:

- 15" touch panel built into switchboard.
- Visualisation software for the monitoring of all relevant climatic conditions and alarm protocols.

3.1.14 Cables & Electrical Wiring (by customer)

Summary of Material

Air Conditioning System

Items

	Description	New High-Pressure Humidification System (for 4 existing AHU's) for Winding & Twisting Room	By Luwa	Existing	New by Customer
3.1.1	A/C Plant in Panel Housing	- 4 -		X	
3.1.2	Protection Grille Set	- 4 -		X	
	For outside air	- 4 -		X	
	For exhaust air	- 4 -		X	
3.1.3	Air Control Damper Set	- 4 -		X	
	For outside air/ exhaust air	- 4 -		X	
	For recirculated air	- 4 -		X	
3.1.4	AHU's Passage Door Set	- 4 -		X	
	For Luwa Tex Fog, with lock	- 4 -	X		
3.1.5	TexFog Unit	- 4 -	X		
	Build in components	- 4 -	X		
	Pump station	- 4 -	X		
	Housing for TexFog	- 4 -	X		
3.1.6	Fresh Water Piping Set	- 4 -			X
3.1.7	Insulation for piping system Set	- 4 -			X
	For fresh water	- 4 -			X
3.1.8	Fan	- 4 -		X	
	For supply air	- 4 -		X	
	For return air	- 4 -		X	
3.1.9	Air Filter	- 4 -		X	
	For outside air	- 4 -		X	
	For extract air	- 4 -		X	
3.1.10	Electrical Switchboard	replacement of exiting Switchboards	X		
	New Luwa Switchboards	- 2 -	X		
3.1.11	Frequency Convertor	replacement of exiting inverters	X		
	For supply air, protection IP 54	- 4 -	X		
	For return air, protection IP 54	- 4 -	X		
	For pump, protection IP 54	- 4 -	X		
3.1.12	Automatic Control Regulation	replacement of exiting Omron system	X		
	Luwa DigiControl System 5	- 4 -	X		
	Field instruments per zone Set	- 4 -	X		
	Substation	- 4 -	X		
	Main Station (PC)	- 1 -	X		
3.1.13	Siemens S7 System	Additional price for Siemens S7 instead of Luwa Digi5	X		
	Field instruments per zone Set	- 4 -	X		
	Substation	- 4 -	X		
	Main station Touch Panel	- 1 -	X		
3.1.14	Cables & Electrical Wiring Set	- 4 -			X

4. Prices and Sales Conditions

4.1.1 Prices

Prices for LUWA "TexFog" Units:

For the **4 adiabatic High-Pressure Humidification "TexFog"** with housing, as per aforementioned material specification 3.1.5 **EUR 148'000.--**

Supervision of erection and start-up for the mentioned positions in párr. 3.1.5 For maximum 6 man-weeks with the support by the sufficient number of skilled workers supplied by customer **EUR 8'000.--**

Optional Prices for new Swichboards and Automatic Control System:

For **2 new Electrical Switchboards** with Automatic Control System, as per aforementioned material specification 3.1.10 **EUR 33'000.--**

1 set Automatic Control system Digi Control 5, as per aforementioned material specification 3.1.11 & 3.1.12 **EUR 115'000.--**

Additional price for Siemens S7 instead of Luwa Digi5

1 Set Automatic Control system Siemens S7, as per aforementioned material specification 3.1.13 **(EUR + 7'500.--)**

Supervision of erection and start-up for the mentioned positions in párr. 3.1 For maximum 3 man-weeks with the support by the sufficient number of skilled workers supplied by customer **included**

- Wiring and electrical installation at clients charge

The above prices are understood to be for delivery **DAP (ITA Continental Lousado / Portugal), (INCOTERMS 2012)** packing included, with separate mentioned costs for supervision / start-up for our Luwa chief erector without customs duty and taxes.

4.1.2 Terms of Payment

30% down payment after placing the order against simple invoice.

70% to be payed upon information of readiness of goods (before delivery ex works Switzerland)

4.1.3 Delivery Ex-works

3 months after receipt of Letter of Credit, provided technical details are clarified and terms of payment have been fulfilled.

4.1.4 Delivery Conditions

The attached 'General Conditions of Supply' No. L94e form an integral part of this Tender.

4.1.5 Validity

2(Two) months after date of Tender.

5. Not included

Builder's Work

- All concrete and masonry work as plant housings, cutting and patching of walls, openings and plaster work.
- All necessary ducts and shafts in masonry work for outside air, exhaust air, supply air and circulated air.
- All necessary vapourtight, thermal insulation of builder's work.
- Additional painting of our plant components as well as general painter's work.

Piping Installations

- Piping system for fresh water as well as drainage.

Plant Components

- The necessary protection grilles on all accessible axial flow fans. We cannot take any responsibility for any accident which might occur, especially if it is neglected to fit protection grilles.
- Noise and vibration absorbing devices, if necessary.
- Outside air filter, if necessary.

Automatic Control and Electric Installations

- The complete electrical wiring for operating and control voltage.
- Lighting within air conditioning plants and plant rooms.

Various Services and Deliveries

- Erection tools consisting of quality shop tools and gauges, selected according to field experience.
- Erection of the plant components and of the accessories delivered as per our material specification.
- Supply of power, water and light and heating medium for the erection and putting into operation.
- Necessary scaffolding, lifting tackles and ev. transportation material.
- Any supply of material and work which should be executed by us in connection with safety measures as requested by the local authorities, as safety, fire protection
- Insurance, customs duty and other taxes which may be levied in your country.
- All deliveries and services not specially mentioned in this tender.

6. Erection Conditions

Our prices includes the salary for supervision of erection, commissioning and handing over by Luwa chief erector for the following period of

3 man-weeks (TexFog Units)
3 man-weeks (Control System)

Daily allowances and transportation costs including round trip ticket are at client's charge.

It is understood that a sufficient number of local workers, skilled men, e.g. tin-smiths, mechanics, fitter, welder and the necessary number of helpers will be placed at the disposal of our supervisor.

Undue prolongation of erection due to reasons not attributable to Luwa will be charged separately.

For further terms please refer to the attached "General Terms Governing Erection Work" which also form an integral part of this tender.

Luwa Air Engineering AG
LCH-Sales



Daniel Aeschbach



Gottfried Abrell

Encl: Supply Conditions
Erection Conditions

Rates to our General Conditions of Erection

(Appendix 1) Tender no.3'004'235

ITA CONTINENTAL Lousado / Portugal

Rates	Currency	Chief Erector Supervisor	Erection-Inspector	Specialized Engineer
Daily-/Hourly rates				
- Working time during 5 weekdays or the standard weekly working time	EUR	90.--		120.--
- Travelling, transit, waiting, preparatory and winding up times	EUR	90.--		120.--
- Overtime and night work on weekdays	EUR	According	Swiss	Law
- Night overtime on weekdays, work on Sundays and	EUR	According	Swiss	Law
- Surcharge for work under difficult conditions	EUR	According	Swiss	Law
Daily Allowance per calendar day including travelling time: - Full daily allowance for accommodation	EUR	95.--		95.--
Use of motor vehicle per km - private car - company service vehicle	EUR	0.70		0.70
Costs for tools and equipment	EUR	None for	Luwa	erector
<p>Remarks: *</p> <p>**payable 14 days in advance directly to our chief erector</p> <p>Public holidays in Switzerland; January 1st and 2nd, Good Friday, Easter Sunday, Easter Monday, Ascension, Whit-Sunday, Whit-Monday, August 1st, December 25th and 26th.</p>				

Asuming: ** 6'250 Operating hours per year
 ** Energy cost in Portugal = 0.18 € / kWh
 ** Estimated average load Factor for supply air & return air fans, due to new automatic control system.
 Including humidity control through variable fan speed; automatic control of frequency inverters.

Actual Situation

	Qnty.	Current Rated Power tot. (kW)	Current Absorbed Power tot. (kW)	Factor %	Total Absorbed Power (kW)	kWh / Year	Cost / year (EUR)
Supply air Fan	4	148.0	118.4	100	118.4	740'000	133'200
Return air Fan	4	120.0	96.0	100	96.0	600'000	108'000
Water Pump	3+1	85.5	68.4	75	51.3	320'625	57'713
TOTAL		353.5	282.8		265.7	1'660'625	298'913

Situation after modification with "TexFog" and new Controls System

	Qnty.	Rated Power tot. (kW) (with frequency inverter)	Absorbed Power tot. (kW) (with frequency inverter)	Factor %	Total Absorbed Power (kW)	kWh / Year	Cost / year (EUR)
Supply air Fan	4	148.0	118.4	70	82.9	518'000	93'240
Return air Fan	4	120.0	96.0	70	67.2	420'000	75'600
Water Pump	4	12.0	9.6	85	8.2	51'000	9'180
TOTAL		280.0	224.0		158.2	989'000	178'020

ESTIMATED ENERGY COSTS SAVING PER YEAR = 120'893 €

<p>ESTIMATED PAYBACK PERIOD = $\frac{304'000.-- \text{Investment}}{120'893.-- \text{savings}}$ = 2.5 years</p>
--