

Ações para melhoria do processo produtivo de uma fábrica de MDF

*Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Equipamentos e Sistemas Mecânicos*

Autor

Cláudia Patrícia Soares Lopes

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Orientador

Doutora Cândida Maria dos Santos Pereira Malça

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, dezembro 2014

AGRADECIMENTOS

Uma tese de mestrado, apesar de ser um processo solitário, reúne os contributos de várias pessoas. Desde o início do mestrado tive o privilégio de contar com a confiança e o apoio de inúmeras pessoas sem os quais este Mestrado não teria sido possível. O trabalho descrito neste documento só foi exequível graças à contribuição de muitas pessoas que, direta ou indiretamente, me incentivaram e apoiaram nesta importante etapa.

À *Doutora Cândida Malça*, na qualidade de orientadora de Mestrado, pelo inestimável apoio e orientação. Pela dedicação, disponibilidade e incentivo que demonstrou durante a execução deste trabalho.

À *LUSO FINSA*, enquanto organização, por me ter disponibilizado os meios tecnológicos e humanos para a concretização deste trabalho.

Um especial obrigado a todas as pessoas que me responderam a questões, gratuitamente deram explicações e possibilitam viver os dias de trabalho com enorme satisfação e ‘amor à camisola’.

À *Eng.ª Sandra Lorena, Eng.º Osvaldo Gomes e Eng.º Fernando Campos* pelo auxílio técnico e preciosas orientações.

Ao *Eng.º Sérgio Filipe e Eng.º Tiago Almeida* pela oportunidade, confiança e suporte. Pela força para e durante!

Aos amigos *João Azevedo, Rui Osório e Pedro Alves* pelo apoio e encorajamento.

Ao *Hernâni Silva* pela cooperação e apoio incondicional nas minhas escolhas.

À *Mana*. Pelo exemplo.

Aos meus *pais* pela confiança, dedicação e esforço de todos estes anos. Por me transmitirem valores fundamentais como a honestidade, a perseverança e a humildade tão essenciais nas vivências pessoais e profissionais.

Bem Hajam!

RESUMO

O Mestrado em Equipamentos e Sistemas Mecânicos contempla, opcionalmente, a execução de um estágio curricular com o objetivo de aprofundar a formação do aluno em contexto de trabalho através da sua integração nas atividades de uma unidade fabril. Neste caso particular, a autora deste relatório foi integrada na equipa de manutenção e de apoio à melhoria do processo produtivo da Fábrica LUSO FINSA.

A LUSO FINSA pertence ao grupo empresarial espanhol FINSA – Financiera Maderera dedicada fundamentalmente à produção de painéis MDF. A produção de MDF é um processo complexo e repleto de enormes desafios que decorrem da elevada exigência de qualidade imposta pelos mercados e do cumprimento de parâmetros tradicionais e inovadores que caracterizam e justificam a contínua procura deste tipo de material. A resistência à compressão, à flexão ou as características ignífugas ou hidrófugas, além de, claro, as características estéticas, atribuídas pelo acréscimo de componentes que conferem valor acrescentado aos painéis, constituem fatores de exigência em todo o processo produtivo.

As exigências no fabrico deste tipo de produto colocam-se não só ao nível da qualidade da matéria-prima utilizada mas também em termos do funcionamento adequado de toda a linha de produção, revestindo-se de particular importância a manutenção de todos os equipamentos mecânicos. Neste contexto, e dadas as condições de funcionamento adversas a que operam, os equipamentos requerem frequentes e dispendiosas intervenções de manutenção. A manutenção assume, desta forma, um papel determinante na operacionalidade dos equipamentos utilizados nos processos produtivos. Não menos importante é a apresentação de soluções que contribuam para melhorar as intervenções de manutenção de modo a incrementar as condições da instalação fabril e, conseqüentemente, o processo produtivo. Estes propósitos encontram-se refletidos ao longo deste relatório.

Palavras-Chave: MDF, Processo Produtivo, Manutenção, Produção de Energia, Caldeiras

ABSTRACT

The Master in Mechanical Equipment and Systems includes, optionally, running a traineeship in order to promote and deepen the student's education in the workplace through their integration in the activities of an enterprise/factory. In this particular case, the author of this report was included in the maintenance team and support the improvement of the production process of the LUSO FINSA factory.

The LUSO FINSA factory belongs to the Spanish group FINSA - Financiera Maderera, which is mostly dedicated to the production of MDF panels. The MDF production is a complex process full of enormous challenges arising from the high demand for quality imposed by the markets and the fulfillment of traditional and innovative process parameters that characterize and justify the continued demand for this type of material. The compressive and flexural strength, the fireproofing and waterproofing characteristics and, of course, the aesthetic characteristics that are attributed by the addition of several components that increase the panels commercial value, are demand factors in the entire production process.

The requirements in the manufacture of this type of product are placed not only on the quality of the raw material used but also in terms of the proper functioning of the whole production line where the maintenance of all mechanical equipments is of major importance. In this context, and given the adverse operating conditions, equipments require frequent and costly maintenance interventions. The maintenance acquires, therefore, a key role in operation of the equipments used in production processes. No less important is the presentation of solutions that lead to the improvement of maintenance work and of the factory conditions and, consequently, the production process. These purposes are reflected in this report.

Keywords: MDF, Manufacturing Process, Maintenance, Energy Production, Boilers

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| Agradecimentos | i |
| Resumo | iii |
| Abstract..... | v |
| Índice | vii |
| Índice de Figuras..... | xi |
| Índice de Tabelas | xv |
| Simbologia | xvii |
| Abreviaturas..... | xix |
| Capítulo 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Enquadramento Geral e Objetivos do Estágio..... | 1 |
| 1.2. Plano de Trabalhos | 2 |
| 1.3. Estrutura do Relatório de Estágio | 2 |
| Capítulo 2. A LUSO FINSA E OS SEUS PRODUTOS..... | 5 |
| 2.1. A LUSO FINSA | 5 |
| 2.2. Produtos LUSO FINSA | 6 |
| 2.2.1. Painel Sem Revestimento..... | 6 |
| 2.2.2. Superpan | 8 |
| 2.2.3. Aglomerado de Madeira..... | 9 |
| 2.2.4. Madeira | 10 |
| 2.2.5. Painel Revestido | 10 |
| 2.2.6. Produtos Químicos | 12 |
| Capítulo 3. O PROCESSO PRODUTIVO da LUSO FINSA..... | 15 |
| 3.1. Introdução | 15 |
| 3.2. Gestão de Matéria-Prima..... | 15 |
| 3.3. Processo Produtivo MDF..... | 16 |
| 3.3.1. Descasque da Madeira | 17 |
| 3.3.1. Execução de Estilha | 19 |
| 3.3.2. Crivagem e Lavagem da estilha | 20 |
| 3.3.3. Cozimento da estilha | 21 |

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| 3.3.4. | Desfibramento | 23 |
| 3.3.5. | Injeção de Cola..... | 25 |
| 3.3.6. | Secagem..... | 27 |
| 3.3.7. | Formação | 30 |
| 3.3.8. | Prensagem | 32 |
| 3.3.9. | Arrefecimento de Painel em Volteador..... | 34 |
| 3.3.10. | Calibração | 35 |
| 3.3.11. | Armazenamento | 36 |
| 3.3.12. | Lixagem/Polimento..... | 37 |
| 3.3.13. | Corte e Embalagem | 38 |
| 3.4. | Geração de Energia Térmica | 39 |
| 3.4.1. | Caldeira I | 39 |
| Capítulo 4. | TRABALHOS DESENVOLVIDOS..... | 53 |
| 4.1. | Alteração da Serpentina na Caldeira I | 53 |
| 4.1.1. | Introdução | 53 |
| 4.1.2. | Enquadramento Teórico..... | 53 |
| 4.1.3. | Preparação de Trabalhos | 54 |
| 4.1.4. | Atividades envolvidas na substituição da serpentina..... | 55 |
| 4.1.5. | Conclusão..... | 67 |
| 4.2. | Alteração dos Parâmetros de funcionamento da Caldeira I..... | 68 |
| 4.3. | Alterações na Rede de Óleo Térmico | 74 |
| 4.3.1. | Introdução | 74 |
| 4.3.2. | Enquadramento Técnico..... | 74 |
| 4.3.3. | Realização de trabalhos..... | 79 |
| 4.3.4. | Avaliação Final | 80 |
| 4.4. | Execução de Ensaios a válvulas de segurança de Óleo Térmico e Vapor | 81 |
| 4.4.1. | Introdução | 81 |
| 4.4.2. | Enquadramento Técnico..... | 81 |
| 4.4.3. | Descrição do Método de Ensaio | 81 |
| 4.4.4. | Avaliação Final | 82 |
| 4.5. | Execução da Serpentina do Arrefecedor da Caldeira..... | 84 |
| 4.5.1. | Objetivo | 84 |
| 4.5.2. | Enquadramento Técnico..... | 84 |
| 4.5.3. | Preparação de Trabalhos | 84 |
| 4.5.4. | Descrição de Atividades Desenvolvidas..... | 85 |
| 4.5.5. | Avaliação Final | 85 |

| | |
|--|------------|
| 4.6. Inspeções de Equipamentos..... | 86 |
| 4.6.1. Caldeira I..... | 86 |
| 4.6.2. Caldeira III..... | 88 |
| 4.7. Alteração de Transportador Redler na Caída de Cinzas da Caldeira..... | 91 |
| 4.7.1. Introdução | 91 |
| 4.7.2. Enquadramento Técnico | 91 |
| 4.7.3. Atividades Desenvolvidas..... | 92 |
| 4.7.4. Avaliação Final..... | 93 |
| 4.8. Alteração da Alimentação de Siriono 6330 ao Processo de MDF..... | 94 |
| 4.8.1. Introdução | 94 |
| 4.8.2. Enquadramento Técnico | 94 |
| 4.8.3. Atividades Desenvolvidas..... | 95 |
| 4.8.4. Avaliação Final..... | 96 |
| 4.9. Execução de Serpentina do Permutador do Sistema de Condensados da Prensa ... | 97 |
| 4.9.1. Introdução | 97 |
| 4.9.2. Enquadramento Técnico | 97 |
| 4.9.3. Preparação de Trabalhos..... | 97 |
| 4.9.4. Descrição de Atividades Desenvolvidas | 98 |
| 4.9.5. Avaliação final..... | 99 |
| Capítulo 5. Conclusões e desenvolvimentos futuros..... | 100 |
| 5.1. Conclusões | 100 |
| 5.2. Trabalhos Futuros..... | 101 |
| Referencias Bibliográficas | 104 |
| APÊNDICE | 106 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1.1 - Distribuição Geográfica Finsa (Luso Finsa 2011) | 5 |
| Figura 2.2.1 - Placa de MDF (Finsa,2014) | 7 |
| Figura 2.2.2 – SuperPan (Finsa,2014)..... | 7 |
| Figura 2.2.3 - Aglomerado de Madeira (Finsa,2014)..... | 7 |
| Figura 2.2.4 - Solo Exterior (Finsa,2014)..... | 7 |
| Figura 2.2.5 - Painei MDF Compac Revestido a Folha de Melamina (Finsa,2014)..... | 7 |
| Figura 2.2.6 - Painei Folheado (Finsa,2014)..... | 7 |
| Figura 2.2.7 - Painei Laminado com Suporte Compac (Finsa,2014)..... | 7 |
| Figura 2.2.8 - Exemplo de Produto Acabado (Finsa,2014)..... | 7 |
| Figura 2.2.9 - Exemplo de Aplicação de um Pavimento Laminado (Finsa,2014) | 7 |
| Figura 2.2.10 - Vendas por Sector na Área Química (Finsa,2014)..... | 12 |
| Figura 3.3.1 – Mesa de Alimentação | 17 |
| Figura 3.3.2 - Tambor de Descasque | 17 |
| Figura 3.3.3 - Diagrama do Processo Produtivo (Luso Finsa, 1998) | 18 |
| Figura 3.3.4 - Descascador do Tipo Tambor (Batista, 2014)..... | 19 |
| Figura 3.3.5 - Estilha..... | 20 |
| Figura 3.3.6 – Estilhadora (Pallmann, 2014) | 20 |
| Figura 3.3.7 - Parafuso Cónico (Batista, 2014)..... | 22 |
| Figura 3.3.8 - Sistema de Preparação de Fibra – Desfibramento (Batista, 2014) | 23 |
| Figura 3.3.9 - Desfibrador de Disco Duplo (Barbosa, 2014)..... | 24 |
| Figura 3.3.10 - Desfibrador Andritz (Barbosa, 2014)..... | 24 |
| Figura 3.3.11 - Discos do Desfibrador | 24 |
| Figura 3.3.12 -Visão ampliada de fibra indesejada (esquerda) e ideal (direita)..... | 25 |
| Figura 3.3.13 - Sistema de injeção de resina na blow-line (Batista,2014)..... | 27 |
| Figura 3.3.14 - Secadores..... | 28 |
| Figura 3.3.15 - Secador da Camada Interna 1ª Etapa..... | 29 |
| Figura 3.3.16 - Secador de Camada Interna 2ª Etapa..... | 29 |
| Figura 3.3.17 - Secador de Camada Externa..... | 29 |
| Figura 3.3.18 - Bateria de óleo para aquecimento do ar do secador da camada externa | 29 |
| Figura 3.3.19 - Linha de Formação..... | 31 |
| Figura 3.3.20 - Pré-Prensa (Batista,2014)..... | 32 |
| Figura 3.3.21 - Prensa de MDF..... | 33 |
| Figura 3.3.22 - Bomba de Óleo para a prensa MDF..... | 34 |
| Figura 3.3.23 – Volteador (Bom,2008)..... | 35 |
| Figura 3.3.24 – Calibradora (IMEAS,1987) | 35 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.3.25 - Orientação de Armazenamento (Bom, 2008) | 37 |
| Figura 3.3.26 - Calibradora-Polidora (IMEAS,1987) | 37 |
| Figura 3.3.27 - Linha de Corte | 38 |
| Figura 3.3.28 - Linha de Embalagem | 38 |
| Figura 3.4.1 - Grelha Kablitz (Referenciar) (Sugimat, 2000) | 40 |
| Figura 3.4.2 - Recolha de Escórias das Grelhas | 42 |
| Figura 3.4.3 - Zonas de Permuta Térmica da Caldeira | 43 |
| Figura 3.4.4 - Esquema das Zonas de Permuta Térmica (Luso Finsa, 2005) | 44 |
| Figura 3.4.5 - Circulação dos gases através das Serpentinhas da Câmara de Convecção | 44 |
| Figura 3.4.6 - Bombas de Circulação de Óleo | 46 |
| Figura 3.4.7 - Circuito de Óleo Térmico da Caldeira (Luso Finsa, 2005) | 46 |
| Figura 3.4.8 - Sistema de Arrefecimento de Emergência | 47 |
| Figura 3.4.9 - Ventilador de Ar Primário | 48 |
| Figura 3.4.10 - Ventilador de Ar Secundário | 48 |
| Figura 3.4.11 - Ventilador de Tiro nº1 | 48 |
| Figura 3.4.12 - Ventilador de Tiro nº2 | 48 |
| Figura 3.4.13 - Sistema de Câmaras Estanques de Dupla Comporta | 51 |
| Figura 4.1.1 - Corte da Câmara de Combustão | 54 |
| Figura 4.1.2 - Desmontagem das Ligações de Óleo Térmico | 56 |
| Figura 4.1.3 - Desmontagem e Marcação das Ligações de Óleo Térmico | 56 |
| Figura 4.1.4 - Desmontagem do Coletor | 57 |
| Figura 4.1.5 - Tamponar Ligações | 57 |
| Figura 4.1.6 - Isolamento das Ligações de Óleo Térmico | 57 |
| Figura 4.1.7 - Excerto do desenho de Montagem Krummer (Luso Finsa, 2014) | 57 |
| Figura 4.1.8 - Remoção de Isolamento do Krummer | 58 |
| Figura 4.1.9 - Junta de Gases | 58 |
| Figura 4.1.10 - Estabilização da Grua Principal | 59 |
| Figura 4.1.11 - Posicionamento das Gruas e Pontos de Amarração | 59 |
| Figura 4.1.12 - Descolagem dos Apoios | 59 |
| Figura 4.1.13 - Contacto com Material Refratário | 59 |
| Figura 4.1.14 - Suspensão do Krummer | 59 |
| Figura 4.1.15 -Serpentina de Radiação após Remoção do Krummer | 60 |
| Figura 4.1.16 - Localização da Flange da Plataforma | 61 |
| Figura 4.1.17 - Posicionamento dos Olhais de Amarração | 61 |
| Figura 4.1.18 - Aplicação de UPN120 | 61 |
| Figura 4.1.19 - Pontos de Ancoragem e Flange de Conjunto | 61 |
| Figura 4.1.20 - Movimentação do Casing+Serpentina | 61 |
| Figura 4.1.21 - Movimentação do Casing+Serpentina | 61 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.1.22 - Trabalhos de Limpeza e Inspeção Krummer..... | 62 |
| Figura 4.1.23 - Casing a Recuperar..... | 62 |
| Figura 4.1.24 - Flange de Aperto do Casing..... | 62 |
| Figura 4.1.25 - Soldaduras das Tubagens de Entrada de Óleo (Inferiores)..... | 63 |
| Figura 4.1.26 - Soldaduras das Tubagens de Saída de Óleo (Superiores)..... | 63 |
| Figura 4.1.27 - Alteração de Posição da Serpentina..... | 64 |
| Figura 4.1.28 - Posição de Montagem..... | 64 |
| Figura 4.1.29 - Rasgos para Passagem da Tubagem..... | 64 |
| Figura 4.1.30 - Montagem da Serpentina..... | 65 |
| Figura 4.1.31 - Montagem da Serpentina..... | 65 |
| Figura 4.1.32 - Montagem da Plataforma de Topo..... | 65 |
| Figura 4.1.33 - Montagem do Krummer..... | 66 |
| Figura 4.1.34 - Reparação de Material Refratário..... | 66 |
| Figura 4.1.35 - Isolamento Interior com Manta Cerâmica..... | 66 |
| Figura 4.1.36 - Isolamento da Serpentina..... | 66 |
| Figura 4.1.37 - Isolamento da Serpentina..... | 67 |
| Figura 4.2.1 - Diagrama de Funcionamento da Caldeira Ativo (Luso Finsa, 2014)..... | 71 |
| Figura 4.2.2 - Diagrama de Funcionamento Proposto (Luso Finsa, 2014)..... | 71 |
| Figura 4.3.1 – Excerto da Solução Construtiva do Coletor de retorno..... | 76 |
| Figura 4.3.2 - Excerto do Ramal de Óleo Térmico (Luso Finsa, 2014)..... | 76 |
| Figura 4.5.1 - Tanque de Arrefecimento de Óleo..... | 84 |
| Figura 4.5.2 - Serpentina de Arrefecimento..... | 84 |
| Figura 4.6.1 - Representação Esquemática da Caldeira I..... | 86 |
| Figura 4.6.2 - Parede Frontal antes da Respetiva Beneficiação..... | 87 |
| Figura 4.6.3 - Parede Frontal Após Beneficiação..... | 87 |
| Figura 4.6.4 - Vista Geral da Secção Superior da Serpentina..... | 87 |
| Figura 4.6.5 - Serpentina Interior..... | 87 |
| Figura 4.6.6 - Fissura Detetada na emenda do tubo nº67 a aproximadamente 90°..... | 88 |
| Figura 4.6.7 – Pormenor da Figura 4.6.6 (ISQ, 2014)..... | 88 |
| Figura 4.6.8 - Vista Geral da Condição Interior da Câmara de Combustão (ISQ, 2014)..... | 90 |
| Figura 4.6.9 - Condição do Refratário da Parede Lateral Direita (ISQ, 2014)..... | 90 |
| Figura 4.6.10 - Secção Superior da Serpentina Interior (ISQ, 2014)..... | 90 |
| Figura 4.6.11 - Condições Superficiais dos Tubos no Interior da Serpentina..... | 90 |
| Figura 4.6.12 - Condição dos Tubos da Serpentina Exterior..... | 90 |
| Figura 4.6.13 - Desgaste de um dos Espaçadores entre a Serpentina Interior/Exterior..... | 90 |
| Figura 4.7.1 - Proposta de Alteração do Transportador..... | 92 |
| Figura 4.7.2 - Transportador Antes da Intervenção..... | 93 |
| Figura 4.7.3 - Transportador Após a Intervenção..... | 93 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.8.1 - Layout da Instalação de Siriono | 95 |
| Figura 4.8.2 - Esquema de Corte..... | 95 |
| Figura 4.8.3 - Instalação antes da Intervenção | 96 |
| Figura 4.8.4 - Instalação Depois da Intervenção | 96 |
| Figura 4.9.1 - Serpentina do Permutador de Condensados | 98 |
| Figura 4.9.2 - Serpentina Nova | 98 |
| Figura 4.9.3 - Tampa do permutador de Condensados..... | 99 |
| Figura 4.9.4 - Tampa Reparada | 99 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 2.2.1 - Produtos Finsa..... | 7 |
| Tabela 3.4.1 - Produtores de Energia Térmica..... | 39 |
| Tabela 4.1.1 - Tabela de Dados Técnicos da Caldeira I..... | 54 |
| Tabela 4.2.1 - Características Técnicas da Caldeira I..... | 69 |
| Tabela 4.2.2 - Balanço de Energia e Massa (Luso Finsa, 2014)..... | 72 |
| Tabela 4.2.3 - Tabela de Parâmetros de Combustão (Luso Finsa, 2014)..... | 73 |
| Tabela 4.3.1 - Resumo de Parâmetros por Troços com Salto Térmico de 20°C..... | 77 |
| Tabela 4.3.2 - Resumo de Parâmetros por Troços com Salto Térmico de 25°C..... | 77 |
| Tabela 4.3.3 - Nova instalação para um Salto térmico de 25 °C (Mesmas Tubagens)..... | 78 |
| Tabela 4.3.4 -Consumos na Zona MDF..... | 78 |

SIMBOLOGIA

| | |
|-----------------------|------------------------------|
| % | Porcentagem |
| °C | Graus Centígrados |
| ½’’ | Meia Polegada |
| cm ² | Centímetros quadrados |
| Gcal/h | Gigo calorias por hora |
| Grãos/mm ² | Grãos por milímetro quadrado |
| h | Horas |
| Kcal/h | Quilocalorias por hora |
| Kg | Quilograma |
| Kg/h | Quilograma por hora |
| kg/m ³ | Quilograma por metro Cúbico |
| Kgf | Quilogramas força |
| kW | Kilowatt |
| l | Litro |
| m | Metro |
| m/min | Metro por minuto |
| m ² | Metro quadrado |
| m ³ | Metro cúbico |
| m ³ /dia | Metros cúbicos por dia |
| mbar | Milésimos de bar |
| min | Minutos |
| Nm ³ /h | Normal Metro Cúbico por Hora |
| Ø | Diâmetro |
| s | Segundos |
| t/h | Tonelada por hora |
| V | Velocidade |
| m/s | Metros por segundo |

ABREVIATURAS

| | |
|--------|-----------------------------------|
| AISI | American Iron and Steel Institute |
| Aprox. | Aproximadamente |
| bs | Base seca |
| BS | British Standards |
| EN | European Standards |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| DN | Diâmetro Nominal |
| E.G. | Exemplo |
| ESP | Equipamentos sob Pressão |
| I&D | Investigação e Desenvolvimento |
| ISQ | Instituto Soldadura e Qualidade |
| MÁX. | Máximo |
| MDF | Medium-Density Fiberboard |
| PID | Proporcional Integral Derivativo |
| PLC | Controlador Lógico Programável |
| PVC | Policloreto de Vinilo |
| REF. | Referência |
| Sch | Schedule |

Capítulo 1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento Geral e Objetivos do Estágio

As exigências no fabrico de um qualquer produto colocam-se não só ao nível da qualidade da matéria-prima utilizada mas também no que respeita ao adequado funcionamento de toda a linha produtiva tornando-se fundamental a manutenção de todos os equipamentos mecânicos. (Dias,2010)

O conceito de manutenção impõe-se diariamente no meio industrial. Com a sua presença traça-se um caminho no alcance de níveis máximos de produção. O esforço nesse sentido é diário tal como as necessidades de melhorias do processo produtivo conseguidas com recurso a sistemáticas e dispendiosas intervenções de manutenção ou mesmo pequenas alterações que farão a diferença no cálculo mensal do tempo de disponibilidade de uma instalação (Dias,2010)

O Mestrado em Equipamentos e Sistemas Mecânicos, ministrado pelo Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, consiste num curso de especialização cujo segundo e último ano integra uma única unidade curricular que é totalmente destinada à execução de um projeto ou à realização de um estágio de natureza profissional com apresentação de um relatório final. No âmbito desta unidade curricular, foi proposto à empresa LUSO FINSA, empresa do sector de transformação de madeira, a realização de um estágio que, numa fase posterior com a concordância do Conselho Técnico-Científico, resultou num acordo entre ambas as instituições.

Os principais objetivos deste estágio curricular assentam na consolidação da aprendizagem efetuada durante o percurso académico e na exposição direta da autora deste documento às realidades do contexto de trabalho. O cumprimento das rotinas diárias num ambiente fabril permite, além da aquisição de conhecimentos práticos, um contato em situação real com diversos tipos de equipamentos mecânicos e diferentes procedimentos utilizados na sua manutenção, possibilitando o desenvolvimento de competências e desafiando o espírito crítico. Com estes propósitos foi, no seio da empresa LUSO FINSA, estabelecido um conjunto de objetivos distribuídos pelas várias áreas de atividade da empresa. A participação em diversos projetos a serem implementados na empresa, a atribuição de responsabilidades de acompanhamento, de trabalhos de desenvolvimento, de soluções de melhoria do processo produtivo ao nível de sistemas mecânicos e trabalhos de manutenção foram de extrema importância na aprendizagem realizada e competências adquiridas.

1.2. Plano de Trabalhos

De acordo com a disponibilidade e necessidades da empresa acolhedora, foi proposto que as atividades a desenvolver pela aluna, supondo um volume total de trabalho de 1560 horas, compreendessem as seguintes fases:

- Fase 1: Reconhecimento dos processos produtivos da LUSO FINSA;
- Fase 2: Análise do funcionamento das Caldeiras;
- Fase 3: Estudo da Implantação do novo Sistema de Limpeza e Remoção de Biomassa;
- Fase 4: Elaboração do Relatório Final de Estágio.

O estágio teve início com o acolhimento na empresa ao qual se seguiu um estudo exaustivo do processo produtivo de modo a tornar efetivos os objetivos propostos. Sendo as necessidades energéticas da LUSO FINSA evidentes, as atividades deste estágio foram primeiramente direcionadas para o estudo aprofundado do modo de funcionamento das caldeiras produtoras de energia. No desenvolvimento do estágio, e para responder às nem sempre lineares condições do meio industrial, existiu a necessidade de alteração ao plano de trabalhos inicialmente proposto. O novo plano deu lugar à realização de inúmeros trabalhos de manutenção e alterações mecânicas nas diferentes áreas de produção e que se encontram descritas ao longo deste relatório.

1.3. Estrutura do Relatório de Estágio

O presente documento encontra-se dividido em cinco capítulos subdivididos em diferentes secções de acordo com os diversos temas abordados. No primeiro capítulo, a introdução, é feita uma abordagem geral do âmbito na realização do estágio curricular do Mestrado em Equipamentos e Sistemas Mecânicos. Seguidamente, no sentido de melhor compreender a organização acolhedora, é apresentada uma breve descrição da LUSO FINSA bem como dos produtos por ela disponibilizados no mercado.

A primeira fase deste estágio, a análise e o reconhecimento do processo produtivo, é sucintamente explicado no capítulo três. O cumprimento desta etapa foi fundamental para a compreensão e execução das tarefas atribuídas no decurso do estágio. O capítulo três, além da descrição do processo, contempla ainda a descrição pormenorizada do funcionamento de uma das caldeiras.

Nos subcapítulos do quarto capítulo, descrição dos trabalhos desenvolvidos, são descritas algumas das intervenções efetuadas apresentando-se o seu objetivo, a solução ou soluções disponibilizadas bem como uma breve explicação da metodologia levada a cabo para o cumprimento do objetivo primordial.

Por último, o capítulo cinco, é dedicado às principais ilações retiradas da concretização do estágio. Adicionalmente, são colocadas breves notas para melhorias e propostas de intervenções futuras.

Importa referir, nesta fase, que a descrição dos equipamentos, bem como a descrição de todo o processo de fabrico não são de conhecimento técnico geral, existindo alguma confidencialidade industrial relativamente a alguns assuntos devido à complexidade de algumas fases e/ou equipamentos a sua abordagem é feita com algumas reservas. Como tal, o processo produtivo foi aqui descrito apenas com a profundidade necessária para a compreensão deste trabalho.

Capítulo 2. A LUSO FINSA E OS SEUS PRODUTOS

2.1. A LUSO FINSA

Pioneira no fabrico de painéis de aglomerado e de MDF (Medium-Density Fiberboard) na Península Ibérica e, atualmente, uma referência mundial no sector a *FINSA S.A., Financiera Maderera*, iniciou a sua atividade no início do século XX com uma pequena serração em Portanxil (Corunha). Mantém, desde 1931, um crescimento sustentável baseado no compromisso e fidelidade com princípios e valores como o respeito mútuo e o esforço eficaz.

As vendas anuais de mais de 700 milhões de euros justificam um firme compromisso com a inovação e com uma política ambiental com base no desenvolvimento sustentável. A rede logística interna e as soluções de madeira adaptadas as necessidades reais do mercado fazem do cliente um foco do empreendedorismo.

A existência de um serviço de transporte marítimo na rota dos principais portos do mundo, conforme ilustra a Figura 2.1.1, garante um alcance internacional fruto do valioso trabalho das delegações comerciais presentes em 9 países, bem como um departamento de exportação experiente que trabalha atualmente com clientes em mais de 80 países.

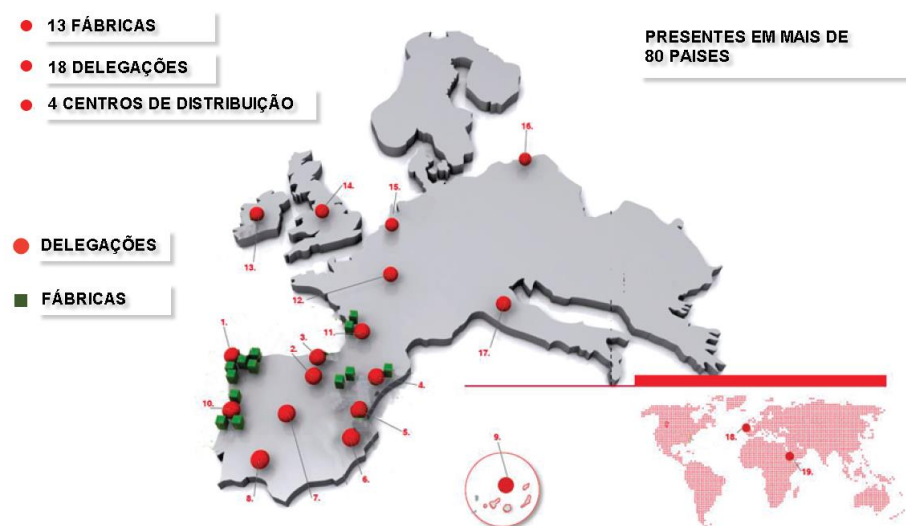


Figura 2.1.1 - Distribuição Geográfica Finsa (Luso Finsa 2011)

Atualmente, com 13 fábricas em laboração, a FINSA coloca no mercado produtos de excelência no que respeita às diversas necessidades de clientes. Nos últimos anos, a política de investimento passou pela internacionalização e pela incrementação da capacidade de produção. Tal, reflete-se sobretudo no enfoque nos produtos de alto valor acrescentado dentro da cadeia de transformação da madeira técnica, e.g., painéis de aglomerado e MDF revestidos de

melamina, folha de madeira, folheado, molduras, módulos de cozinha, componentes para móveis, solos laminados, etc.

2.2. Produtos LUSO FINSA

A FINSA disponibiliza no mercado painel sem revestimento, revestido, produtos transformados, pavimentos laminados e produtos químicos. De entre todas as gamas, o painel sem revestimento é tido como a base produtiva no que respeita ao fabrico de painéis de valor acrescentado. O aglomerado, o MDF, o Superpan e por fim madeira simples são classificados na gama de produção como sendo painéis sem revestimento.

Em Nelas, distrito de Viseu, a LUSO FINSA produz atualmente cerca de 700 m³/dia de painéis MDF. O mesmo produto é produzido noutras unidades industriais em Espanha e França, como a Finsa Padrón na Corunha, Finsa Orember em Ourense, Fibranor em Lugo ou Finsa France em Morcenx. Na Tabela 2.2.1 são apresentados as imagens dos produtos mais relevantes, efetuando-se a sua descrição nos seguintes subcapítulos.

2.2.1. Painel Sem Revestimento

O MDF, representado na Figura 2.2.1, está conotado como sendo um produto relativamente novo, pese embora a sua produção tenha tido início na década de 60 nos Estados Unidos. Este produto resulta da junção entre fibras de madeira, aglutinadas e compactadas entre si, e uma resina sintética que através de pressão e calor transmitidos em prensagem dão origem à placa de MDF. Esta placa é homogénea, o que lhe confere uma excelente estabilidade dimensional, possui uma superfície uniforme, lisa, de alta densidade, com possibilidade de execução em diferentes dimensões e gama de espessuras variável entre os 2.5 e os 70 mm.

Os painéis de fibra de média densidade são conhecidos pela sua versatilidade no que respeita à sua utilização na construção de móveis e componentes, decoração, construção, indústria gráfica, caixas de som, publicidade, stands ou maquetes.

A utilização de placas de MDF permite a obtenção de produtos de alta densidade, tal como descrito pela Tabela 1 do Apêndice, perfeitamente planos e calibrados, apresentando simultaneamente um bom comportamento à torção e à flexão bem como uma grande facilidade de agrafamento. As placas de MDF facilmente se podem, colar, curvar, imprimir, folhear e revestir com PVC ou papéis decorativos usando tecnologias simples. Adicionalmente, apresentam uma excelente relação resistência/peso o que o converte o MDF num candidato ideal para uma grande quantidade de aplicações.

Tabela 2.2.1 - Produtos Finsa

Figura 2.2.1 - Placa de MDF
(Finsa,2014)Figura 2.2.2 – SuperPan
(Finsa,2014)

Figura 2.2.3 - Aglomerado de Madeira (Finsa,2014)

Figura 2.2.4 - Solo Exterior
(Finsa,2014)

Figura 2.2.5 - Painel MDF Compac

Revestido a Folha de Melamina
(Finsa,2014)Figura 2.2.6 - Painel Folheado
(Finsa,2014)

Figura 2.2.7 - Painel Laminado com Suporte Compac (Finsa,2014)



Figura 2.2.8 - Exemplo de Produto Acabado (Finsa,2014)



Figura 2.2.9 - Exemplo de Aplicação de um Pavimento Laminado (Finsa,2014)

Tal como no caso de painéis aglomerados ignífugos, também os painéis MDF são passíveis de serem produzidos com baixo grau de inflamabilidade apresentando um baixo teor em formaldeído. Os painéis ignífugos, cujas propriedades são descritas na Tabela 2 do Apêndice A, estão especialmente concebidos para aplicações em que seja necessária uma melhor reação ao fogo. Apresentam, simultaneamente, a característica de baixa inchaço. Também neste caso, devido à presença de sais ignífugos, é fundamental existir um ajuste do binómio quantidade de resina vs. processo a utilizar no seu revestimento, folheado ou laminado. No que respeita às suas capacidades hidrófugas, com a alteração do processo de adição química, é possível o fabrico de painéis de fibras de madeira para utilização em ambiente húmido conseguindo da mesma forma percentagens baixas no que respeita a teores de formaldeído. O MDF hidrófugo, cujas características se encontram resumidas na Tabela 2 do Apêndice,

apresenta uma maior estabilidade dimensional, baixa inchação e absorção, assim como uma excelente qualidade de mecanizado. Ao serem painéis de alta resistência aos efeitos da humidade podem-se utilizar em condições muito mais rigorosas que um MDF standard. No entanto, em ambientes onde se produza um contacto intermitente com a água, como cozinhas, casas de banho e algumas aplicações de construção deve-se tomar uma especial precaução insistindo no processo de selagem/acabamento.

Nas diferentes vertentes de MDF, o Compac é um produto de referência. Ideal para aplicações de interior que requerem uma exposição a condições de humidade elevada e persistente no tempo. Apresenta uma densidade superior a 1000 kg/m^3 . Possui excelentes propriedades físico-mecânicas, constantes da Tabela 4 do Apêndice, tais como a resistência à tração e à flexão, módulo de elasticidade e resistência ao impacto. A sua especificidade faz deste um produto único de alta qualidade, decorativo, fácil de mecanizar, cortar e perfurar, que além do mais não necessita de posteriores tratamentos. De baixo teor de formaldeído permite o revestimento com diversos materiais, e.g. melamina, laminado de alta pressão, folha de madeira natural. As suas principais aplicações centram-se, sobretudo, em ambientes interiores como é o caso de mobiliário desportivo, cacifos, bancos, separação de WC ou casas de banho públicas suspensas, portas, revestimentos de paredes, laboratórios, hotéis, equipamento de escritório.

2.2.2. Superpan

No norte do país labora a Luso Finsa Porto responsável pela produção de painéis Superpan, ilustrado na Figura 2.2.2, sendo esta uma nova geração de madeira técnica obtida através de um processo de prensagem contínua. É um produto patenteado e fabricado exclusivamente pela Finsa.

O Superpan é formado por camadas externas em fibra e o seu interior por partículas de madeira. Combinando algumas das principais vantagens dos painéis de MDF e do aglomerado, possui boas propriedades físicas e mecânicas apresentando um elevado desempenho num vasto leque de aplicações estruturais. A sua composição especial, Tabela 5 do Apêndice, permite combinar num só produto as propriedades técnicas de um painel de fibras a rentabilidade de um painel de aglomerado oferecendo tal como o MDF uma vasta gama de espessuras entre os 8 e os 40 mm.

A possibilidade de posterior revestimento a melamina proporciona aos seus utilizadores o acesso a cortes perfeitos, reduzindo notavelmente o esmilhamento superficial e aumentando a vida útil das ferramentas. Devido à sua superfície lisa e compacta em fibra de madeira, o SuperPan é um produto adequado a uma grande variedade de revestimentos decorativos: lacagem, pintura, impressão, termolaminado, ou mesmo a impressão digital. Em suma, o

SuperPan é um painel extremamente versátil o que o torna indicado para diversas aplicações em ambiente seco, como mobiliário em geral, tampos, portas, e outros componentes de mobiliário de cozinha, portas de interior ou peças e componentes para decoração.

2.2.3. Aglomerado de Madeira

Relativamente ao aglomerado de madeira, ilustrado na Figura 2.2.3, ele é atualmente fabricado na fábrica mãe em Santiago de Compostela, Finsa Santiago, e em Finsa Cella. O aglomerado é um painel de partículas de madeira com baixo teor em formaldeído¹, possui uma superfície lisa e homogénea e responde de forma bastante positiva a transformações posteriores sendo capaz de suportar qualquer tipo de revestimento decorativo. As suas aplicações direcionam-se sobretudo para aplicações em interiores e em ambientes secos. Dependendo do tipo de aplicação, o aglomerado poderá ser fabricado com vista a obtenção de placas em que se pretende uma diminuição considerável de peso e em que a resistência mecânica não seja um requisito. Um exemplo da vasta aplicação deste produto é o fabrico de núcleos de portas planas. Por outro lado, a alteração do processo de fabrico, permite direcionar um painel aglomerado para utilizações em que se pretende uma melhor resistência à flexão.

De entre os diversos produtos de aglomerado, tomam particular relevo os produtos ignífugos e hidrófogos. Num painel de aglomerado ignífugo as partículas de madeira de aglomerado apresentam-se com baixo grau de inflamabilidade. A existência de sais ignífugos obriga ao ajuste de resina/processo a utilizar no seu revestimento. A aplicabilidade deste produto, surge na construção em tabiques, stands de feiras, tetos, portas, biombo usando-se frequentemente em receções de hotéis, escritórios, ou edifícios públicos, como bibliotecas, escolas, tribunais, hospitais ou cinemas. No caso particular de um painel aglomerado hidrófugo, a sua constituição é feita à base de partículas de madeira para uso em ambiente húmido. Apresenta assim uma resistência à deterioração pelo efeito da humidade acrescida em caso de exposições descontínuas.

Relativamente às aplicações, é um produto específico para usos não estruturais em ambiente húmido sendo que as suas utilizações habituais são em mobiliário de cozinha e casas de banho ou de autocaravanas.

¹ O formaldeído é um gás produzido a partir do metanol. Utilizado em resinas sintéticas, fenólicas, uréicas e melamínicas nas indústrias de madeiras, papel e celulose; em abrasivos, plásticos, esmaltes sintéticos, tintas e vernizes; na indústria têxtil e de fundição; em adesivos ou isolantes elétricos.

2.2.4. Madeira

De entre os produtos sem revestimento a madeira tratada assume grande importância, porém em termos de processo de transformação estrutural é a que menos se destaca. Na gama de produtos de madeira podem destacar-se as travessas de madeira, como ilustra a Figura 2.2.4, obtidas através de um processo de serração, secagem e autoclave. Conhecidas no mercado como ecológicas, obtêm-se por corte do tronco do pinheiro sendo submetidas a um processo de secagem e posteriormente tratamento em autoclave que lhes confere durabilidade e um grande atrativo estético. Servem múltiplas aplicações e.g. jardins, casas de campo, chaminés, parques naturais ou passeios.

2.2.5. Painel Revestido

O aglomerado, o MDF e o Superpan designam-se, comercialmente, como produtos de valor acrescentado uma vez que são suscetíveis de receber revestimento. Por produtos de valor acrescentado entende-se aqueles que possuem como base um dos produtos acima referidos podendo ser, posteriormente, revestidos com folha de melamina, os melaminizados, os impressos, os folheados ou os laminados.

Melaminizados

Um produto de valor acrescentado melaminizado consiste num painel de fibra de madeira revestido com papel decorativo impregnado com resinas melamínicas, e.g. o Compac ilustrado na Figura 2.2.5, que oferece um bom comportamento em aplicações de interiores como mobiliário de balneários dado que está exposto a condições de humidade muito elevada e persistente no tempo. Por outro lado, um painel revestido com melamina, sendo o seu suporte um painel MDF resistente à humidade revestido com papel decorativo impregnado com resinas melamínicas constitui um painel revestido a melamina hidrófugo.

O suporte constitui a natureza fundamental do painel como resposta às exigências da aplicação, porém a impregnação com folhas de melamina acrescenta valor e diversifica o produto. A vertente decorativa destes produtos reflete-se na sua aplicação sendo o fabrico de mobiliário desportivo, armários, bancos, separação de WC ou casas de banho públicas suspensas, portas, revestimentos de paredes, laboratórios, hotéis e equipamentos de escritório.

Impressos

A incrementação de valor a painéis pode conseguir-se também, tal como no caso dos produtos melaminizados, com a existência de determinado suporte que responda às exigências

das aplicações e posteriormente com a aplicação de papel impresso. Um exemplo disso pode ser um painel suporte MDF com uma espessura até 12 mm impresso mediante a aplicação com rolo de camadas de tinta de base aquosa lixado com lixa de grão fino. O tipo de pintura utilizado torna-o compatível com a maioria das tintas proporcionando uma superfície polida ideal como suporte para tratamentos posteriores com tinta aplicada com rolo, cortina ou pistola.

Folheados

A gama de produtos folheados como ilustrado em Figura 2.2.6 é apropriada para a indústria do móvel, fabrico de portas, decoração e design de interior. As diferentes espécies de madeira oferecem uma inesgotável riqueza de cores, estruturas e imagens que com o remate com tintas, vernizes e ceras permitindo infinitas possibilidades e acabamentos mantendo sempre todo o calor e encanto da madeira maciça.

Laminados

O painel laminado como mostra a Figura 2.2.7 é um painel cujo suporte poderá ser SuperPan, Aglomerado ou MDF revestidos com laminado de alta ou média pressão a uma ou duas faces. Estes painéis são indicados para aplicações em mobiliário, portas ou decoração.

Outros Produtos Transformados

A LUSO FINSA não se dedica apenas à transformação de madeira também fornece produtos acabados, fabrica painéis como é visível na Figura 2.2.8. Existe toda uma gama de produtos fabricados a partir dos suportes apresentados anteriormente a que se junta a inovação estética exigida pelo mercado sempre em constante mudança. De entre os produtos transformados produzidos destacam-se os módulos de cozinha em kit completo. Consiste em um módulo de cozinha, porta de cozinha ou gavetas segundo referência, ferragens para a sua montagem e acessórios como puxadores e dobradiças em cada caso. Os módulos altos incorporam os ganchos e os baixos pés para a sua instalação. O leque de opções diversifica com a possibilidade de acabamento colorido de acordo com a exigência do cliente.

A execução de pavimentos constitui outra vertente dos produtos acabados LUSO FINSA. Conforme ilustra a

Figura 2.2.9, as gamas de pavimentos laminados com formatos de régua produzidos possuem uma elegância indiscutível. O aspeto primordial conjugado com uma textura mate e um biselado longitudinal consegue-se a profundidade, o tato e a cor das tábuas de madeira natural.

2.2.6. Produtos Químicos

A LUSOFINSA além de líder na transformação da madeira tem desenvolvido a sua atividade sobre pilares essenciais como o uso de matéria-prima de qualidade superior e a constante formação dos recursos humanos que fazem da empresa uma referência na tecnologia de vanguarda pioneira no sector. A área química leva ainda mais longe esta filosofia num sector altamente competitivo apostando decididamente pela I&D e a proteção do meio ambiente tudo ligado ao conceito essencial de integração de todas as fases e processos.

A produção de formol usado como matéria-matéria prima, no fabrico de resinas vernizes e desinfetantes, fungicidas ou catalisadores constitui apenas um dos produtos da área química do grupo. O fornecimento de compostos químicos para a indústria de transformação de madeira é também assegurado pela produção de resinas e concentrados. A produção de ureia-formol, ureia-melamina-formol, fenol-formol, e fenol-melamina-formol, é diretamente vocacionada para a obtenção de vernizes, impregnação de papel utilizado nos produtos melaminizados, fabrico de painéis aglomerados, MDF ou contraplacados lignocelulosicos.

De entre produtos associados à atividade química do grupo encontra-se também a produção de tintas, para os sectores de decoração e construção, a produção de catalisadores, ignifugantes e branqueadores, ou ainda o fornecimento de químicos para os sectores da energia, combustíveis ou alimentação A Figura 2.2.10 apresenta, de acordo com o setor consumidor, a distribuição de vendas de produtos químicos FINSA.

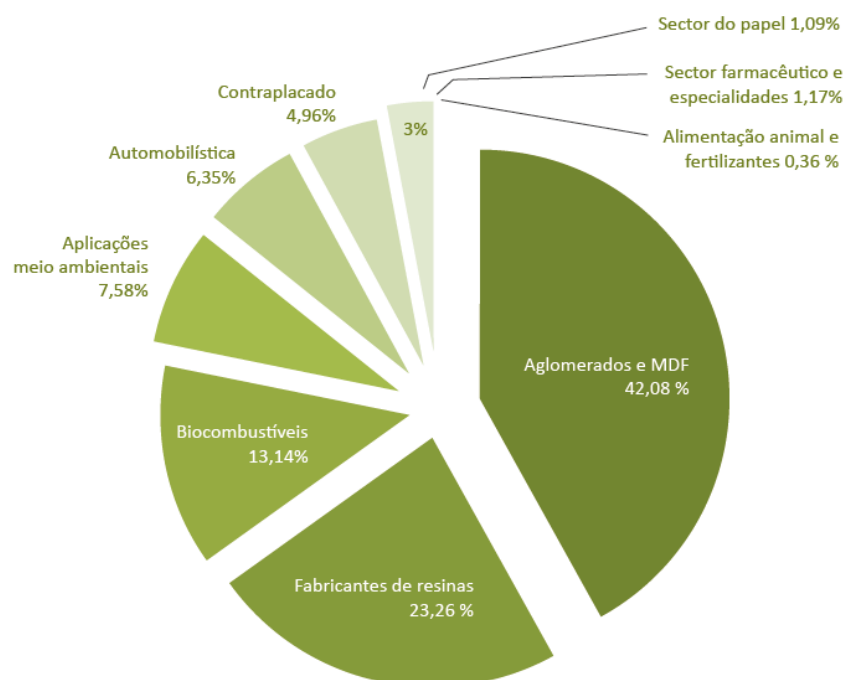


Figura 2.2.10 - Vendas por Sector na Área Química (Finsa,2014)

A vasta gama de produtos agora apresentados é produzida em diferentes unidades industriais. Cada fábrica é especializada em determinado(s) produto(s) sendo consumidora direta ou não dos produtos disponibilizados por outras unidades fabris. Exemplo disto é a produção de resinas, realizada na unidade fabril de Aveiro, consumidas no processo de produção de MDF, produzido em Nelas. O processo de produção de MDF efetuado na LUSO FINSA de Nelas é descrito pormenorizadamente no capítulo seguinte.

Capítulo 3. O PROCESSO PRODUTIVO DA LUSO FINSA

3.1. Introdução

Na Luso Finsa existe, atualmente, apenas uma linha em laboração correspondente à produção de painéis MDF. Procedeu-se, recentemente, ao desmantelamento das antigas instalações de fabrico de placas de aglomerado. Com a crise na construção civil, nos finais da primeira década do século, as encomendas em carteira reduziram consideravelmente. A linha de aglomerado encontra-se fora de operação desde 2009.

A linha atual, a de produção de painéis MDF, apresenta como particularidade ter a única prensa descontínua, permitindo a produção de painéis até 70 mm de espessura. Adicionalmente a este processo, existem duas linhas de “*postforming*” direto de plastificação e revestimento que permitem criar produtos de valor acrescentado ao painel em bruto. A linha de plastificado com Melamina - Termolaminados - consiste no recobrimento da placa com painel impregnado, a segunda linha está ainda em fase de construção preliminar.

Em termos de matéria-prima consumida na unidade industrial, para efeitos de processo de produção de painéis MDF, é utilizado apenas pinho enquanto na geração de energia térmica são, normalmente, utilizados casca de pinho e reciclados limpos.

3.2. Gestão de Matéria-Prima

O parque de madeiras é o local onde a madeira é acolhida, medida, pesada, selecionada e acondicionada para o abastecimento de acordo com os setores de produção a que se destina: i.e., à alimentação de biomassa às caldeiras ou à execução de estilha para o processo de fabrico de MDF.

São considerados critérios relativamente à localização do parque a proximidade à fábrica, evitando transportes intermediários, facilidade de acessos, área disponível, facilidade de drenagem, ou a exposição solar do local. A organização e *layout* de um parque de madeiras deverão ser executados de acordo com os fatores determinantes para organização adequada com vista a uma gestão eficaz. Assim, é necessário avaliar a forma como a madeira é recebida e.g. o meio, o volume e a frequência de receção, os tipos e números de espécies, os meios disponíveis para o manuseamento da madeira bom como a área disponível e sua topografia. A matéria-prima necessária ao processo pode chegar à fábrica sob a forma de toros ou estilha. O transporte desde a floresta até à unidade fabril pode ser feito por vias ferroviárias e fluviais mas

efetua-se, principalmente, por vias rodoviárias. Na chegada à fábrica, a madeira pode ser processada imediatamente ou, então, ser mantida empilhada no parque para utilização futura. É, todavia, importante que o *stock* de madeira tenha um período curto, no máximo de 45 dias após o corte. De facto, após o corte, a madeira diminui consideravelmente as suas defesas perante ataques biológicos, iniciando-se um rápido processo de biodeterioração. Esta perda de estrutura anatómica irá gerar fibras de qualidade inferior. Neste sentido, são tomadas medidas como prever a rotatividade de *stocks*, - primeira que entra é a primeira que sai-. (Batista,2014)

A receção de madeira é feita com o objetivo de conhecer a sua proveniência, selecionando-a de acordo com o objetivo no processo, executar medições relativamente a peso/volume e efetuar controlo de entrada, consumo e saída de madeira. A descarga de toros é feita mediante a utilização de máquinas com garras hidráulicas ou guindastes que se ajustam ao redor dos toros levantando toda a carga. É importante, embora pouco viável, que o *stock* de madeira fosse acondicionado em piso pavimentado e convenientemente drenado. Tal evitaria significativamente a contaminação da madeira por terra, areia, metais, que influenciam negativamente o desempenho de linhas de produção e qualidade do produto final.

O *stock* de madeira obedece à regra de armazenamento em pilhas separadas por uma distância de 4 a 6 m, formando assim um caminho onde está montada uma rede de hidrantes. (Batista, 2014)

3.3. Processo Produtivo MDF

O MDF é um produto homogéneo, uniforme, estável e apresenta uma superfície plana e lisa que oferece uma boa maquinabilidade. Tais propriedades conferem ao MDF características como uma enorme facilidade em encaixar, entalhar, cortar, aparafusar, perfurar e moldurar. Adicionalmente apresenta uma excelente aceitação de revestimentos.

A maioria dos defeitos inerentes à anatomia da madeira tais como a existência de nós, a presença de medula, de fibras desalinhas e de tensões de crescimento, podem ser eliminados durante o processo de fabricação dos painéis. As características do produto final estão dependentes apenas das variáveis envolvidas no processo. Como referido anteriormente, outras propriedades podem ser adicionadas a um painel, como resistência ao fogo e a biodeterioração, expandindo desta forma a gama de aplicações do produto.

O processo produtivo de painéis MDF inicia-se com o aprovisionamento de madeira de acordo com os parâmetros de gestão de matéria-prima já mencionados. A transformação propriamente dita, como ilustra a , inicia-se com o descasque da madeira e termina com a operação de corte e embalagem conforme descrito nas secções que se seguem.

3.3.1. Descasque da Madeira

Os troncos de madeiras são colocados na mesa de alimentação conforme é ilustrado na Figura 3.3.1 e seguem para o tambor descascador como mostra a Figura 3.3.2.



Figura 3.3.1 – Mesa de Alimentação



Figura 3.3.2 - Tambor de Descasque

A eficiência de um descascamento está compreendida entre os 95 a 100%, porém a facilidade de remoção de casca depende de determinadas variáveis como:

- A forma ou geometria da madeira. O descascamento é dificultado pelo formato irregular da madeira dadas as superfícies com rachas ou cotos provenientes de galho.
- O atrito gerado entre os molhos de toros. O atrito entre os toros e as superfícies metálicas do tambor de descasque influencia a eficiência do descascamento.
- A variação de energia necessária ao descasque da madeira. A energia gasta depende da espécie da madeira, da estação do ano, e das próprias condições de *stock*, uma vez que madeira demasiado seca dificulta a operação de descasque.

Após a deposição da madeira na mesa de alimentação, esta dá entrada no descascador onde é removida a casca. Apenas, aproximadamente, 10% do peso de um toro é relativo à casca. Uma vez retirada no descascador, a casca é diretamente encaminhada através de transportadores mecânicos de passadeiras para alimentação das caldeiras. Este aproveitamento reflete-se diretamente na produção de energia necessária ao processo produtivo. Por outro lado, a casca da madeira é passível de ser incorporada no processo produtivo de MDF. A quantidade admissível de casca é determinada pela densidade pretendida no painel a produzir, bem como pelas limitações relacionadas com a qualidade superficial do painel, tal como o controlo de pH, as propriedades físico-mecânicas e a coesão das fibras.

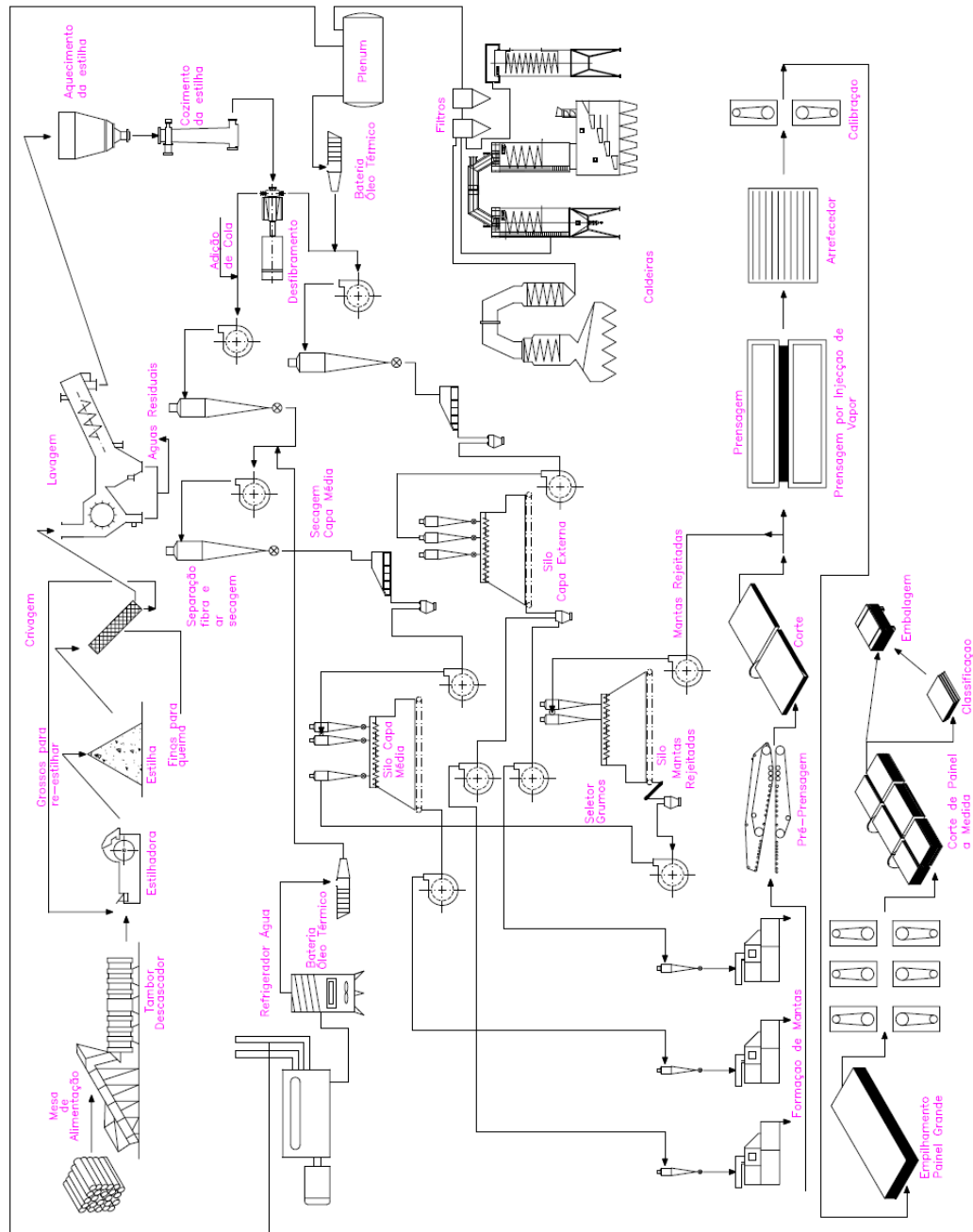


Figura 3.3.3 - Diagrama do Processo Produtivo (Luso Finsa, 1998)

O processo de descasque de madeira, neste caso particular, é conseguido através de um descascador tipo tambor como ilustrado na Figura 3.3.4. Este tipo de descascador consiste numa carcaça cilíndrica, onde no seu interior existem bastões descascadores (longarinas) capazes de auxiliar o descascamento. Em termos de posicionamento, está apoiado sobre eixos rodantes acionados através de motores elétricos, podendo ser perfeitamente horizontal mas, o comum é sofrer uma ligeira inclinação no sentido descendente relativamente à alimentação de madeira. Nas paredes do tambor existem tirantes no sentido longitudinal podendo estes ser borrachas ou metálicos como o são este caso em particular. A separação da casca é feita através de ranhuras longitudinais situadas nas paredes do tambor.

O descascamento poderá ocorrer tanto rotativamente como paralelamente. A sua eficiência depende diretamente da espécie de madeira, percentagem de humidade e condições dos toros, i.e. do nível de bio deterioração. Os toros, desprovidos de casca, são encaminhados nos transportadores para a etapa seguinte: estilhar.

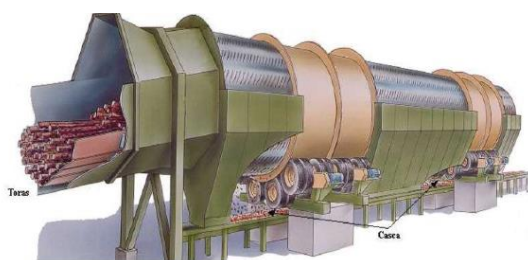


Figura 3.3.4 - Descascador do Tipo Tambor (Batista, 2014)

3.3.1. Execução de Estilha

No processo produtivo de MDF a execução da fibra, ilustrada na Figura 3.3.4, pode ter origem em estilha executada após o processo de descascamento ou, sendo a capacidade de produção reduzida face ao consumo, recorrendo a fornecimento externo. O acondicionamento de estilha é efetuado em ambiente livre sendo a condição de existência de piso cumprida. O crescente aumento do *stock* é feito através de transportadores de telas. A capacidade do *stock* deve garantir o contínuo funcionamento da linha de produção. Um aspeto importante a destacar é a necessidade de movimentação de estilha para que não exista risco de combustão espontânea devido ao aquecimento e fermentação no centro da pilha.

A estilha produzida, conforme a Figura 3.3.5, é conseguida mediante a passagem dos toros de madeira por um equipamento mecânico rotativo, denominado estilhadora, que transforma os toros de madeira em fragmentos de madeira com dimensões definidas. A Figura 3.3.6, representa esquematicamente uma estilhadora que consiste num disco inclinado cuja

alimentação é feita horizontalmente forçada através de rolos alimentadores tracionados, com ângulo de corte de 45°, viabilizando a produção de pequenos fragmentos de madeira.

O processo de produção de estilha está dependente do diâmetro e comprimento dos toros, da espécie da madeira em causa e mesmo da percentagem de humidade presente. Estes fatores associados às características técnicas do equipamento determinam a qualidade da estilha. Um especial cuidado com a velocidade de alimentação de toros é exigida de modo a mantê-la constante e uniforme. A madeira entra num ângulo de 90° relativamente ao tambor e, sofrendo a ação de corte das facas a madeira, é cortada na direção da fibra e no comprimento desejado (espessura de ± 5 mm e comprimento de 25 a 28 mm). Este equipamento possui como acionamento um motor elétrico de 800 kW, sendo a alimentação de madeira executada até 36 m/min para um diâmetro de rotor de 2000 mm.



Figura 3.3.5 - Estilha

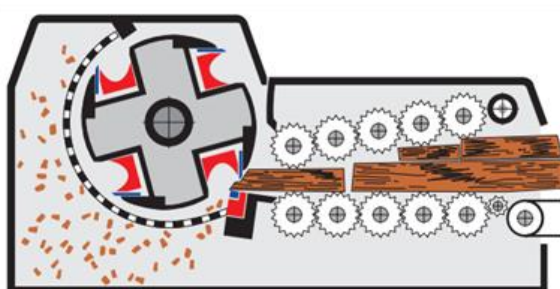


Figura 3.3.6 – Estilhadora (Pallmann, 2014)

Antes da passagem pela estilhadora, a madeira é submetida à passagem por um detetor de metais que automaticamente bloqueia o transporte caso se detetem metais evitando assim danos nas facas do equipamento. A estilha sai da estilhadora e é encaminhada por transportadores ao silo de armazenamento.

3.3.2. Crivagem e Lavagem da estilha

Após a desfragmentação da madeira existe a necessidade desta ser convenientemente lavada e crivada no sentido de apurar granulometria homogénea antes do processo de desfibramento. O transporte desde a estilhadora até à etapa de lavagem e crivagem é assegurado por telas transportadoras que confinam em crivos vibratórios onde são separados os grossos dos finos. Os fatores que interferem na performance do crivo relacionam-se com a densidade da própria estilha, percentagem de humidade, taxa de alimentação, tempo de retenção e movimento do crivo.

O crivo de estilha faz a separação classificando-a como ideal, grossa ou fina. A estilha ideal é adequada ao processo com dimensionamento pré-determinado. Além de ideal para o desfibramento proporciona maior rendimento ao sistema processual. Por sua vez, a estilha grossa reentra no processo i.e. é direcionada novamente para a estilhadora. No caso de continuarem no processo, aumentam o risco de variações de qualidade e até mesmo paragens de instalação, dado que irão determinar o aumento de consumo de vapor no digestor e de energia no processo de desfibramento. Por último, no caso de classificação como estilha fina, esta é direcionada para o processo de geração de energia térmica ou seja, abastecimento de biomassa às caldeiras.

Os crivos vibratórios possuem duas malhas que peneiram o material separando o de maiores dimensões. Segue-se a lavagem da estilha de tamanho normalizado no sentido de obter uma separação total de impurezas, mediante um processo de imersão e decantação. A sílica é, nesta etapa, um composto a eliminar dado que influenciará diretamente a qualidade do produto final. A existência de sílica reflete-se, por exemplo, no desgaste prematuro das ferramentas de corte dos clientes. Outro aspeto importante relaciona-se com o aumento da corrosão/desgaste no interior das condutas e o congestionamento provocado pela sílica na aglutinação de fibras na formação das mantas de painel.

Atendendo às necessidades de qualidade do produto final, existem no mercado grande variedade de equipamentos e sistemas de lavagem de resíduos de madeira.

3.3.3. Cozimento da estilha

No processo de preparação de estilha para o desfibramento existem variáveis que devem ser controladas como uma ajustada temperatura de pré-cozimento, temperatura de cozimento relativamente à pressão de vapor, tempo de cozimento, distâncias dos discos do desfibrador adequadas, diferencial de pressão entre o digestor e o desfibrador e por último a capacidade de produção. No sentido de otimização processual, há que equilibrar tais parâmetros no processo de cozimento e desfibramento.

No pré-aquecimento, a estilha é transportada para uma tremonha onde, se necessário, é pré-aquecida, com vapor de baixa pressão (3 bar) e temperaturas na ordem dos 80°C a 90°C. A pré-vaporização tem como finalidade amolecer a estilha e homogeneizando a sua percentagem de humidade. Uma correta pré-vaporização reduz o consumo de vapor no digestor e, consequentemente, de água a ser evaporada no processo de secagem.

Antes da entrada no digestor, a estilha é espremida num parafuso cónico, como o representado na Figura 3.3.7, que permite uma compressão gradual através da sua redução de secção desde a sua entrada no parafuso até à entrada no digestor. Tal reduz teor de água na

estilha antes da fase de cozimento (a camisa do parafuso é furada de forma a permitir a evacuação da água).

O processo de cozimento tem como objetivo efetuar a separação ou amolecimento das ligações fibras/lignina que se encontram ligadas fortemente. Esse cozimento é realizado no digestor onde a fibra se encontra num ambiente de alta temperatura e pressão. No digestor, a estilha espremida pelo parafuso cónico é sob pressão de vapor saturado de 7 a 9 bar. O tempo de permanência da estilha no interior do digestor varia entre 1 a 3 minutos o que determina, conjuntamente com o valor da pressão de vapor, a qualidade da fibra. Relativamente à temperatura, esta exerce um efeito plastificante sobre a estilha nomeadamente na presença de humidade.

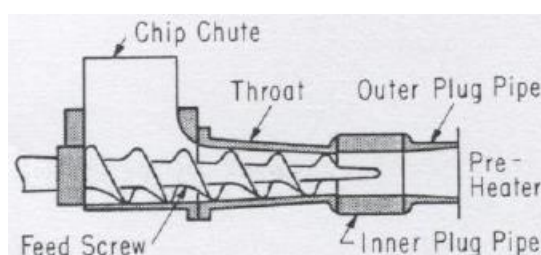


Figura 3.3.7 - Parafuso Cónico (Batista, 2014)

A lignina é o composto mais afetado pela temperatura sendo as suas ligações enfraquecidas e parcialmente quebradas resultando desta forma uma redução em termos de consumo energético do desfibrador. O *plug screw*, ilustrado na Figura 3.3.7, é responsável pelo abastecimento do digestor vencendo a superando a pressão de vapor existente no seu interior. Ao mesmo tempo, existe um selo que retém o vapor no digestor. O selo é constituído por uma "rolha de estilha" na carcaça cônica do *plug screw* e no tubo de entrada, *plug pipe*, que alimenta o digestor. A rosca do sem-fim cónico está munida de um sistema chamado *blowback* que impede a saída de vapor caso o selo não se forme, o que poderá ocorrer caso existam mudanças bruscas de velocidade de alimentação do parafuso cónico em virtude do tipo de material (estilha verde com estilha seco) ou da variação da dimensão de estilha.

A alimentação de estilha ao digestor é feita por gravidade, sendo o diâmetro de base do digestor maior que o diâmetro de topo facilitando assim a movimentações de material no seu interior. Na base existe um agitador responsável por essas movimentações tão necessárias à não compactação de material.

3.3.4. Desfibramento

O instante de transição, em que a estilha de madeira se converte em fibra, é designado com processo de desfibramento e encontra-se ilustrado na Figura 3.3.8. A estilha, vinda do digestor, passa através de uma abertura calibrada, representada na Figura 3.3.9, para o interior do desfibrador ilustrado na Figura 3.3.10. O desfibrador possui dois discos, um estator e um rotor, como os mostrados na Figura 3.3.11, que apresentam uma superfície com barras e ranhuras entram em contacto com o material durante a sua passagem do centro até à periferia.

Com a geração de atrito entre os discos e a estilha atrito obtém-se a separação das fibras que saem por ação força centrífuga dos discos. A caixa de discos é perfeitamente estanque, a pressão de vapor gerada durante a refinação contribui para impelir a pasta produzida para fora da caixa de discos. A regulação do rotor é feita horizontalmente, permitindo o ajustamento em termos de abertura, *gap*, entre os discos. A variação de energia específica pode ser conseguida mediante o ajustamento de distância de abertura dos discos.

O controlo de vapor na caixa do desfibrador permite criar uma pressão maior ou menor que a pressão exercida no digestor. Assim, o diferencial de pressão positivo ou negativo criado entre a carcaça do desfibrador e o digestor, permite reter por mais tempo ou expulsar mais rápido a fibra do interior dos discos.

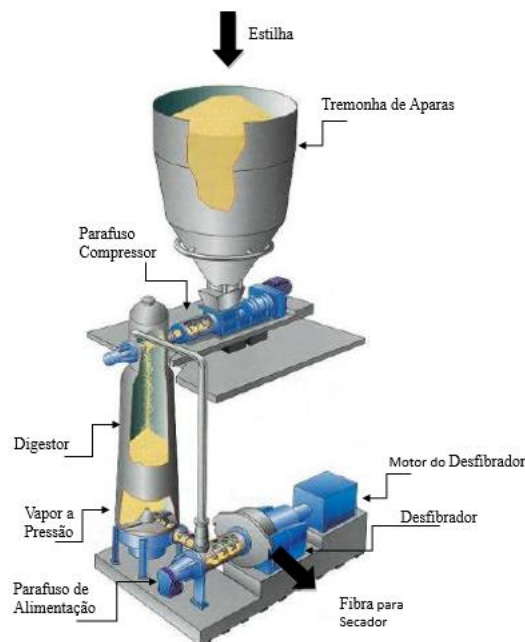


Figura 3.3.8 - Sistema de Preparação de Fibra – Desfibramento (Batista, 2014)



Figura 3.3.9 - Desfibrador de Disco Duplo
(Barbosa, 2014)

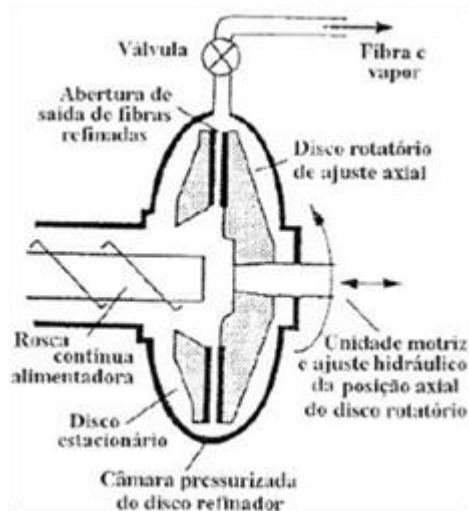


Figura 3.3.10 - Desfibrador Andritz (Barbosa,
2014)



Figura 3.3.11 - Discos do Desfibrador

A pressão diferencial entre a entrada e saída do desfibrador pode ser controlada através do fluxo de vapor e fibra. O desfibrador é dotado de uma válvula de escape, *blow valve*, que controla esse fluxo de vapor e fibra. Essa válvula possui um orifício ajustável responsável pelo controlo da taxa de escape de vapor e fibra para a *blow-line*. A abertura da *blow valve* deve ser ajustada muito cuidadosamente. Com uma abertura pequena, existe risco de entupimento, porém, considerando uma grande abertura existirá consumo de vapor excessivo. Com altas taxas de produção, a abertura tem que ser grande permitindo assim o fluxo maior de fibra e vapor. O desfibrador possui um diâmetro de discos de 46 polegadas acoplado a um motor que debita uma velocidade angular de 1500 rpm.

A pasta de fibra é descarregada numa abertura situada na caixa de discos sendo enviada para as etapas de colagem e secagem. A produção pode variar na faixa de entre as 9 e as 22 ton/h dependendo do tipo de produção em causa e da própria velocidade do desfibrador.

A estilha utilizada conduz, após o desfibramento, a uma variedade de formas como lascas, pedaços grossos, pó, fibras soltas ou pacotes de fibras. O produto final deve ser uma fibra com um aspeto microscopicamente homogéneo, conforme Figura 3.3.12 à direita, onde não se deve visionar nem fibra demasiado grossa nem pó.

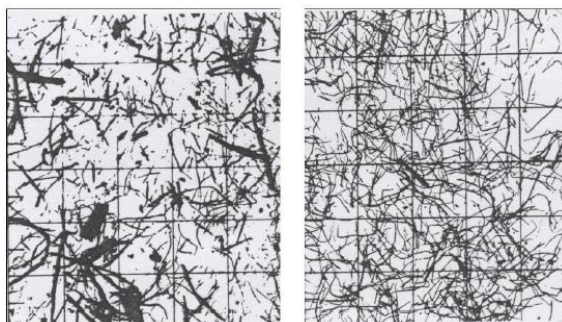


Figura 3.3.12 -Visão ampliada de fibra indesejada (esquerda) e ideal (direita) (Barbosa, 2014)

3.3.5. Injeção de Cola

A fibra sai da caixa dos discos por duas válvulas que irão fornecer o material separadamente em camadas internas e camadas exteriores do produto acabado. É aqui que se faz a separação entre a camada interna e externa da manta. A adição de cola é um processo mediante o qual se doseia uma certa quantidade de cola na fibra. No processo atual as resinas utilizadas são à base de ureia-formaldeído, melanina e ureia-formaldeído. O processo de mistura sólida resina+fibra só irá ocorrer durante a prensagem. Na fase de injeção apenas ocorre envolvimento entre os dois compostos. Uma ótima ligação requer um excelente contacto entre a resina e a fibra, o que é perfeitamente conseguido recorrendo a pressão, ao contacto térmico e à injeção de vapor. Para uma perfeita adesão da resina à fibra é necessário que a primeira possua força de coesão adequada. As características e propriedades da matéria-prima influenciam fortemente os mecanismos de adesão e colagem. Uma colagem adequada e o seu desempenho dependem de uma série de parâmetros relacionados com as características físico-químicas da própria resina, características da fibra e com os procedimentos de colagem. Algumas das principais características da madeira que afetam a adesão e colagem são:

- Variabilidade – as maiores variações acontecem entre espécies de matéria-prima, sendo que algumas delas apresentam maior facilidade de colagem que outras. Esta variabilidade atinge uma série de propriedades (densidade, textura ou permeabilidade) que por sua vez são definidas no processo de adesão e desempenho do processo de colagem.
- Densidade – colagens sob fibras de densidade elevada degradam-se mais rapidamente relativamente a fibras de mais baixa densidade. Uma fibra mais densa, normalmente

possui maior resistência mecânica. A densidade está diretamente relacionada com a sua porosidade e permeabilidade, influenciando assim o grau de rugosidade e as funções de mobilidade, fatores determinantes na formação da ligação cola-fibra.

- Porosidade e permeabilidade – o tamanho, a disposição e a frequência de cavidades celulares e poros na estrutura da fibra afeta diretamente a penetração da cola.
- pH – a maior parte das espécies de madeira apresenta pH ácido. As variações de pH afetam diretamente a cura e a solidificação da cola, uma vez que estes processos ocorrer somente em faixas relativamente estreitas de pH. Conteúdos de humidade na colagem com as tradicionais colas sintéticas à base de ureia, melamina ou fenol tornam conveniente que a fibra seja previamente seca até teores de humidade normalmente entre 5% e 20%. Por outro lado, com teores de humidade mais altos podem ocasionar formação de bolhas. (Bom, 2008)

A instalação de colas é constituída por áreas de preparação, dosagem e injeção das misturas de produtos químicos. Estas operações são mecanizadas e reguladas por um sistema de controlo que permite reduzir ao mínimo as necessidades de intervenção do operador. Os principais componentes do equipamento são: um sistema de armazenamento de resina e emulsões de parafina, um sistema de preparação de endurecedor (catalisador), um sistema de dosagem de resina e aditivos, um sistema de injeção da mistura e um sistema de controlo da dosagem mediante PLC (Controladores Lógicos Programáveis).

O sistema utilizado na LUSO FINSA corresponde a um sistema *Blow-Line* cujo princípio de funcionamento consiste numa mistura de vapor e fibra sobre a qual é pulverizada resina com a humidade da fibra a enquadrar-se entre 90 e 100% bs (base seca). A água de diluição da resina é quase imediatamente convertida em vapor. A massa de vapor representa entre 80 e 85 % do peso total que passa pela *blow-line*. O vapor na saída do desfibrador numa pressão entre 7 e 9 bar sendo expandido no sentido do comprimento da *blow-line* e descarregado contra a pressão atmosférica no secador.

Após a *blow valve* há uma pequena queda de pressão na *blow-line* com um aumento de velocidade em direção a entrada do secador.

Para o controle de uma boa aplicação da cola é recomendável verificar a pressão estática no ponto de injeção e operar a válvula de injeção de resina e/ou pressão de vapor no desfibrador de acordo com esta pressão. Em geral, a pressão estática no ponto da injeção será aproximado 4 a 5 bar. Na entrada do secador a pressão estática deve ser ± 1 a 1,5 bar.

A dosagem de cola sobre a fibra é controlada automaticamente pelo sem-fim de extração do digestor (rosca fita) que faz a dosificação volumétrica da estilha. A desvantagem deste sistema é que a variação de peso específico da estilha não é compensado por uma medição de

resina mais alta ou mais baixa. Este sistema de dosagem de resina é controlado diretamente pela velocidade da rosca de extração.

Na figura seguinte pode ser observado o sistema de injeção de resina na *blow-line*. Este sistema é formado por bicos injetores que devem ser revistos com frequência para que não haja arrefecimento evitando assim, solidificação de cola nos bicos. Além disso, bicos entupidos ou sujos podem levar restos de resina para as mantas ou criar excesso de pressão nas tubagens de resina.

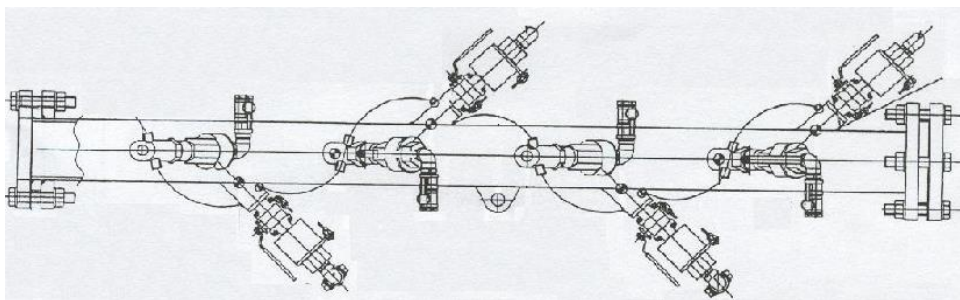


Figura 3.3.13 - Sistema de injeção de resina na blow-line (Batista,2014)

Para uma boa qualidade de aplicação da cola, a regulação dos bicos, a temperatura, a pressão de aplicação, a viscosidade da resina e a limpeza dos injetores são fatores importantes. Um dos cuidados a ter em conta diz respeito às baixas temperaturas da resina, que levam inevitavelmente a aumento de sua viscosidade com efeito imediato no tamanho de microgotículas geradas aquando da pulverização. Maiores gotículas acarretam menor dispersão/distribuição da resina e, conseqüente, diminuição e/ou aumento da variabilidade das propriedades físico-mecânicas dos painéis bem como ao aumentando do consumo de resina.

As principais colas empregues na fabricação de painéis à base de madeira são as colas sintéticas, destacando-se o fenol-formaldeído, a ureia-formaldeído e a melamina-formaldeído. Estas quatro resinas compõem, aproximadamente, 90% de todas as resinas adesivas em painéis de madeira. Todas elas são derivados de combustíveis fósseis. O fenol é derivado do benzeno, que é sintetizado a óleo, e a ureia, a melamina e o formaldeído são todos derivados do petróleo. Apresentam como principais propriedades sua resistência à humidade e imunidade ao ataque de microrganismos. A resina mais comum utilizada no fabrico de painéis em MDF é à base de ureia-formaldeído.

3.3.6. Secagem

No sentido de eliminar a humidade da fibra obtida após o processo de desfibramento são utilizados secadores. À saída do desfibrador, após a injeção de cola na fibra, a fibra é enviada

para o secador. Cada camada, independentemente da fibra, é seca em secadores do tipo ciclones por meio de uma corrente de ar ou gases quentes. O transporte de fibra é efetuado pneumáticamente pelo fluxo de ar gerado por ventiladores dentro do tubo de secagem.

Os secadores são considerados consumidores dado que necessitam de um fluido fornecedor de energia térmica para possibilitar a evaporação de água da fibra. O fluido utilizado nesta etapa processual diz respeito a gás quente proveniente das caldeiras. Existem controladores de caudal de gás que têm como funcionalidade a regulação de caudal de ar que entra através dos ventiladores sendo todo o processo é controlado e verificado mediante PLC. Os secadores operam a diferentes temperaturas dependendo do tipo de madeira da qual é originária a fibra e do teor de humidade da mesma. O tamanho de um secador de fibra baseia-se na quantidade de água evaporada, na quantidade de fibra a ser seca, no tamanho e geometria e nas condições de temperatura ambiente e humidade relativa do ar. A humidade final da fibra é determinada pela temperatura na saída do secador e a humidade de entrada.

Na instalação fabril da LUSO FINSA existem dois secadores como os mostrados na Figura 3.3.14. Um, dedicado à camada externa e outro direcionado para a camada interna. Para melhorar a eficácia do processo o secador da camada interna integra duas etapas de secagem, razão pela qual é considerado um secador de múltiplos estágios. Relativamente aos secadores de uma única etapa apresenta um grande rendimento em virtude da menor área de construção e da menor quantidade de poluentes atmosféricos. Adicionalmente, removendo parte da humidade na primeira etapa e a restante na segunda é apropriado para situações de grande variação de humidades no início de secagem pois promove uma maior uniformidade na distribuição de humidade. Dependendo do conteúdo de humidade, a temperatura média de trabalho dos secadores é, geralmente, de 150°C.



Figura 3.3.14 - Secadores

Na primeira etapa de secagem do secador de capa interna, como mostra a Figura 3.3.15, a fibra proveniente do desfibrador contém entre 80 a 90% de humidade. A fibra é injetada no

fluxo de gás quente. Há medida que percorre a conduta em direção ao ciclone vai perdendo humidade. Ao entrar no primeiro ciclone a fibra que sofreu uma redução de humidade entre 20 a 30% separa-se do gás caindo no fundo do ciclone. Após a queda, já no interior do ciclone, é obrigada a passar por uma roda celular que permite a sua passagem para uma outra conduta com gases a 70°C proveniente dos permutadores ar-óleo térmico. O mesmo ventilador é responsável pela aspiração destes gases quentes impulsionando a fibra para o ciclone de segunda etapa (Figura 3.3.16). Nesta etapa a fibra perde mais humidade pois passa através de um alimentador rotativo para um transportador de descarga sendo, finalmente, enviada para os silos de armazenamento.



Figura 3.3.15 - Secador da Camada Interna 1ª Etapa



Figura 3.3.16 - Secador de Camada Interna 2ª Etapa



Figura 3.3.17 - Secador de Camada Externa

Na etapa da secagem da fibra da camada externa, proveniente do desfibrador e que contém entre 80 a 90% de humidade, esta é injetada na corrente de gases provenientes do coletor geral da caldeira que por sua vez se mistura com ar aquecido, devido à passagem através de um radiador de óleo, conseguindo-se a temperatura ideal para um grau de secagem da fibra conveniente.



Figura 3.3.18 - Bateria de óleo para aquecimento do ar do secador da camada externa

Cada uma das linhas de abastecimento de óleo aos radiadores dos secadores está equipada com a sua própria estação de regulação de óleo, conforme Figura 3.3.18, para

ajustamento da energia térmica fornecida. Uma bomba centrífuga é responsável pela aspiração do óleo do coletor enviando-o para o radiador. O óleo é expedido do radiador para o coletor que possui duas derivações, uma que retorna à aspiração da bomba e outra com direção ao coletor de óleo frio. Aqui está localizada uma válvula de três vias que permite a comunicação com o coletor de entrada de óleo quente. A válvula de três vias atua no sentido de manter o óleo a uma temperatura constante da mesma forma que é estabelecido um nível de recirculação variável se:

- A temperatura de saída de óleo for mantida dentro de uma adequada faixa de trabalho, então a válvula de três vias atua vedando a passagem de óleo de saída do radiador ao coletor de óleo térmico frio. Por outro lado, é feita a comunicação entre a linha de entrada de óleo quente e o retorno de óleo frio.
- A temperatura de saída do óleo baixar de determinado valor adequado. A válvula de três vias irá atuar de forma a permitir a passagem de saída do radiador para o coletor de óleo frio. Além disso, é vedada a comunicação entre a linha de entrada de óleo quente e o retorno de óleo frio.

Depois de ajustados os caudais e temperatura a fibra é injetada tangencialmente. À medida que percorre as condutas de entrada nos ciclones existe uma redução progressiva da taxa de humidade.

Inúmeros fatores estão associados ao rendimento e segurança na secagem, tais como: a humidade inicial da fibra e a sua variação, a geometria, o ar quente, as condições ambientais e de colagem. Um descontrole destes parâmetros poderá implicar a ocorrência de contaminação, descoloração, sedimentação ou ainda fogo ou explosão no secador.

Após a passagem pelo ciclone de capa externa, a fibra é descarregada para um silo de fibra de onde segue para a linha formadora da manta.

3.3.7. Formação

A partir dos silos de material seco de cada camada a fibra é transportada pneumáticamente para as formadoras correspondentes. As formadoras servem para distribuir homogeneamente a fibra em toda a largura da formação, sendo a fibra lançada das formadoras para a linha de formação.

O princípio de funcionamento das formadoras assenta na densidade média das fibras e na sua distribuição uniforme na largura do equipamento. A formação de uma manta de fibra uniforme e constante é uma das mais importantes do processo. A fibra deverá cair livremente sobre a esteira da formação e a falta de uniformidade na distribuição irá provocar uma variação das propriedades físicas da densidade transversal. Na formação no caso de se gerarem regiões

de baixa densidades estas implicam a existência de zonas porosas no painel. Além de que a falta de uniformidade na manta poderá danos na prensa.

A unidade formadora é constituída por frente de descarga, rolos desintegradores, rolos espalhadores (câmara de formação) e rolos uniformizadores ou de equalização. A linha de formação, como mostra a Figura 3.3.19, é composta por equipamentos responsáveis pela preparação da manta a prensar, i.e. pela pré-prensa, serra de corte lateral e bicos pulverizadores e ainda equipamentos de monitorização (ex. medidor de humidade ou balanças) das variáveis que afetam ou impedem a prensagem fazendo avançar a manta para a prensa ou mesmo rejeita-la caso as variáveis não se encontrem de acordo com parâmetros pré definidos. Outro equipamento importante no processo é o medidor de peso específico na largura do colchão. Ao detetar a variação de peso instantaneamente no momento em que a manta passa é enviado um sinal à sala de controlo permitindo ao operador corrigir este desvio através de mudanças nos parâmetros de formação evitando problemas de qualidade superficial e propriedades físicas.

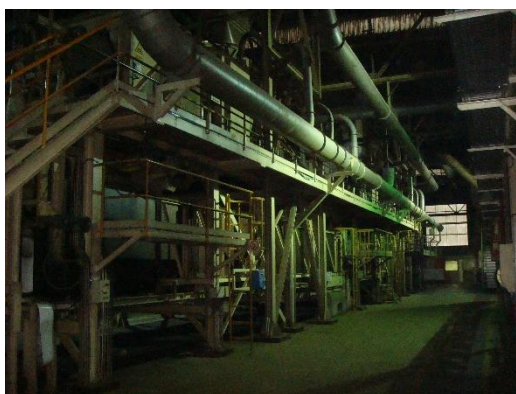


Figura 3.3.19 - Linha de Formação

Como forma de consolidação da manta para futura manipulação é necessário efetuar-se uma pré-prensagem que consiste na retirada de ar entre os espaços vazios da fibra e reduzindo ao máximo a espessura do colchão sem danifica-lo. Tal, permitirá velocidades maiores com pouca abertura na prensa e uma redução na superfície de pré-curado. A compressão ocorre entre os cinco pares de rolos de compressão. A pré-prensa, como mostra a Figura 3.3.20, é constituída pelos seguintes equipamentos: arcada superior e inferior; rolos acionadores, tensores e de compressão; cinta principal e de ventilação; quatro cilindros hidráulicos principais e tensores e dois cilindros hidráulicos de entrada e ajuste.

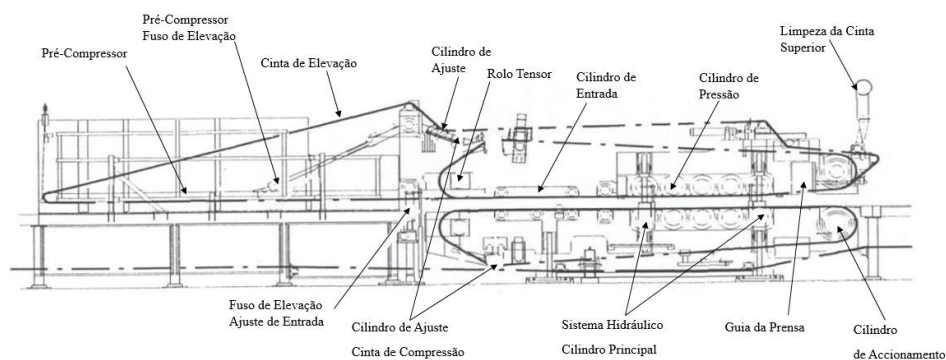


Figura 3.3.20 - Pré-Prensa (Batista,2014)

O funcionamento da pré-prensa é conseguido por pressão que determina diretamente a sua abertura. Com a redução desta mesma abertura são alterados os parâmetros de processo o que determina um aumento simultâneo da pressão aplicada. Lateralmente, a pré-prensa é dotada de guias laterais usadas no sentido de evitar o efeito de escorrimento de fibra para fora. As bordas laterais (esquerda e direita) da manta de fibra deverão possuir o mesmo peso específico do centro da placa.

Ultrapassada a etapa de formação da manta esta é cortada em tamanho *standard* para dar entrada na prensa de painel com um comprimento de cerca de 15 metros.

3.3.8. Prensagem

Na LUSO FINSA são produzidas placas MDF de espessura variável podendo chegar aos 70 milímetros. A pressão é fornecida através de um sistema de prensagem hidráulico e a temperatura resulta de um sistema de óleo térmico e de um sistema de vapor. É utilizado vapor além do óleo com o intuito de acelerar o processo de prensagem fazendo assim com que a dissipação de calor chegue tanto quanto possível e o mais rápido possível ao interior das placas.

A prensa de MDF, como mostra a Figura 3.3.21, é um consumidor de óleo térmico e de vapor. A prensa de vapor, que constitui o equipamento básico do processo, é formada por uma única abertura de cilindros superiores com pratos aquecidos e que no respetivo processo utiliza vapor, com diferentes pressões, injetado diretamente no painel. O seu princípio de funcionamento baseia-se no fornecimento contínuo de óleo térmico através de estações de regulação de temperatura de dois pratos internos e duas contraplacas externas. O vapor é injetado ciclicamente através de dois pratos para o interior da placa. Após o tempo estabelecido para a prensagem, determinado em função da espessura pretendida, o vapor é descarregado para a atmosfera. Uma série de válvulas de controlo direcionam o vapor no sentido ascendente efetuando uma descarga direta na placa. À semelhança do sistema hidráulico, a injeção de vapor está programada dependendo da espessura de placa a ser produzida.



Figura 3.3.21 - Prensa de MDF

O funcionamento da prensa realiza-se mediante PLC sendo controlados e.g. a pressão e velocidades hidráulicas, a pressão e tempos de vapor, os níveis, a desgaseificação e o sistema de vácuo. O vapor que alimenta os dois pratos, superior e inferior, da prensa advém dos produtores de vapor a uma pressão entre 12 a 15 bar. Este vapor é injetado dentro do acumulador que é um depósito cuja função é produzir vapor *flash*. No acumulador é mantido um nível de água de aproximadamente 50% da capacidade mediante uma válvula de regulação que abre fornecendo água desmineralizada em função do sinal que recebe do medidor de nível. O vapor é injetado no meio da água produzindo mais vapor. O *set point* de pressão no acumulador ajusta-se em 10 bar através das válvulas de regulação instaladas na tubagem de entrada de vapor. Ao mesmo tempo o acumulador exerce de pulmão de vapor para a descarga rápida da prensa necessitando de um grande caudal (tubagens de DN250 mm). Caso contrário, consumir-se-ia vapor diretamente dos produtores cuja capacidade não é suficiente para o abastecimento da prensa. Também se produziriam oscilações de pressão na rede de vapor prejudicando os restantes consumidores de vapor estável, como é o caso do desfibrador.

O óleo térmico que abastece a prensa provém do coletor principal de óleo à fábrica. Uma bomba centrífuga responsável pelo abastecimento da prensa aspira desse coletor. Na tubagem de aspiração da bomba está instalada, como visível na Figura 3.3.22, uma válvula de três vias conectada à conduta de retorno de óleo de prensa ao coletor de fábrica. Esta válvula atua como elemento regulador de temperatura introduzindo um determinado caudal de óleo quente proveniente do coletor de impulsão e outro caudal de óleo frio da linha de retorno da prensa para o coletor de retorno da fábrica.



Figura 3.3.22 - Bomba de Óleo para a prensa MDF

O óleo é distribuído pelo sistema de aquecimento da prensa constituído por placas de aquecimento internas, superior e inferior, e placas de contra aquecimento externas, superior e inferior. O ajuste da temperatura de placas e contraplacas realiza-se através de estações de regulação independentes:

- Contraplacas superior e inferior: cada contraplaca dispõe de três grupos de bombagem cada uma com regulação independente da temperatura para cada zona de aquecimento (entrada, meio e saída);
- Placa superior e inferior: cada placa dispõe de um grupo de bombagem, cada uma com regulação independente da temperatura.

Após o tempo determinado de prensagem, os cilindros atuam para levantamento da prensa e o painel avança com direção ao volteador.

3.3.9. Arrefecimento de Painel em Volteador

Após a etapa de prensagem a cura da cola não está completa. A humidade da placa não está uniformemente distribuída, no centro a temperatura é de, aproximadamente, 120 °C encontrando-se as faces entre 130 e 150 °C. Além das tensões internas na placa, há também o risco de hidrólise durante o armazenamento das placas quentes ocorrendo uma redução das propriedades mecânicas dos painéis. No caso de hidrólise, a face do painel pode tornar-se amarelada e na lixagem poderá ocorrer desintegração de partículas o que evitado se os painéis são arrefecidos no volteador que mostra a Figura 3.3.23. O tempo que um determinado painel permanece no volteador corresponde ao número de prensadas necessárias para que um novo painel ocupe a posição no volteador. Numa produção de placas de 70 mm de espessura, sendo

o tempo de prensagem médio aproximadamente 2,5 min para esta espessura, um painel estará cerca de 1h e 8 min no volteador.



Figura 3.3.23 – Volteador (Bom,2008)

3.3.10. Calibração

Após a saída do volteador, o painel é submetido a uma primeira passagem na calibradora, esquematicamente representada na Figura 3.3.24, antes de seguir para a etapa de estabilização. A função deste equipamento está relacionada com um primeiro nivelamento do painel em ambas as faces. Ao sair da prensa, eventualmente, os painéis poderão conter marcas das crivas (transportadores de painel no interior da prensa) que coexistem com os pratos da prensa. Neste sentido, é necessário alisar o painel levando-o ao calibre desejado. A lixa utilizada é uma lixa de grão 60 (60 grãos/mm^2) que permite, antes de estabilizar o painel, que este adquira um calibre final 2 a 3 décimas acima do calibre final.

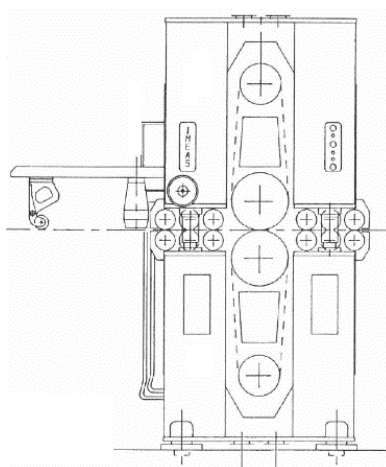


Figura 3.3.24 – Calibradora (IMEAS,1987)

3.3.11. Armazenamento

As pilhas de painéis são retiradas da linha de formação e colocadas no armazém de estabilizado, onde permanecerão durante um período de tempo previamente estipulado, conforme o tipo de painel. Este estágio permite estabilizar as características do painel. Desta forma, evitam-se variações estruturais dos painéis após serem submetidos às temperaturas elevadas de prensagem. Os painéis são, normalmente, arrefecidos à temperatura ambiente e protegidas de intempéries. Nesta etapa, ocorre a consolidação do painel de fibra no que se refere a seus aspetos de estabilidade dimensional e cura de resina.

Como descrito anteriormente, devido aos possíveis problemas causados por tensões internas e hidrólise da resina, é recomendável executar-se o armazenamento das placas em pilhas 7 dias dependendo da espessura. Recorrendo a uma vagona de transporte, as pilhas de painéis são levadas e recolhidas da área de armazenamento.

A carga aplicada aos painéis quando os mesmos estão colocados horizontalmente, pode ocasionar deformações temporárias ou permanentes. A ocorrência de deformação está dependente também de outros fatores como a humidade, a própria espessura, o módulo de elasticidade ou mesmo da distância existente entre os separadores em que se apoiam os painéis. Para evitar as deformações permanentes durante o armazenamento no depósito ou na obra, são respeitadas algumas recomendações acerca do acondicionamento de painéis. Os painéis devem ser resguardados da humidade do piso, colocados horizontalmente e com uma quantidade adequada de separadores. Adicionalmente dever-se-á evitar distâncias variáveis e demasiado grandes entre os separadores. Os separadores devem estar alinhados verticalmente e igualmente espaçados horizontalmente, evitando-se uma distância excessiva entre o último separador e o canto dos painéis. Os painéis devem igualmente proteger-se adequadamente do sol e das chuvas mantendo uma adequada ventilação entre os mesmos. A Figura 3.3.25 ilustra, a título de exemplo, os benefícios de um correto armazenamento mostrando-se, à direita, as deformações que podem ocorrer devido a um armazenamento incorreto.

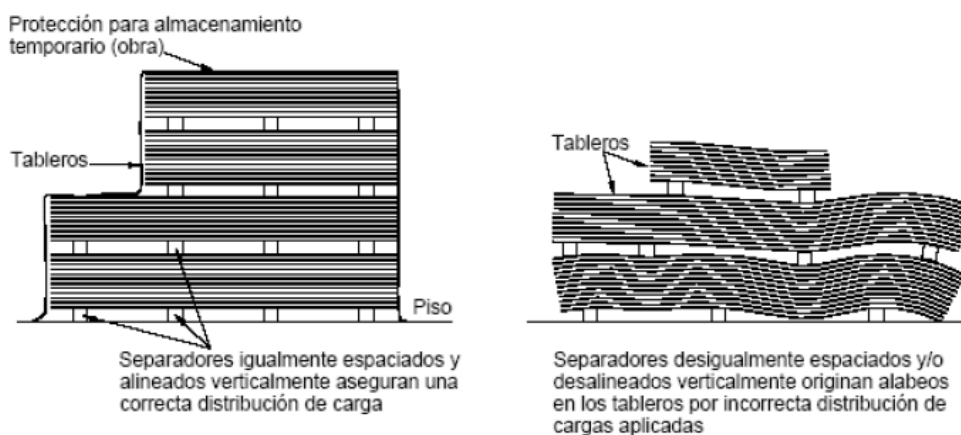


Figura 3.3.25 - Orientação de Armazenamento (Bom, 2008)

3.3.12. Lixagem/Polimento

Após o tempo determinado na etapa de estabilizado, o painel é enviado para a fase de lixagem e polimento. O equipamento responsável pelas alterações do painel nesta etapa é uma calibradora-polidora ilustrada na Figura 3.3.26, onde se procuram as características de um painel acabado. A calibradora integra a lixadora e retira 1 a 1.5 décima do calibre final existindo um aumento da granulometria da lixa para minimizar os riscos. A lixadora é composta por três corpos polidores que permitem um acabamento final. Os cabeçotes de acabamento possuem uma inclinação na horizontal para eliminar ondulações nos painéis eventualmente causadas pela vibração de algum rolo dos transportadores. A placa é lixada simultaneamente nas duas faces.

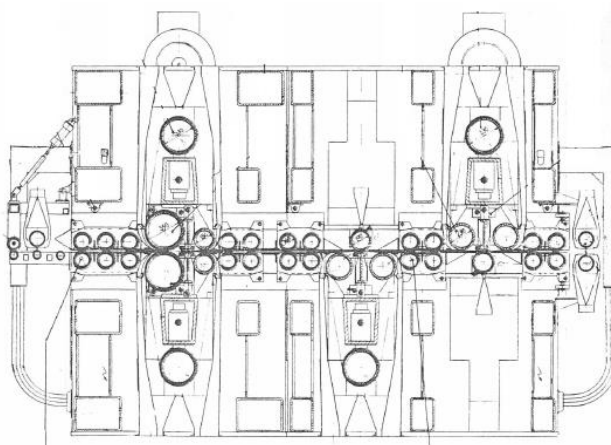


Figura 3.3.26 - Calibradora-Polidora (IMEAS,1987)

O polimento está diretamente relacionado com a preparação da superfície dos painéis para acabamentos finais como o corte à medida e a embalagem. A lixadora confere ao painel um acabamento final, ou seja, vai retirar as duas ou três décimas deixadas anteriormente pela calibradora.

3.3.13. Corte e Embalagem

O corte de painel é feito à medida da necessidade do cliente, pese embora seja executada procurando estabelecer as medidas dos painéis de MDF definidas nos padrões estabelecidos.

A Figura 3.3.27 e Figura 3.3.28 ilustram a linha de corte e a linha de embalagem, respetivamente.



Figura 3.3.27 - Linha de Corte



Figura 3.3.28 - Linha de Embalagem

3.4. Geração de Energia Térmica

O funcionamento da maioria dos equipamentos e processos fabris é concretizável devido ao fornecimento de energia térmica em forma de gás, vapor ou óleo térmico produzidos numa série de equipamentos designados como produtores. Estes produtores transformam uma energia primária, geralmente a energia química de um combustível mediante uma reação de combustão, fornecendo diretamente essa energia sob a forma de gases gerados na combustão ou então transferindo-a, de forma conveniente, a um fluido (água ou óleo).

No caso particular dos geradores de vapor, comparativamente aos restantes produtores, estes aproveitam o calor do óleo térmico na obtenção de vapor como portador de energia térmica. Assim sendo, um gerador de vapor, pode considerar-se como consumidor e produtor. A Tabela 3.4.1 resume o tipo de fluido térmico gerado em cada um dos produtores de acordo com a energia primária fornecida.

Tabela 3.4.1 - Produtores de Energia Térmica

| Produtor | Energia Primária | Fluído Térmico Gerado |
|--------------------|-------------------------|------------------------------|
| Caldeira I | Biomassa | Óleo Térmico e Gases |
| Caldeira II | Biomassa | Óleo Térmico e Gases |
| Caldeira III | Pó | Óleo Térmico e Gases |
| Geradores de Vapor | Óleo Térmico | Vapor |

Na LUSO FINSA existem três caldeiras em funcionamento. São caldeiras oleotubulares cujo princípio de funcionamento é semelhante divergindo apenas no tipo de combustível consumido.

3.4.1. Caldeira I

Sendo o esquema de funcionamento das caldeiras semelhantes entre si, neste relatório, uma vez que a maior parte dos trabalhos desenvolvidos se enquadram na caldeira I, dar-se-á especial ênfase à descrição do seu funcionamento. A caldeira I é uma caldeira oleotubular com circulação forçada de óleo térmico utilizando biomassa como combustível. O calor libertado na combustão de biomassa, produzido no interior da câmara de combustão, é transferido ao caudal e o óleo impulsionado pelas bombas de recirculação de óleo através das serpentinas das zonas de permuta da caldeira. Aqui, ocorre a transferência energética dos gases quentes ao óleo que regressa frio do coletor comum de óleo. O processo dever-se-á efetuar sempre com um salto

térmico, não superior a 40 °C, entre entrada e saída da caldeira evitando variações de carga bruscas e choques térmicos excessivos.

O fornecimento de ar e a evacuação de gases na caldeira produz-se pela ação conjunta dos ventiladores que introduzem o ar necessário na caldeira e os ventiladores que aspiram e enviam os gases quentes para o coletor de gases ou chaminé. Esta é considerada uma caldeira de tiragem equilibrada estando concebida para entregar uma potência à instalação de 20 Gcal/h (12 Gcal/h em óleo e 8 Gcal/h em gases quentes). (Sugimat, 2000) Genericamente a caldeira é constituída por uma fornalha de grelha, onde é efetuada a queima de biomassa, e um permutador de calor onde estão localizadas as serpentinas fornecedoras de óleo térmico. Estas zonas subdividem-se em duas zonas claramente distintas: serpentina de radiação e serpentina de convecção. Fazem ainda parte da instalação os sistemas de circulação de óleo térmico, de alimentação de combustível, de fornecimento de ar e evacuação de gases e o sistema de depuração dos gases de escape.

Fornalha de grelha

A fornalha de grelha é composta por uma serie de grelhas, destinando-se à queima principalmente de casca proveniente do descasque da madeira. Na grelha *Kablitz*, como mostra a Figura 3.4.1, as grelhas móveis estão alternadas com as grelhas fixas ocupando o conjunto uma área total de 22,1 m². (Sugimat, 2000)

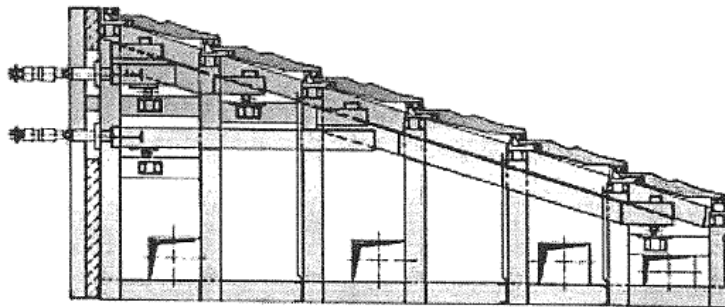


Figura 3.4.1 - Grelha Kablitz (Referenciar) (Sugimat, 2000)

Para alcançar eficiências excelentes de combustão deve, convenientemente, dosear-se o material nas grelhas tendo em conta que a área reservada à metade superior das grelhas (primeiro troço) diz respeito ao local onde é seca e armazenada a casca, e onde, da mesma forma que se procede ao doseamento para o segundo troço da grelha. Por outro lado, na metade inferior das grelhas, a biomassa é espalhada e queimada, devendo esta área ficar totalmente coberta de material evitando-se assim a entrada de ar falso. Por último, a evacuação da escória da queima é feita através de uma tremonha confinando num redler húmido.

A caldeira dispõe de duas secções de grelhas. A secção superior é utilizada para regulação da quantidade de combustível, secando-o previamente e iniciando-se a combustão. A secção inferior é responsável pelo transporte do combustível, cinzas e escórias controlando o ciclo de combustão de acordo com as instruções indicadas.

O movimento das grelhas, secções superior e inferior, realiza-se através de dois atuadores hidráulicos comandados por dois grupos hidráulicos com bombas de pistões axiais de caudal variável instaladas paralelamente, uma está em serviço e a outra reservada a emergências. Em modo automático, cada atuador dispõe de um temporizador cuja regulação define o tempo de espera de funcionamento entre cada movimento completo das grelhas. No troço final das grelhas, existe uma tremonha de queda na qual existe uma grelha fixa que retém pedras e outros resíduos protegendo o *redler* húmido.

O ar necessário para a combustão é introduzido na fornalha através do ventilador de ar primário que injeta o ar diretamente pela zona baixa da grelha através das tremonhas de descarga das cinzas. Cada uma das entradas de ar possui uma válvula de regulação manual que permite a passagem de mais ou menos caudal de ar através de cada uma delas, ou seja, controla-se o caudal de ar que se introduz em cada zona da grelha. Normalmente, estas válvulas encontram-se numa posição fixa regulando o caudal de ar que entra na fornalha com a comporta situada na aspiração do ventilador. Desta forma, é fornecido o caudal necessário para a combustão da casca e ao mesmo tempo consegue evitar-se a aderência das cinzas às paredes das tremonhas e refrigerar as grelhas. O ventilador de ar primário gera as turbulências suficientes, para favorecer estes fatores.

As cinzas e a escória são recolhidas na parte inferior da grelha através de tremonhas com saída aberta para o exterior de maneira que descarregam permanentemente sob um sistema de transporte contínuo denominado descodificador ou *redler* húmido. O *redler* conduz as cinzas e a escória ao sistema de recolha representado na Figura 3.4.2.



Figura 3.4.2 - Recolha de Escórias das Grelhas

Permutadores de Calor

A energia calorífica fornecida aos gases na fornalha da grelha é libertada, em parte, na zona alta da caldeira onde se localizam as serpentinas de óleo térmico. Aqui, a temperatura do óleo térmico é elevada para, posteriormente, atuar como veículo desse calor até aos consumidores finais da fábrica. A restante energia, não transmitida ao óleo, é utilizada no processo de secagem de fibra. Na transferência de calor gerado na combustão de biomassa para o óleo térmico intervêm fatores como:

- As propriedades das respetivas substâncias ou fluidos;
- Os fatores relativos à área de superfície de permuta;
- O sentido de circulação e os caudais dos fluidos com os que se realizar o processo de transferência;
- As características dos materiais de separação dos fluidos.

A câmara onde se produz a combustão está dimensionada de forma a prevenir que o extremo da chama possa sair da fornalha e incidir na zona próxima dos tubos de óleo térmico. Assim, é possível manter-se a temperatura da película de óleo baixa para proteger o óleo e, como consequência, aumentar a durabilidade do óleo térmico e das serpentinas dificultando o aparecimento de fendas térmicas. (Luso Finsa, 2005)

Desta forma, a zona de serpentinas atinge uma grande altura além de apresentar uma divisão em três zonas claramente distintas: a câmara de radiação ou combustão, o *krummer* e a câmara de convecção, conforme ilustra a Figura 3.4.3. Esta disposição evidencia o sentido de circulação do óleo através das serpentinas, mediante um sistema de circulação forçada, e a permuta de calor realizada em contracorrente com os gases de escape da caldeira.

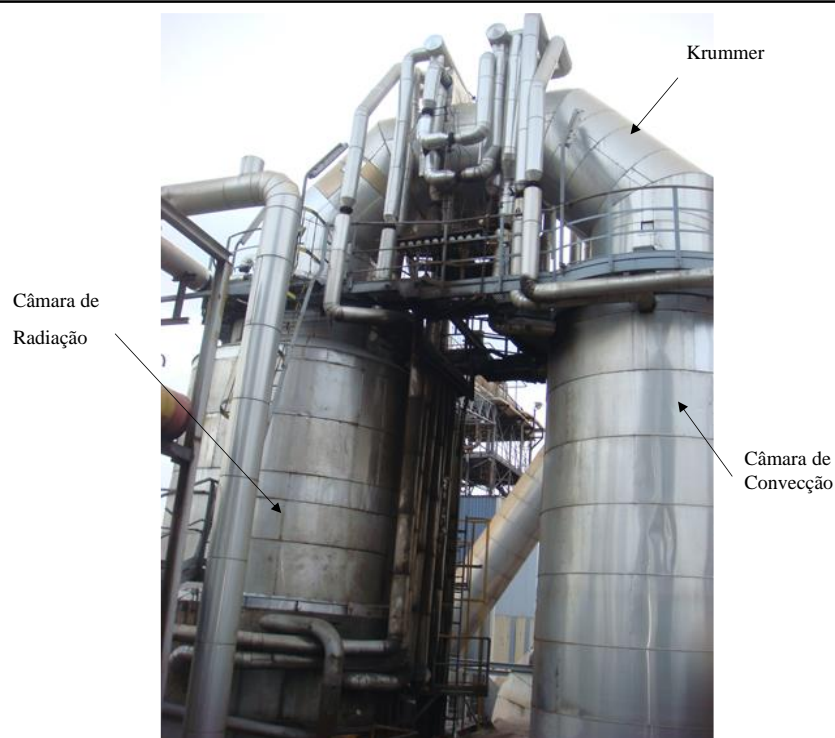


Figura 3.4.3 - Zonas de Permuta Térmica da Caldeira

Dado que já cederam parte da carga térmica uma vez que realizam uma primeira fase de aquecimento do óleo presente na serpentina de convecção, na caldeira de convecção os gases de escape são mais frios. Estes gases vão-se misturar com os gases que saem, a mais alta temperatura, diretamente da câmara de combustão. É conseguido, desta forma, um aquecimento gradual do óleo térmico evitando choques térmicos.

A passagem do óleo térmico pelas câmaras de combustão e convecção efetua-se de forma distinta dada a configuração das serpentinas de uma e da outra câmara. Na câmara de radiação, a serpentina que transporta o óleo térmico está constituída por seis linhas de tubos formando um único entrelaçado exterior e os gases circulam pelo interior da espiral que forma a serpentina. A maior parte da transmissão de calor nesta parte da caldeira realiza-se por radiação, passando a transmissão por convecção para um segundo plano. A passagem de óleo da câmara de convecção até à câmara de radiação é feita através do Krummer como se ilustra na Figura 3.4.4.

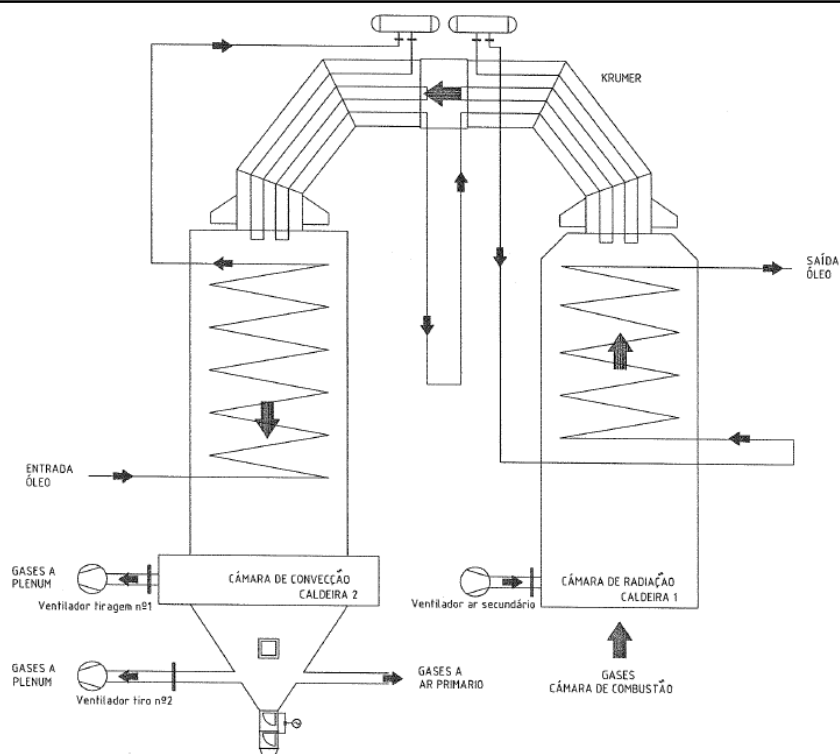


Figura 3.4.4 - Esquema das Zonas de Permuta Térmica (Luso Finsa, 2005)

A serpentina da câmara de convecção, esquematicamente representada na Figura 3.4.5, é ligeiramente distinta da anterior no sentido em que com as seis linhas de tubos para a passagem de óleo são formadas duas hélices concêntricas, uma no interior da outra, com a finalidade de os gases efetuarem um maior percurso em contacto com o óleo (a transmissão de calor nesta parte da caldeira efetua-se por convecção). Desta forma, realiza-se um aquecimento mais gradual e com maior eficiência na permuta.

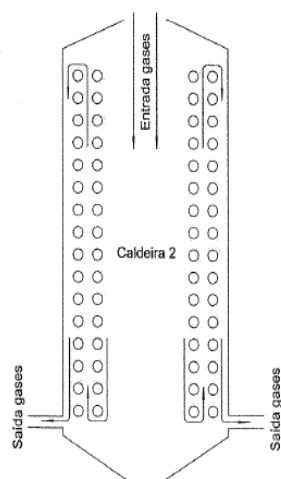


Figura 3.4.5 - Circulação dos gases através das Serpentinas da Câmara de Convecção (Luso Finsa, 2005)

Sistema de Óleo Térmico

A função principal da caldeira é a produção de óleo térmico. A energia calorífica fornecida aos gases liberta-se na zona da caldeira, onde se localizam as serpentinas portadoras

de óleo térmico. O óleo térmico absorve parte do calor fornecendo-o aos gases gerados na combustão, enquanto o resto do calor vai nos fumos de escape para o coletor de gases para posterior aproveitamento na secagem de fibra ou perde-se através da chaminé.

A circulação do óleo através das serpentinas é forçada. Para isso, a caldeira dispõe de 3 bombas de circulação de óleo (2 em funcionamento e 1 de reserva), ilustradas na Figura 3.4.6, cujas impulsões se unem num coletor comum que alimenta a caldeira. O óleo térmico é impulsionado pelas bombas de circulação de óleo da caldeira chegando até à parte inferior da câmara de convecção por onde entra. Como visível na Figura 3.4.7 existe uma tubagem que alimenta as seis serpentinas existentes nesta câmara. Estas serpentinas passam a ser oito no *Krummer*, voltando de novo a ser seis na câmara de radiação para, no fim, sair por uma tubagem para o coletor comum de óleo.

Os caudais de circulação de óleo estão concebidos para que em nenhum ponto se ultrapasse a temperatura de película máxima admissível do óleo sendo o caudal mínimo aproximado de 588,3 t/h. A temperatura de saída do óleo térmico controla-se através da válvula de entrada de ar secundário, situada ao mesmo nível da saída do óleo térmico da câmara de combustão. Se a temperatura do óleo estiver acima do valor ajustado (*set point*), a válvula abre permitindo a entrada de ar frio junto à saída do óleo, reduzindo a sua temperatura. O *set point* está definido para uma temperatura de saída do óleo de 270 °C.

O circuito de óleo térmico dispõe de um sistema de arrefecimento de emergência que, mediante a bomba *diesel* ilustrada na Figura 3.4.8, arranca automaticamente quando, por exemplo, se produz uma falha de tensão nas bombas de circulação de óleo. Se a bomba entrar em funcionamento detém-se a introdução de combustível e ar primário na caldeira. A bomba *diesel* faz um *bypass* às bombas de circulação de óleo obrigando a passar o óleo por um tanque de água fria, arrefecedor de emergência, antes da sua entrada na caldeira. Para que o sistema ofereça as necessárias garantias de segurança é necessário manter-se o bom estado do grupo *diesel* e salvaguardar que o tanque tenha sempre o nível de água adequado, já que nunca se sabe quando será necessário dispor dele. Como cuidado adicional devem ser evitadas elevadas concentrações de sais na água.

O enchimento de óleo das serpentinas da caldeira é feito a partir do tanque de armazenamento de óleo e realiza-se mediante uma bomba que impulsiona o óleo para o coletor de entrada da câmara de convecção onde se distribui através das distintas serpentinas. Por outro lado, o esvaziamento do óleo da caldeira até ao tanque de armazenamento efetua-se a partir das tubagens de entrada tanto para a câmara de combustão como para a câmara de convecção situados na parte inferior de ambas as caldeiras.



Figura 3.4.8 - Sistema de Arrefecimento de Emergência

Sistema de Alimentação de Combustível

O principal combustível que se introduz na câmara de combustão é a casca separada no tambor descascador e armazenada no exterior com rejeitados de fibra e outros desperdícios de madeira. O combustível pode chegar a partir do silo de casca ou dos rejeitados de finos dos crivos, como referido na descrição do processo referente à Crivagem e Lavagem da estilha, e ainda através da linha de casca alternativa, diretamente a partir da estilhadora de combustível sem passar pelo silo de casca. O combustível é descarregado na tremonha de alimentação da caldeira em função do nível de combustível dentro da mesma. A função da tremonha de alimentação é permitir a passagem do combustível para o interior da fornalha sem que este comunique diretamente com o exterior. Evitam-se, deste modo, perdas de tiragem e emissões para o exterior bem como com os riscos que isto implica. Com o auxílio de dois empurradores regula-se a velocidade de entrada da casca no interior da fornalha de grelha.

Sistema de fornecimento de ar e evacuação de gases

O sistema de fornecimento de ar e evacuação de gases inclui todo o conjunto de sistemas associados ao fornecimento de ar necessário à combustão e à evacuação e tratamento de gases que se geram durante o processo de combustão. Recorre-se para isso à utilização de equipamentos como o ventilador de ar primário conforme Figura 3.4.9, responsável pela introdução de ar na câmara de combustão, o ventilador de ar secundário como ilustrado na

Figura 3.4.10, os ventiladores de tiro n.º1 e n.º2 de aspiração de gases, mostrados na Figura 3.4.11 e Figura 3.4.12, respectivamnete.



Figura 3.4.9 - Ventilador de Ar Primário



Figura 3.4.10 - Ventilador de Ar Secundário



Figura 3.4.11 - Ventilador de Tiro nº1



Figura 3.4.12 - Ventilador de Tiro nº2

Circuito de fornecimento de ar

O ar necessário para um bom funcionamento da caldeira é fornecido por vias muito distintas e com caudais diferentes mediante ventiladores de tiragem forçada. Conseguir um caudal adequado de ar de entrada na caldeira implica uma combustão completa do combustível existente na grelha de queima. Para isso, introduz-se a quantidade de oxigénio necessária para completar a reação de combustão a 100%, 17 kg de ar por cada quilograma de combustível seco, e conseguir a temperatura da chama desejada (inferior a 1000 °C). (Luso Finsa, 2005)

Dentro do ar que se introduz na caldeira, pode-se distinguir entre ar primário e ar secundário. O ar primário entra por baixo da grelha, pela zona baixa de cada uma das tremonhas de descarga de cinzas, através de válvulas de regulação manual que permitem abrir mais, ou menos, a passagem de ar a cada uma das tremonhas. Além da função ativa na combustão da casca, acumula com a refrigeração das grelhas impedindo que as cinzas adiram às paredes das

tremonhas. A sua introdução na fornalha é feita através de cinco condutos diferentes mediante o ventilador de ar primário. Dispõe de válvulas de regulação manual na entrada de cada conduta que se costumam colocar numa posição fixa, regulando o caudal de ar com a comporta de aspiração do ventilador (70SA2). Antes de o ar primário ser introduzido na caldeira mistura-se com gases de combustão recuperados da parte inferior da caldeira de convecção para abrir a temperatura do ar. A temperatura de entrada do ar primário na caldeira está regulada a 120 °C e é controlada pela válvula de ar primário (70SA1), situada antes do ventilador, automática comandada por um servomotor de ação proporcional.

O ar secundário, impulsionado pelo ventilador de ar secundário, é introduzido na câmara de radiação por três zonas diferentes:

- Zona superior, para controlo da temperatura de saída do óleo térmico;
- Zonas intermedias, para geração de gases;
- Zona inferior, introduz o ar na parte superior da câmara de combustão. A sua função principal é fornecer o ar necessário para a combustão das partículas solidas em suspensão e proteger as paredes da câmara evitando a acumulação de escórias.

O caudal de ar secundário controla-se mediante uma válvula elétrica situada na aspiração do ventilador de ar secundário (70SA7). Além disso, dispõe de válvulas elétricas na entrada de ar em cada zona que regulam o caudal que entra por cada uma delas (70SA5, zona superior; 70SA4, zona intermédia; 70SA3, zona inferior).

Circuito de evacuação de gases

Os gases resultantes da combustão que têm lugar na fornalha de grelha saem da câmara de radiação depois de efetuar a permuta de calor com o óleo térmico nas serpentinas. Estes gases são portadores de uma importante quantidade de energia térmica como consequência da temperatura residual dos respetivos gases. Por outro lado, detêm cinzas ou resíduos de combustão que saem por arrasto devido aos elevados caudais que circulam no interior da fornalha de grelha. O sistema de ar/gases da caldeira está configurado para o tratamento dos gases de escape, com múltiplas possibilidades, e tem como finalidade otimizar o processo de acordo com a necessidade aproveitamento de energia contida nos gases além da necessidade de proteção do meio ambiente.

Como consequência os gases de escape à saída da caldeira podem dirigir-se para a atmosfera através da chaminé ou para o coletor de gases para a secagem de fibra. Em qualquer um dos casos, os gases têm de ser tratados previamente através dos ciclones depuradores para os libertar de partículas em suspensão como cinzas e “inqueimados”. A chaminé tem a função de evacuar os gases de escape da caldeira, procurando um efeito de diluição e dispersão no meio

de modo a que os gases evacuados não prejudiquem os seres e objetos que se encontram no seu meio envolvente. A expulsão de gases para a atmosfera através da chaminé, embora seja necessária, representa sempre uma perda de rendimento no processo, devido à energia térmica que acompanha os gases de saída e que se perde. A consequência direta disto é que os gases, antes de sair pela chaminé, devem tratar-se para que se possa recuperar a maior quantidade de calor possível.

Com o objetivo de utilizar a energia latente dos gases de escape para, por exemplo, realizar a secagem da fibra, a caldeira dispõe de dois ventiladores de extração de gases. A saída realiza-se através de quatro condutas que se unificam em duas no acesso aos multiciclones. Estas condutas dispõem de entradas de ar frio para reduzir a temperatura dos gases e assim proteger os ventiladores. Os gases extraídos da caldeira, limpos de pó e de cinzas, convergem para um acumulador de gases (PLENUM) onde segundo as necessidades se enviam para os secadores de fibra ou se libertam pela chaminé.

Sistemas de Depuração de Gases

Como anteriormente descrito é necessário depurar os gases antes da sua utilização posterior ou da sua libertação para a atmosfera. Para isso, à saída da caldeira, nas condutas de aspiração de ambos os ventiladores, existem equipamentos multi-ciclónicos. Estes equipamentos são dispositivos mecânicos concebidos para separar as partículas sólidas em suspensão (cinzas, pó, etc.) do gás que as transporta. Os gases entram no ciclone, de forma tangencial à sua parede cilíndrica, para originar, por colisão com as paredes e por aumento da secção, uma diminuição da velocidade e uma turbulência suficiente para que as cinzas se possam libertar do efeito de arrasto do fluido e depositar-se na tremonha de recolha de cinzas. Os separadores ciclónicos dispõem de um sistema de câmaras estanques na saída das tremonhas de recolha de cinzas para impedir o contacto com o ar do exterior. A montagem deste sistema realiza-se em módulos dispostos em série de duas ou três unidades, segundo o grau de estanqueidade que se deseja. Na LUSO FINSA estes módulos são acionados por um sistema pneumático que funciona com deposição de material sobre uma comporta basculante. A abertura dessa comporta é efetuada pela atuação de um cilindro pneumático. Após a sua abertura, o material cai sobre a comporta seguinte que se encontra fechada. Após a primeira comporta ser fechada, é aberta a segunda, e o material cai sobre o parafuso sem-fim que o vai transportar. Esta passagem termina com o fecho da segunda comporta. Sempre que uma comporta se abre a outra tem de estar fechada e vice-versa, nunca deverá suceder o caso de se encontrarem as duas comportas abertas simultaneamente. O ciclo é sequencial.

As ocorrências mais frequentes num sistema deste tipo relacionam-se com a passagem de ar através das câmaras devido à deterioração das juntas de estanqueidade ou à permanência do interruptor fim de curso ligado devido à presença de um obstáculo na comporta ou a um incorreto posicionamento do detetor e, ainda, à existência de fugas de pó pelas juntas.

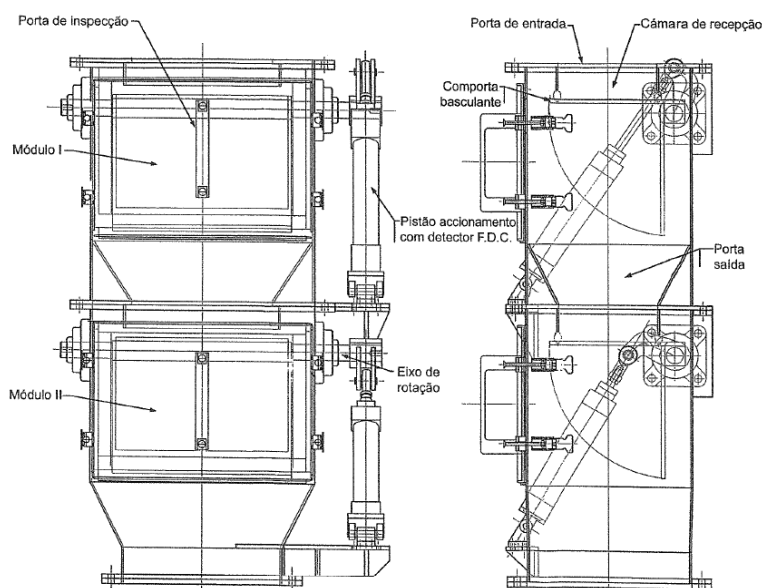


Figura 3.4.13 - Sistema de Câmaras Estanques de Dupla Comporta (Luso Finsa, 2005)

Por último, na parte inferior da câmara de convecção existe uma tremonha de recolha de cinzas para recolher as que se separam do fluxo de gases à saída da caldeira. Também se incorporam ao redler húmido de recolha de cinzas para o sistema de recolha de escórias.

A descrição e compreensão do processo produtivo, do princípio de funcionamento das caldeiras bem como dos seus circuitos é imprescindível para a execução de trabalhos de manutenção ou mesmo para a apresentação de sugestões de alteração ou melhorias no que respeita ao seu funcionamento. No capítulo seguinte são descritos os trabalhos efetuados e as propostas de alteração sugeridas no decorrer do estágio realizado na LUSO FINSA do qual resultou o presente relatório.

Capítulo 4. TRABALHOS DESENVOLVIDOS

4.1. Alteração da Serpentina na Caldeira I

4.1.1. Introdução

A serpentina de radiação é um componente referente à instalação de geração de energia térmica da LUSO FINSA nomeadamente da caldeira I. Durante as últimas paragens programadas da instalação vinha sendo habitual a necessidade de reparação da serpentina de radiação da caldeira através da colocação de escudos protetores na serpentina em virtude da existência de fugas de óleo térmico. As inspeções executadas periodicamente revelavam fissuras de pequenas dimensões que se situavam, sobretudo, nos primeiros troços da serpentina. O seu aparecimento estaria relacionado, em princípio, com a altura de chama da combustão de biomassa.

No sentido de retardar o surgimento de tais fissuras, prolongando assim a vida útil da serpentina, foram tomadas algumas medidas preventivas. Exemplo dessas medidas foi a proteção dos tubos inferiores com chapas refratárias de 8 milímetros de espessura. A seleção do material foi efetuada função das temperaturas envolvidas e a espessura da chapa escolhida de acordo com a existência e disponibilidade em armazém do material em questão.

Esta simples operação de manutenção preventiva deixou de fazer sentido a partir do momento em que as fissuras assumiram dimensões consideráveis, passando a necessidade de substituição da própria serpentina a encarar-se como a única solução viável para a resolução do problema.

Assim, como propósito de eliminar totalmente a probabilidade de ocorrência de fugas e diminuir, conseqüentemente, os tempos de intervenção em paragens de manutenção, procedeu-se à substituição da serpentina de radiação cuja tarefa foi de preparação complexa e delicada.

4.1.2. Enquadramento Teórico

A serpentina de radiação transporta o óleo térmico e é constituída por seis tubos formando um único entrelaçado exterior. Os gases circulam pelo interior da espira que forma a serpentina. A Figura 4.1.1 representa, em corte, a câmara de combustão e ilustra a zona de intervenção bem

como a zona onde se verificaram as maiores ocorrências. A Tabela 4.1.1 resume os dados técnicos da caldeira.

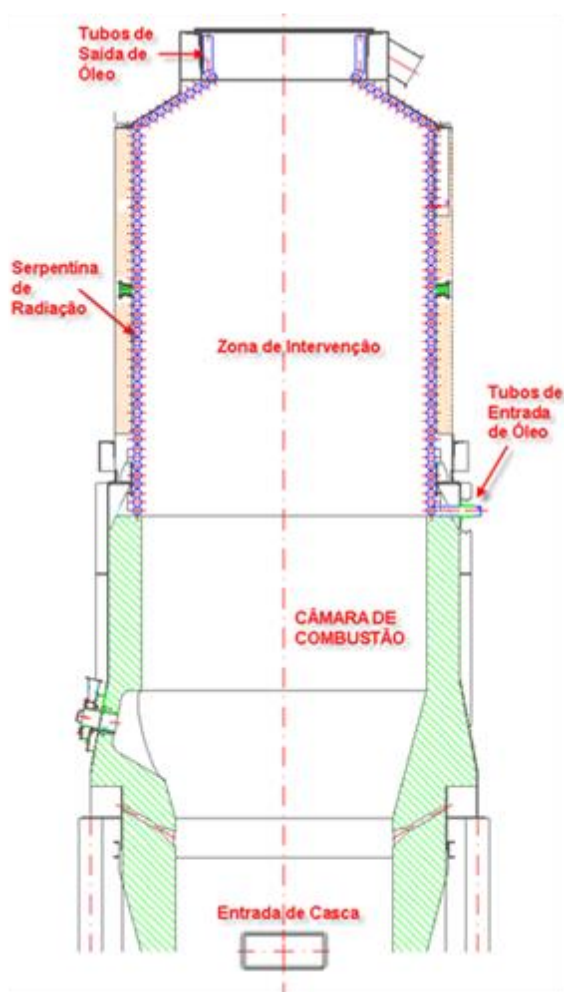


Figura 4.1.1 - Corte da Câmara de Combustão

| | | |
|---------------------------------------|------------|--------------------|
| Potência Total Caldeira | 20.000.000 | Kcal/h |
| Potência Óleo Caldeira | 12.000.000 | Kcal/h |
| Potência Gases | 8.000.000 | Kcal/h |
| Potência Média Real | 9.000.000 | Kcal/h |
| Caudal Médio de Gases | 45.500 | Nm ³ /h |
| Superfície Total grelha | 22,1 | m ² |
| Caudal mínimo (aprox.) | 588,3 | t/h |
| Temperatura saída (Ref.) | 270 | °C |
| Temperatura de Saída de Termofluído | 275 | °C |
| Temperatura de Retorno de Termofluído | 240 | °C |
| Temperatura dos Gases | 300 | °C |
| Consumo Médio Horário de Combustível | 6,15 | t/h |
| Saldo térmico (máx.) | 40 | °C |
| Volume de Fluído | 5450 | l |
| Pressão de Trabalho | 12 | bar |
| Pressão de Teste | 31 | bar |
| Temperatura Máxima | 355 | °C |
| Peso | 7370 | Kg |

Tabela 4.1.1 - Tabela de Dados Técnicos da Caldeira I

4.1.3. Preparação de Trabalhos

Dada a ausência em termos de sustentação bibliográfica e de se tratar de um Equipamento Sob Pressão (ESP), que obedece a parâmetros apertados no que se refere ao procedimento de certificação, optou-se pela compra da serpentina de radiação da caldeira ao fabricante. Os trabalhos de preparação iniciaram-se meses antes da substituição da serpentina propriamente dita, dado que o tempo para construção estava estimado em, aproximadamente, quatro meses.

Pese embora estando o fornecimento do componente a cargo do fabricante, houve necessidade de fazer toda a preparação do trabalho no que respeita à contratação de empresas de montagem, de construção civil, de isolamentos térmicos e outros serviços, nomeadamente, os meios de elevação e acessibilidades (gruas e andaimes). O aprovisionamento dos materiais

foi também realizado com a devida antecedência dado que se previam longos prazos de entrega. Estimaram-se 10 dias de trabalho consecutivos, com equipas a laborar por turnos, compostas por 8 técnicos (serralheiros, soldadores e tubistas). Em termos logísticos foi adjudicado todo o trabalho de substituição da serpentina deteriorada e respetiva montagem do novo equipamento bem como a assistência ao arranque à empresa de montagem.

Previa-se que com a remoção da serpentina existiria a necessidade de reconstrução das paredes da caldeira com material refratário, como tal procedeu-se à contratação de uma equipa que assegura-se a realização deste tipo de trabalho. Relativamente ao isolamento térmico, foi aplicado o mesmo procedimento tendo em conta a área a isolar.

A reserva de material surge na necessidade de antever as dificuldades de execução dado o desconhecimento do tipo de matérias/dimensões dos componentes em causa. O método encontrado foi pesquisar o centro de custo contabilístico de uma intervenção efetuada anteriormente de modo a prever os tipos de materiais a utilizar.

Quanto ao aluguer de equipamentos de elevação foi estimado o mesmo tempo de utilização da intervenção de manutenção registada anteriormente.

Adicionalmente, contemplou-se um estudo exaustivo das cargas previsíveis dos equipamentos a retirar para proceder à retirada da serpentina, e que o equipamento de elevação fosse capaz de fazer a sua elevação sem colocar em causa a integridade dos equipamentos envolventes, bem como a segurança dos meios humanos e materiais envolvidos da substituição da serpentina.

4.1.4. Atividades envolvidas na substituição da serpentina

As etapas para a concretização da substituição da serpentina são as que seguem por ordem de execução: 1.Desmontagem do *Krummer*; 2.Desmontagem da Plataforma; 3.Desmontagem da Serpentina; 4. Preparação da Montagem da Nova Serpentina; 5.Montagem da Serpentina; 6.Montagem da Plataforma; 7.Monstagem do *Krummer*

Cada uma destas tarefas é de seguida descrita pormenorizadamente.

Desmontagem do *Krummer*

Os trabalhos de desmontagem do *Krummer* iniciaram-se com a drenagem dos fluidos existentes na tubagem a desmontar que comunicava com as câmaras de Radiação-Convecção, procedendo-se ao desaperto das ligações flangeadas, conforme é ilustrado nas Figura 4.1.2 e Figura 4.1.3. A drenagem foi executada, tanto quanto possível pelas válvulas existentes nas linhas de impulso. Uma vez que estas ligações fazem cifão, existe uma quantidade de óleo que não se consegue retirar aquando do vazamento da caldeira, não sendo possível também drenar

através da abertura das válvulas existentes. Como resultado houve um, controlado, derrame de óleo.



Figura 4.1.2 - Desmontagem das Ligações de Óleo Térmico



Figura 4.1.3 - Desmontagem e Marcação das Ligações de Óleo Térmico

Em ligações específicas existem raquetes com furos calibrados que foram alvo de marcação para que durante a reposição do equipamento em funcionamento não se altera-se o modo de atividade da instalação, as ligações flangeadas com atravancamento dos orifícios calibrados estão indicadas na Figura 4.1.3. Nestes casos específicos procedeu-se à numeração de cada posição de forma a manter exatidão no momento da montagem do equipamento.

Após a desmontagem das ligações de óleo retirou-se o coletor de óleo situado junto ao *Krummer*, efetuando-se também a marcação do posicionamento das raquetes, como ilustra a Figura 4.1.4. Com a retirada do coletor, e à semelhança do que aconteceu com a desmontagem do *Krummer*, todas as ligações de óleo deverão ser devidamente tamponadas, conforme ilustra a Figura 4.1.5. O *Krummer*, representado na Figura 4.1.7, subdivide-se em duas partes que podem ser retiradas separadamente. Cada uma delas está fixa à plataforma existente no topo de cada uma das câmaras (Radiação e Convecção). A remoção do isolamento é necessária não só para a separação das duas partes mas também para acesso às alcaiatas de elevação utilizadas para amarração das correntes da grua principal.



Figura 4.1.4 - Desmontagem do Coletor



Figura 4.1.5 - Tamponar Ligações

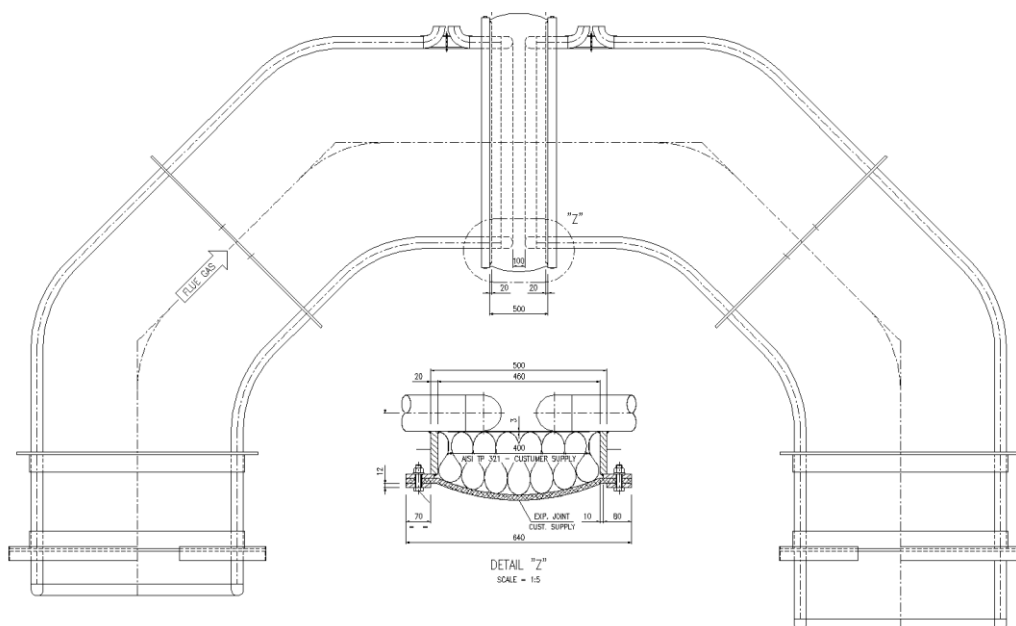


Figura 4.1.7 - Excerto do desenho de Montagem Krummer (Luso Finsa, 2014)

A união das duas partes é garantida pela existência de uma junta de dilatação de gases concebida para resistir a elevadas temperaturas. Esta junta está envolta por uma chapa com 2 mm de espessura como ilustra Figura 4.1.7. Esta zona de união do *Krummer* é envolvida por um isolamento que também é necessário retirar com a finalidade de aceder às ligações aparafusadas que permitem a divisão do equipamento em duas partes. O isolamento foi retirado, ao nível da junta, permitindo aceder-lhe como mostram as Figura 4.1.8 e Figura 4.1.9.



Figura 4.1.8 - Remoção de Isolamento do Krummer



Figura 4.1.9 - Junta de Gases

Sendo desconhecido o posicionamento alcaiatas de elevação para amarração das correntes do meio de elevação houve necessidade da retirada de mais área de isolamento do que o efetivamente necessário. A grua de 220 toneladas estava dedicada à elevação do *Krummer*, enquanto uma outra grua de 45 toneladas, munida de bailéu, garantiu a acessibilidade para o posicionamento das correntes. A grua principal de movimentação de componentes foi estabilizada junto dos tanques de armazenamento da cola como ilustra a Figura 4.1.10. Existem quatro pontos de elevação identificados para amarração das correntes como se mostra na Figura 4.1.11.

A elevação do *Krummer* iniciou-se após o desaperto dos parafusos de fixação do mesmo. Cada um dos apoios possuía 2 parafusos M20. Através da informação obtida no desenho de conjunto que o *Krummer*, este teria um peso total de 8.57 toneladas. Dado que apenas se procedeu à desmontagem de metade do equipamento, deduziu-se que o seu peso fosse aproximadamente 4.28 toneladas, sendo ainda de considerar o óleo existente no seu interior, o qual não foi possível drenar.

Após desligados todos os pontos de fixação, a carga suportada pela grua era de cerca 7.5 toneladas.



Figura 4.1.10 - Estabilização da Grua Principal

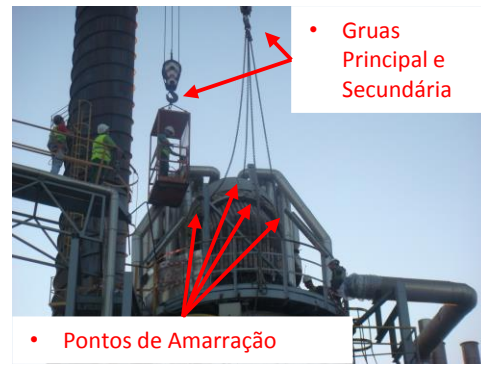


Figura 4.1.11 - Posicionamento das Gruas e Pontos de Amarração

Verificando-se que a carga suportada pela grua ultrapassava largamente o deduzido pela consulta do desenho de construção do equipamento, detetou-se a existência de contacto entre o *Krummer* e o material refratário. Tal implicou a necessidade de se recorrer ao posicionamento das bombas hidráulicas de elevação, na zona dos apoios, para auxiliar a “descolagem” como pode ser observado nas Figura 4.1.12 Figura 4.1.13. A carga suportada pela grua após o total desprendimento do *Krummer*, ilustrado na Figura 4.1.14, foi de 9.5 toneladas.



Figura 4.1.12 - Descolagem dos Apoios



Figura 4.1.13 - Contacto com Material Refratário



Figura 4.1.14 - Suspensão do Krummer

Desmontagem da Plataforma

Com a remoção do *Krummer* ficaram visíveis as zonas de passagem de tubagem no material refratário como é evidente na Figura 4.1.15. Para remover a plataforma foi necessário efetuar limpezas na zona assim como tubagens que é necessário remover como ou refratário que é necessário retirar. As tubagens da serpentina foram cortadas de modo a que a plataforma passe-se de forma guiada pelos espaços existentes no material refratário. A plataforma encontra-se ligada ao *casing* da serpentina por uma flange como mostra a Figura 4.1.16. Ao desapertar os parafusos de aperto de união da flange esta fica solta. A amarração das correntes é feita nos olhais de elevação que são colocados aproveitando os pontos de fixação do *Krummer* como visível na Figura 4.1.17. A força exercida para a “descolagem” da plataforma foi de 8 toneladas, sendo que a marcação da grua no trajeto desde o topo da caldeira até ao chão era de 6 toneladas. A retirada da serpentina/*casing* foi executada de uma só vez para que se garantisse a saída das duas partes do *casing* uniformemente.

A Figura 4.1.18 ilustra a união, por soldadura, de troços de perfis UPN120 em todo o perímetro da câmara de radiação. Esta união garante a desmontagem do *casing* em perfeita união. Foram utilizados quatro pontos de elevação de engate das correntes da grua para a retirada, de forma estabilizada, do conjunto *casing* + Serpentina como mostra a Figura 4.1.19. Para desligar todo o conjunto do restante equipamento foi necessário proceder ao desaperto da flange do *casing*. No momento em que as correntes da grua ficaram em tensão notou-se um ligeiro movimento do conjunto, a carga medida pela grua é de 11,5 toneladas mas no movimento até ao solo, como mostra a Figura 4.1.21 forma atingidas as 13 toneladas.



Figura 4.1.15 -Serpentina de Radiação após Remoção do Krummer



Figura 4.1.16 - Localização da Flange da Plataforma



Figura 4.1.17 - Posicionamento dos Olhais de Amarração



Figura 4.1.18 - Aplicação de UPN120



Figura 4.1.19 - Pontos de Ancoragem e Flange de Conjunto



Figura 4.1.20 - Movimentação do Casing+Serpentina



Figura 4.1.21 - Movimentação do Casing+Serpentina

Posteriormente aos trabalhos de desmontagem dos diferentes componentes, foi necessário a realização de trabalhos intermédios de preparação para montagem da nova serpentina. Aproveitando a desmontagem do *Krummer*, ilustrada na Figura 4.1.22, foram efetuados trabalhos de inspeção, nomeadamente controlo de espessuras tubulares, estado de corrosão do feixe tubular e recolha de elementos para suporte bibliográfico de manutenção. Concluída a

inspeção, iniciou-se a preparação e limpeza de todas as sedes das uniões flangeadas existentes no equipamento.



Figura 4.1.22 - Trabalhos de Limpeza e Inspeção Krummer

Após avaliação do estado do *casing* da serpentina, foi decidido o reaproveitamento do mesmo. Com este objetivo procedeu-se à desmontagem e separação da serpentina antiga do *casing* para posterior beneficiação e preparação do mesmo. O *casing* subdivide-se em duas partes ligadas entre si por uma flange como mostra a

Figura 4.1.23 e, em pormenor, a Figura 4.1.24. Para retirar o *casing* foi necessário o seu total desaperto e com o auxílio da grua voltar a montá-lo na serpentina.



Figura 4.1.23 - Casing a Recuperar



Figura 4.1.24 - Flange de Aperto do Casing

Preparação de Tubagem da serpentina Nova

Com a chegada da nova serpentina foi necessário soldar troços de tubo uma vez que os comprimentos das tubagens de entrada e saída de óleo vêm de fábrica com comprimento para acerto na montagem do equipamento como ilustram as Figura 4.1.25 e Figura 4.1.26. O fabricante enviou os troços de tubo para que as soldaduras pudessem ser realizadas no local determinando assim o comprimento das tubagens inferiores.



Figura 4.1.25 - Soldaduras das Tubagens de Entrada de Óleo (Inferiores)



Figura 4.1.26 - Soldaduras das Tubagens de Saída de Óleo (Superiores)

Além da confirmação e retificação das medidas relativamente ao comprimento nos tubos inferiores, também no caso dos tubos de saída de óleo, superiores, foi necessário efetuar soldaduras para obter a medida correta. Ainda sobre os berços de transporte foi executado um procedimento de limpeza com recurso ao varrimento do feixe tubular por ar comprimido, no sentido de eliminar eventuais sujidades dentro das tubagens. Concluída a preparação de tubagem, com a utilização das duas gruas disponíveis, foi verticalizado o feixe tubular como mostram as Figura 4.1.27 e Figura 4.1.28, colocando-se em posição de montagem.

Tal como aconteceu durante a desmontagem foram utilizados o mesmo número de pontos de elevação também no caso da serpentina nova, são quatro os pontos de elevação para efetuar a amarração de forma estabilizada das correntes da grua como demonstra a Figura 4.1.28.

Inicialmente previa-se o posicionamento da serpentina nova e posteriormente soldar as ponteiros de tubo. Porém, os troços que se contavam soldar no local vinham já soldados de estaleiro. Todavia, de forma a permitir a passagem das tubagens com o novo comprimento, foi necessário abrir rasgos no corpo da caldeira como mostra a Figura 4.1.29.



Figura 4.1.27 - Alteração de Posição da Serpentina



Figura 4.1.28 - Posição de Montagem

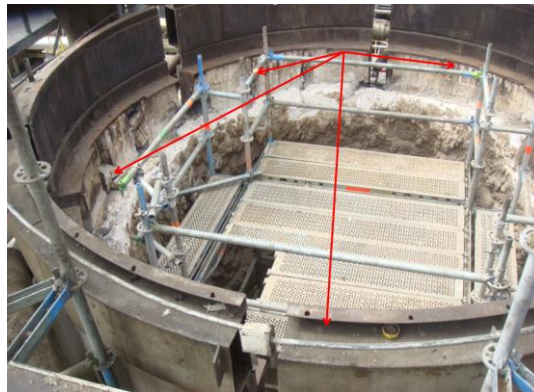


Figura 4.1.29 - Rasgos para Passagem da Tubagem

Montagem da Serpentina

A montagem da nova serpentina é feita após a colocação do *casing* existente na nova serpentina. Os passos de montagem, ilustrados na Figura 4.1.30 e Figura 4.1.31 são inversos aos passos de desmontagem.

Montagem da Plataforma

A montagem da plataforma de topo, como ilustra a Figura 4.1.32, exigiu especial cuidado dado que a posição inicial teve de ser respeitada não só pelo posicionamento das plataformas de acesso mas também pela necessidade de fazer passar as tubagens de circulação de óleo térmico por entre os rasgos de material refratário já existentes.



Figura 4.1.30 - Montagem da Serpentina



Figura 4.1.31 - Montagem da Serpentina



Figura 4.1.32 - Montagem da Plataforma de Topo

Montagem do *Krummer*

Após a montagem da plataforma e aperto da respectiva flange de ligação ao corpo envolvente da serpentina, o procedimento de montagem do *Krummer*, ilustrado na Figura 4.1.33, segue os passos de forma invertida da desmontagem.



Figura 4.1.33 – Montagem do Krummer

Reparação de Refratário e Isolamentos

Terminado o posicionamento do *Krummer*, procedeu-se à intervenção no interior da câmara de radiação, nomeadamente às reparações no material refratário envolvente da combustão. A Figura 4.1.35 mostra a restauração efetuada na junção da serpentina de radiação com a serpentina do *Krummer*. Nesta união, foi igualmente tida em conta a necessidade de uso de isolamento térmico, colocando por dentro e por fora manta cerâmica de 25 milímetros. Também a nova serpentina, imediatamente antes da montagem da plataforma de topo, foi isolada com recurso a manta cerâmica de espessura 25 mm como mostram as Figura 4.1.35 e Figura 4.1.36. Já o *Krummer* foi isolado com manta lã de rocha em toda a sua extensão, coberta com uma proteção mecânica em chapa de alumínio. No sentido de facilitar uma próxima intervenção, existiu o cuidado de nas zonas das alcaiatas de elevação do equipamento executar caixas independentes para melhor as acessibilidades.



Figura 4.1.33 - Montagem do Krummer



Figura 4.1.34 - Reparação de Material Refratário



Figura 4.1.35 - Isolamento Interior com Manta Cerâmica



Figura 4.1.36 - Isolamento da Serpentina



Figura 4.1.37 - Isolamento da Serpentina

Prova Hidráulica e Colocação em Serviço

Para a execução dos testes sob pressão hidráulica, antes da colocação em funcionamento da serpentina, foi efetuado um procedimento de isolamento da serpentina da câmara de combustão relativamente ao restante circuito de óleo térmico. Colocaram-se raquetes cegas nas bombas de recirculação de óleo que alimentam a caldeira e no coletor de retorno verificando-se a estanqueidade das mesmas. Posto isto, o óleo foi introduzido na caldeira, aspirado diretamente do depósito de armazenamento, e colocado a uma pressão de 15 bar. Não se verificaram perdas de pressão e ao longo do dia foi observado um aumento de pressão até aos 16 bar. A caldeira foi então colocada à pressão de serviço sendo efetuado o ensaio de arranque em vazio sem que se verificasse qualquer registo de anomalia.

4.1.5. Conclusão

Apesar de todas as dificuldades encontradas por falta de suporte bibliográfico, registos deficientes de planos de manutenção, a metodologia utilizada foi muito bem-sucedida sem grandes contratemplos o que nos leva a concluir que o procedimento elaborado e definido para a substituição da serpentina foi de tal forma detalhado que conseguiu antever as possíveis entropias à permuta do equipamento. Para este sucesso contribui, indubitavelmente, a boa organização conseguida tanto ao nível do planeamento como de aquisição de materiais e dos meios e recursos humanos necessários ao normal desenrolar dos trabalhos. Todas as etapas do trabalho a realizar ocorreram de forma harmoniosa.

4.2. Alteração dos Parâmetros de funcionamento da Caldeira I

No sentido de otimizar o funcionamento da caldeira I, para além da substituição da serpentina na câmara de combustão foram alterados os parâmetros de funcionamento. Primeiramente, um grupo de trabalho fez uma abordagem genérica identificando cada parâmetro de controlo e regulação do equipamento. Nesta fase e, sem entrar em detalhes, foram analisadas duas opções para melhorias de eficácia e eficiência no funcionamento da caldeira. Determinou-se que a válvula do ventilador principal de tiro seria a responsável pela regulação da temperatura do óleo térmico. Adicionalmente, foi equacionada a possibilidade de operar de acordo com critérios de qualidade e humidade da biomassa para que os caudais de ar e parâmetros de combustão se ajustassem a uma combustão mais eficiente. Esta primeira proposta de funcionamento determinou também que a válvula de entrada de ar à altura dos queimadores pudesse ajudar a controlar temperatura dos gases e o oxigénio da câmara de combustão. A depressão seria autorregulada de acordo com a quantidade de ar admitido, combustível e massa de gases quentes. Provavelmente com este conjunto de alterações, a válvula do tiro do ventilador de *by-pass* estaria controlada por pressão, ou seja, pela pressão de admissão de gases a partir do coletor + 1mbar em relação ao *set-point* definido. Nesta proposta de funcionamento apontou-se, desde início, pela necessidade de instalação de um novo variador ou até mesmo uma nova válvula. Tal não poderia ser encarado com uma alteração, no que respeita ao funcionamento, mas sim uma revisão ao modo de funcionamento atual. Por sua vez, a segunda proposta de funcionamento determinava que a válvula do ventilador de tiro principal permanece na posição atual (100% aberta). Foi igualmente proposto que a temperatura de óleo térmico fosse regulada pela válvula de tiro do ventilador de *by-pass* e a regulação da depressão da câmara de combustão fosse feita pela válvula de ar primário conjuntamente com a válvula inferior de ar secundário. Este conjunto de medidas prevê que a alimentação de biomassa à caldeira permanecesse manual.

As alterações propostas contemplam a instalação de novos alarmes e revisão dos existentes da caldeira em funcionamento. É todavia necessário, além de vigilância apertada a sondas e outros componentes, adotar um rigoroso controlo no sentido de garantir a veracidade dos dados transmitidos. As temperaturas máximas dos gases exigem um pré-alarme de uma sensibilidade de medição nunca inferior a 50°C.

Na Tabela 4.2.1 apresentam-se as características técnicas relevantes para o estudo e os correspondentes valores no projeto original da instalação. As atualizações no modo de funcionamento ao longo dos anos refletem apenas a adição de gases quentes diretamente na

câmara de combustão, porém não é possível considerar-se como um incremento na capacidade de combustão, mas sim, uma alteração na eficiência global.

De seguida é explicado o modo de regulação em vigor para posteriormente explicitar as alterações em termos de variação do funcionamento da caldeira.

Segundo o diagrama de funcionamento da caldeira no ativo, representado na Figura 4.2.1, as válvulas de regulação de caudal 70SA8 e 70SA20 dos ventiladores de tiro nº 1 e 2 respetivamente, controlavam a pressão no interior da câmara de combustão. Por sua vez, a válvula reguladora de caudal de ar 70SA3 estaria sempre 100% aberta não sofrendo alterações na sua posição. Relativamente ao abastecimento de biomassa à caldeira, este seria um parâmetro único e exclusivamente controlado pelo operador. A válvula reguladora de ar primário referente ao ventilador de ar primário de combustão 70SA2 era controlada em função da temperatura de óleo sendo o seu limite de abertura controlado pelo operador. No que respeita ao arrefecimento, a válvula 70SA5 era controlada em função da temperatura do óleo. Junto do ventilador de ar secundário de refrigeração, a válvula 70SA7 era regulada em função da pressão de ar secundário por um *set point* dado pelo operador.

Tabela 4.2.1 - Características Técnicas da Caldeira I

| | | |
|--|--------------------|-------|
| Características Técnicas | kW | 20000 |
| Capacidade Calorífica em Óleo Térmico | kW | 14000 |
| Temperatura de Design da Camara de Combustão | °C | 900 |
| O ₂ contido nos gases Quentes | % | 12 |
| Pressão interna da Câmara de Combustão | mbar | -1.5 |
| Fluxo de Gás Quente na Câmara de Combustão | Nm ³ /h | 53000 |
| Fluxo de Óleo Térmico | m ³ /h | 600 |
| Temperatura de Óleo Térmico | °C | 40 |

A pressão no *Plenum* de gases era regulada pela 70SA9 através de um *set point* dado também pelo operador. A válvula 70SA4 seria regulada pela pressão na câmara de combustão com um limite de funcionamento entre os 85 e os 100% e a 70SA1, reguladora de temperatura de ar primário, em função do *set point* dado pelo operador.

Neste modo de funcionamento, ao atingir-se a temperatura desejada, era reduzida automaticamente a abertura da válvula de ar primário. Pese embora o sistema continuasse a ser alimentado a queima, todavia, não se realizava de forma correta porque não existia ar suficiente para a queima completa do combustível que deveria ser introduzida através da válvula de ar primário. Existia uma acumulação de combustível, aumentando as temperaturas no interior da

câmara de combustão. A capacidade da instalação térmica é diretamente proporcional ao caudal de gases quentes no ponto de descarga (com temperatura e composição do gás controlada). O caudal é determinado pela capacidade de tiragem dos ventiladores de gases quentes. Por esta razão, a monitorização do caudal de gases pode ser feita controlando o ventilador dos gases de escape. Esta instalação possui dois ventiladores de tiro. Um dos ventiladores de tiro pode ser usado para a regulação da capacidade de óleo térmico e o outro pode ser usado para o secador de fibra. Com a variação induzida pelos ventiladores, que determinam uma variação do intervalo de combustão, respeitam-se os balanços de combustão. O respeito dos balanços de combustão permitem controlar as temperaturas na câmara de combustão e os parâmetros de gases quentes.

A atualização proposta é a especificada no diagrama da Figura 4.2.12. Foi criado um regulador Proporcional Integral Derivativo (PID) R9 que controla a 70SA8 que é a válvula que se encontra antes do ventilador de tiro e regula o fluxo de extração de gases da combustão e a 70SA5 que regula o ar frio que entra que tem como função reduzir o fluxo de extração de gases provenientes de combustão e assim ajudar a equilibrar a temperatura. O PID R1 controla a pressão na câmara de combustão regulando-a através da válvula 70SA3 (Ar Secundário), 70SA2 (Ar Primário) e a quantidade de biomassa introduzida pelos puxadores. Para garantir que o fluxo de ar que entra pela 70SA3 está de acordo com a posição medida na válvula, foi definida a pressão de trabalho do ventilador de ar secundário para 36 mbar de acordo com as indicações do fabricante. A limitação da temperatura de gases quentes no ventilador 70M13, para proteção do mesmo (ventilador de Tiro nº1 de aspiração de Gases ao Plenum), é realizada pela válvula 70SA6. A regulação de gases quentes extra para a secagem é feita pelo ventilador principal de tiro 70M13-1, através da válvula 70SA20, e a pressão de regulação do secador feita pela válvula 70SA9. A limitação da temperatura de gases quentes deste ventilador é efetuada pela válvula 70SA21.

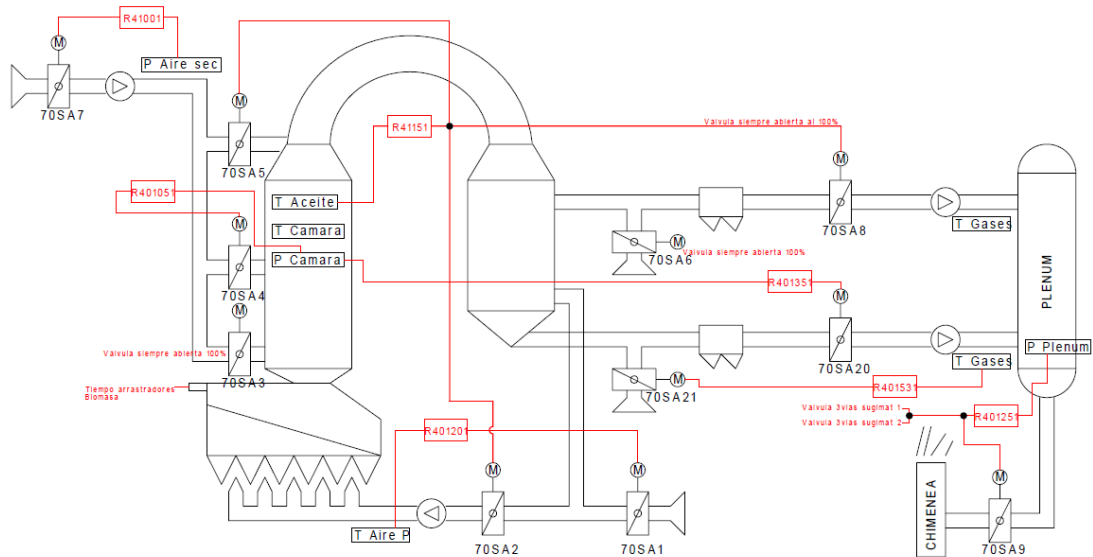


Figura 4.2.1 - Diagrama de Funcionamento da Caldeira Ativo (Luso Finsa, 2014)

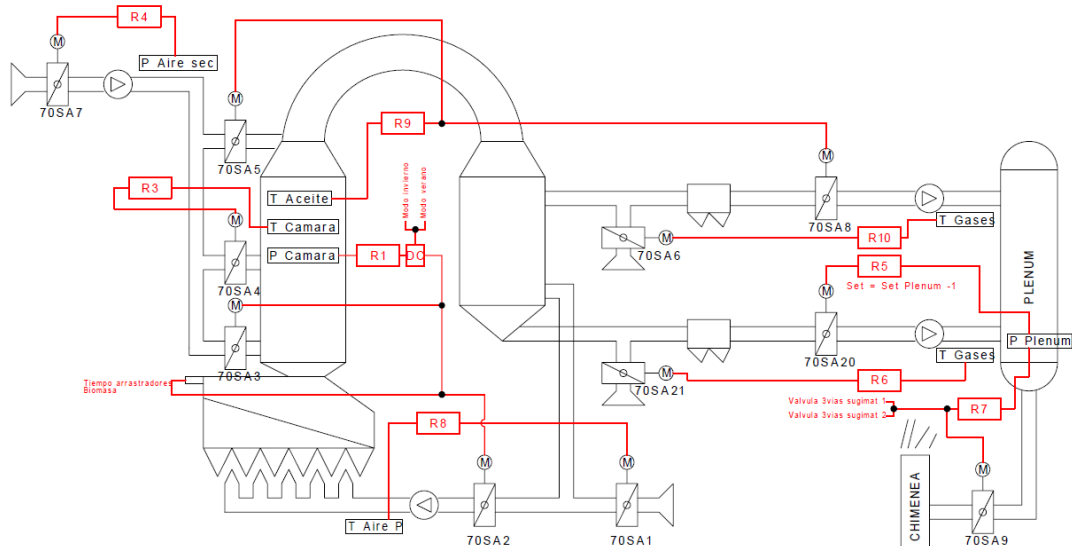


Figura 4.2.2 - Diagrama de Funcionamento Proposto (Luso Finsa, 2014)

Dependendo das necessidades de calor definida pelos ventiladores de tiro e, consequentemente, pela variação da produção de gases quentes é obtida a regulação da combustão. Desta forma, é possível controlar a pressão da câmara de combustão. A movimentação das grelhas associada ao controlo de entrada de combustível pelo sistema de alimentação e a regulação do ar de combustão torna possível controlar o diagrama de combustão sobre os seguintes pressupostos de regulação:

- Regulação (ou temporização) da operação de entrada de combustível por parte da unidade de alimentação;
- Regulação (ou temporização da velocidade das grelhas);
- Regulação da quantidade de ar primário (70SA2);

- Regulação do ar de combustão secundário (70SA3).

Ao controlar o empurrador de alimentação, torna-se possível a monitorização da quantidade de combustível e a regulação do ar, respeitando assim o diagrama de combustão. Se o diagrama de combustão for respeitado, a temperatura do gás quente estará controlada. A regulação da temperatura é possível com a regulação da 70SA4. É possível respeitar o diagrama de combustão se as características do combustível estiverem bem definidas. Normalmente, é suficiente quantificar a humidade do combustível dependendo das diferentes estações do ano ou dias, considerando que não altera o tipo de combustível durante os períodos definidos da produção da fábrica. Este ponto pode ser definido e discutido durante as etapas do trabalho seguintes.

É muito importante a definição do balanço do diagrama de combustão antes da combustão para escrever o algoritmo da grelha/movimento alimentador e regulação de ar (medição e controle de fluxo de ar). É possível definir 3 ou 4 pontos/áreas de trabalho que, normalmente, podem cobrir todas as áreas de trabalho. O sistema descrito permite evitar um problema que muitas vezes é notório nos sistemas de monitorização tradicionais que é o risco de exceder a capacidade de combustão de projeto e a pressão relacionada com a temperatura na câmara de combustão.

Os dados de densidade do combustível misturado e o volume de combustível pretendido durante o curso do empurrador são a densidade: 392 kg/m^3 e o volume: $0,27\text{m}^3$ ($0,135\text{m}^3$ cada). Dados esses considerados no balanço de energia e massa conforme descrito na Tabela 4.2.2. A Tabela 4.2.3 resume os parâmetros de combustão e mostra três níveis de consumo de biomassa que é igual a três temporizações diferentes dos alimentadores. A tabela de parâmetros de combustão é feita usando um seletor físico com 6 posições: 3 de Inverno e 3 de verão). Podendo-se concluir que a alimentação de combustível é linear relativamente à quantidade de massa de ar necessária como ilustra o Gráfico 4.2.1.

Tabela 4.2.2 - Balanço de Energia e Massa (Luso Finsa, 2014)

| | | |
|--|------------|--------------------------|
| Capacidade de Combustão | | 23178 kW |
| Capacidade de Óleo Térmico | | 14000 kW |
| Capacidade de Gases Quentes para Secadores | | 9178 kW |
| Caudal de Gases Quentes à disposição dos Secadores | 76813 Kg/h | 61620 Nm ³ /h |
| Temperatura dos Gases Quentes | | 380 °C |
| O ₂ (Interior da Câmara de Combustão) | | 11,42% |
| LHV (mistura entre madeira e casca) | | 2,33 kWh/kg |
| Caudal de Combustível (50% Madeira + 50% Casca) | | 9966 kg/h |
| Caudal de Ar da Combustão | 67100 kg/h | |
| Caudal de Gás de Combustão | 73813 kg/h | |

Tabela 4.2.3 - Tabela de Parâmetros de Combustão (Luso Finsa, 2014)

| | | Inverno | | | Verão | | |
|------------------------------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Capacidade de Combustão (kW) | | 15000 | 20000 | 23000 | 15000 | 20000 | 23000 |
| Consumo de Biomassa | Kg/h | 6213 | 8284 | 9526 | 5471 | 7295 | 8389 |
| Válvula de Fluxo de Ar 70SA2 | Nm ³ /h | 16809 | 22411 | 25773 | 16368 | 21824 | 25098 |
| Válvula 70SA2 Aberta | % | | | | | | |
| Válvula de fluxo de ar 70SA3 | Nm ³ /h | 5547 | 7396 | 8505 | 5401 | 7202 | 8282 |
| Válvula 70SA3 Aberta | % | | | | | | |

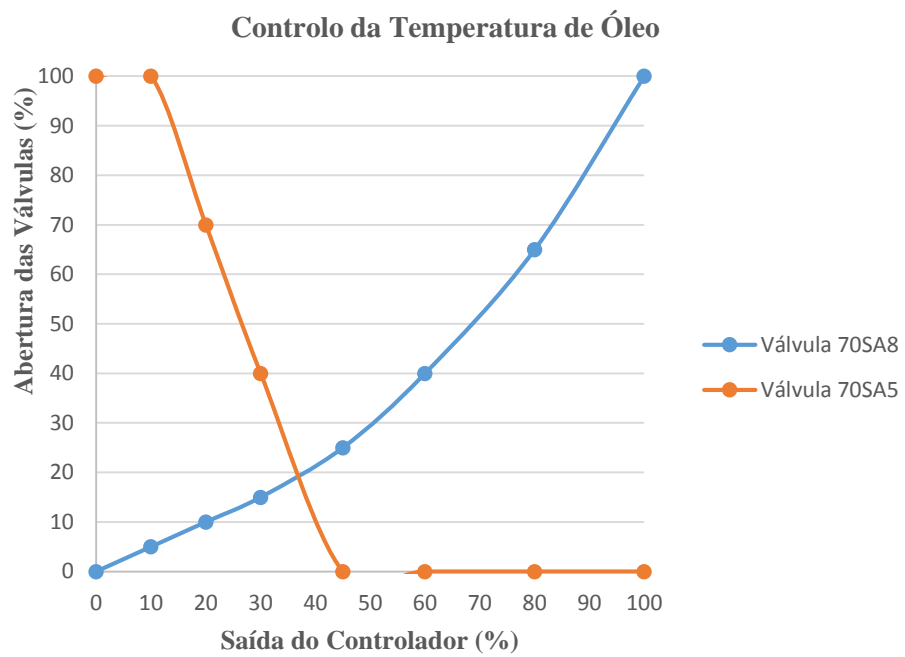


Gráfico 4.2.1 - Comportamento das válvulas 70SA8 e 70SA5

4.3. Alterações na Rede de Óleo Térmico

4.3.1. Introdução

Com um projeto de aumento de capacidade produtiva a decorrer paralelamente à situação de normal laboração surgiu a necessidade de rever a rede de óleo térmico da instalação fabril no sentido de suprir as necessidades dos novos cenários de trabalho, nomeadamente a exigência de mais caudal de óleo em ramais mais longínquos. Como tal foram analisadas as necessidades energéticas, as velocidades, secções de tubagens da rede, caudais e pressões das bombas e caudais de retorno aos consumidores. Adicionalmente foram também elaboradas propostas de intervenção na rede com o intuito de obter melhorias no nível térmico da instalação. As medidas interventivas a executar ao nível da rede relacionam-se com o deslocamento do coletor de retorno dos consumidores de óleo, com a instalação de restrições (orifícios calibrados) para o estrangulamento do fluxo e com o aumento da temperatura de alimentação do óleo térmico das caldeiras. Paralelamente, foram analisadas as linhas de óleo térmico da fábrica e a própria rede de bombagem de óleo térmico.

4.3.2. Enquadramento Técnico

A primeira fase consistiu no deslocamento do coletor principal tendo como objetivo evitar a mistura de óleo frio, proveniente dos consumidores, com óleo quente, proveniente das caldeiras. A solução encontrada para executar este desvio de posição foi deslocar a entrada do coletor para o mais próximo possível da aspiração das bombas das caldeiras como ilustra a Figura 4.2.1.

A segunda fase consistiu na instalação de orifícios calibrados com o objetivo de conseguir apenas a quantidade necessária de óleo nos consumidores, ou seja, evitar retornos desnecessários que aumentam o consumo elétrico da instalação e melhoram a disponibilidade do óleo. A solução encontrada passou por instalar nas terceiras vias dos consumidores um orifício calibrado (disco cego com um furo de 10 mm) que, garantindo o aquecimento na tubagem de retorno, evita que este se faça em grandes quantidades.

Relativamente à análise das linhas de óleo térmico, sendo ainda um trabalho em estudo, o objetivo é garantir o caudal e a temperatura desejada em todos os consumidores da fábrica após o aumento da capacidade de produção. Desta forma, pretende-se efetuar uma análise dos diâmetros para garantir que estes cumpram com os requisitos necessários ou se é necessária a instalação de novas tubagens paralelamente à rede existente. Posto isto, foi necessário calcular as perdas de carga totais da instalação da rede de óleo térmico na nova zona de implantação da

mesma forma que são avaliados os parâmetros de pressão e caudal necessários em cada um dos consumidores. Foram calculadas, adicionalmente, as perdas de carga nos troços deste mesmo ramal, mostrado na Figura 4.3.2, e as velocidades, caudais e energia necessária analisados. A

Tabela 4.3.1 indica os valores obtidos. Concluiu-se que o ramal fornecedor de óleo térmico à prensa com um aquecimento de 0,5 Gcal/h para um salto térmico de 20°C, parâmetros impostos pelos fabricantes da nova prensa, é muito grande (4,23 m/s), pelo que um diâmetro de 200 milímetros não seria suficiente. Assim, analisaram-se quais seriam as necessidades, em termos de salto térmico, para tornar possível a utilização da mesma tubagem em DN200 conforme descrito na Tabela 4.3.2. O valor obtido corresponde a um salto térmico de 25°. Esta opção permanece, todavia, em análise pelo fabricante da nova instalação.

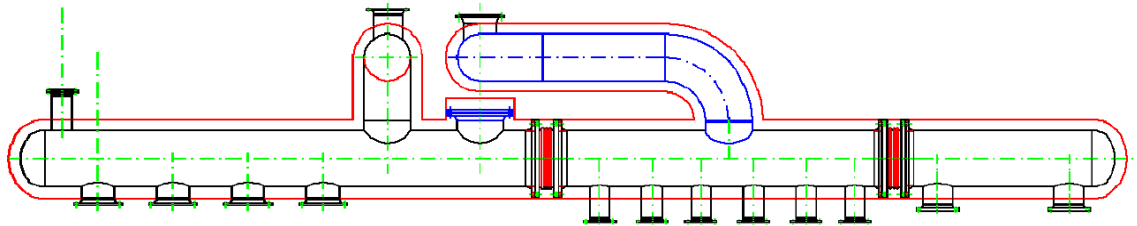


Figura 4.3.1 – Excerto da Solução Construtiva Para Alteração da posição do Coletor de retorno (Luso Finsa, 2014)

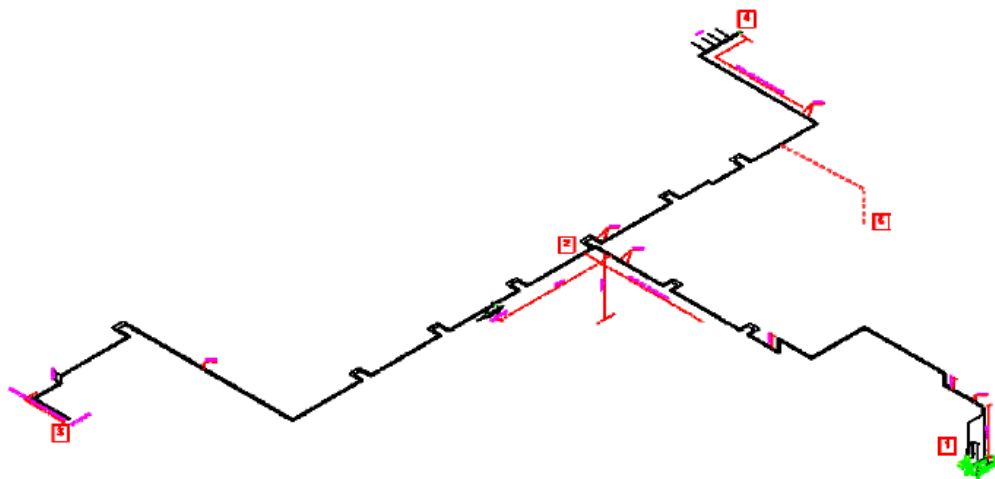


Figura 4.3.2 - Excerto do Ramal de Óleo Térmico (Luso Finsa, 2014)

Tabela 4.3.1 - Resumo de Parâmetros por Troços com Salto Térmico de 20°C (Luso Finsa, 2014)

| Troço de Tubagem | Descrição | DN | v(m/s) | Perda de Carga | Pressão no Final da Linha | Pressão Total | Caudal |
|------------------|---|-----|-------------|----------------|---------------------------|---------------|-------------------|
| 1 - 2 | Coletor de Distribuição → Bifurcação Prensa e Linhas Plastificado | 250 | 3,23 | 16,4 | 15 | 3,14 | m ³ /h |
| 2 - 3 | Bifurcação → Bombagem da Prensa Contínua | 200 | 4,23 | 30,8 | | 4,58 | |
| 2 - 4 | Bifurcação → Prensa da Linha de Plastificado 1 | 100 | 3,4 | 27 | | 4,2 | |
| 4 - 5 | Nova Linha de Plastificado 2 (Picagem na Linha Atual) | 100 | 2 | 4,1 | | 1,91 | |
| 1 | Coletor de Distribuição | | | | | 7,72 | 620 |

Tabela 4.3.2 - Resumo de Parâmetros por Troços com Salto Térmico de 25°C (Para poder usar as mesmas Tubagens) (Luso Finsa, 2014)

| Troço de Tubagem | Descrição | DN | v (m/s) | Perda de Carga | Pressão no Final da linha | Pressão Total | Caudal |
|------------------|--|-----|---------|----------------|---------------------------|---------------|-------------------|
| 1 - 2 | Coletor de Distribuição → Bifurcação Prensa e Linhas de Plastificado | 250 | 3,2 | 16,4 | 15 | 3,14 | m ³ /h |
| 2 - 3 | Bifurcação → Bombagem da Prensa Contínua (+ Salto Térmico) | 200 | 2,9 | 14,6 | | 2,96 | |
| 2 - 4 | Bifurcação → Prensa de Plastificado 1 | 100 | 2,6 | 16,3 | | 3,13 | |
| 4 - 5 | Nova Linha de Plastificado (Picagem na Linha Actual) | 100 | 2 | 4,1 | | 1,91 | |
| 1 | Coletor de Distribuição | | | | | 6,27 | 478 |

Por último, no âmbito da tarefa de alteração da rede de óleo térmico, foi analisado o posto de bombagem de óleo térmico para a fábrica. O objetivo desta vertente dos trabalhos visou garantir a chegada do caudal necessário a todos os consumidores da LUSO FINSA. São apresentadas duas opções de trabalho: *i*) selecionar uma bombagem intermédia dedicada e adaptada à nova instalação ou *ii*) selecionar duas bombas adaptadas à nova realidade fabril.

Pese embora o sistema de bombagem atualmente instalado disponha de um caudal adequado, a pressão não é a pretendida. A instalação de uma nova bomba, igual às existentes, também não seria suficiente como tal não constitui solução. Foi então determinada, analiticamente, a bombagem necessária para os diferentes consumidores da fábrica. Concluindo-se que a bombagem terá de ter uma capacidade que garanta os 890 m³/h a uma temperatura de 285°C. Na Tabela 4.3.3 são apresentados os dados relativos à nova instalação considerando a utilização das mesmas tubagens e na Tabela 4.3.4 exibidos os consumos relativos à instalação existente considerando um salto térmico de 35°. Para um salto térmico de 25°C, os parâmetros de bombagem à fábrica com aproveitamento das tubagens existentes são apresentados na Tabela 4.3.5.

Tabela 4.3.3 - Nova instalação para um Salto térmico de 25 °C (Mesmas Tubagens)

| Troço de Tubagem | Descrição | DN | v (m/s) | Perda de Carga | Pressão no Final da Linha | Pressão Total | Caudal |
|------------------|--|-----|---------|----------------|---------------------------|---------------|----------------------------|
| 1 - 2 | Coletor de Distribuição → Bifurcação Prensa e Linhas de Plastificado | 250 | 3,2 | 16,4 | 15 | 3,14 | m ³ /h |
| 2 - 3 | Bifurcação → Bombagem Prensa Contínua (+salto) | 200 | 2,9 | 14,6 | | 2,96 | |
| 2 - 4 | Bifurcação → Prensa de Plastificado 1 | 100 | 2,6 | 16,3 | | 3,13 | |
| 4 - 5 | Nova Linha de Melamina 2 (Picagem na Linha Actual) | 100 | 2 | 4,1 | | 1,91 | |
| 1 | Coletor de Distribuição | | | | | 6,27 | 478 m³/h |

Tabela 4.3.4 - Consumos na Zona MDF
(Considerando um Salto de 35°C)

| Consumidores Atuais | Gcal/h | m ³ /h | kg/h | °C |
|-----------------------------|--------|----------------------------|--------|------|
| Prensa MDF | 2,4 | 150 | 104070 | 34,1 |
| Secador de Capa Interna MDF | 2 | 120 | 83256 | 35,6 |
| Secador de Capa Externa MDF | 2,5 | 150 | 104070 | 35,6 |
| Total | 6,9 | 420 m³/h | 291396 | 36 |

Tabela 4.3.5 - Parâmetros de Bombagem à Fábrica
(aproveitamento das tubagens e salto térmico de 25°C)

| Troço de Tubagem | Descrição | DN | v (m/s) | Perda de Carga | Pressão no Final da Linha | Pressão Total | Caudal |
|------------------|---|-----|---------|----------------|---------------------------|---------------|-----------------------|
| 0 - 1 | Bombagem do Coletor Único → Coletor de Distribuição à Fábrica | 350 | 2,75 | 11,4 | | 7,41 | 898 m ³ /h |

Optando pela instalação de uma bombagem dedicada e adaptada às necessidades deste ramal, será selecionado um novo grupo de bombagem com duas bombas, uma para funcionamento e outra de emergência/reserva, adequadas ao caudal e à pressão que é necessário fornecer à nova instalação. São necessários 500 m³/h e 3,2 bar de pressão de óleo térmico. Assim, é recomendada a instalação de um grupo de bombas NTT 125-250/250 de 3000 rpm. Esta instalação apresenta para já a vantagem de ser a mais rápida e mais económica.

No que respeita à opção de selecionar novas bombas adequadas ao caudal e pressão da instalação foi consultado o fabricante apontando-se para já a instalação de quatro novas bombas NTT 100-250/260 3000 rpm, 3 em funcionamento com uma de reserva. Estas bombas possuem uma capacidade de fornecimento de 6,2 bar de pressão de óleo térmico. Esta opção implica a instalação de um grupo de bombagem único para toda a instalação eliminando as bombagens intermédias. Embora se aguarde pelo parecer técnico dos fabricantes, esta opção encerra inúmeras desvantagens na medida em que se torna necessário proceder à reestruturação do coletor comum ampliando-o. Esta ampliação contempla a montagem de uma nova estrutura de suporte à ampliação do coletor, a ampliação das plataformas dedicadas à manutenção, a alteração das tubagens e a alteração das tubagens da rede de combate a incêndios incluindo os monocarris instalados de para auxílio à manutenção.

4.3.3. Realização de trabalhos

Após a concretização dos desenhos de fabrico elaborou-se o caderno com a respetiva memória descritiva da empreitada a realizar e foi colocada a concurso. Após a adjudicação de trabalhos a uma empresa externa, iniciaram-se os trabalhos de implementação no local a cargo da empresa selecionada. O pré-fabrico de tubagens foi efetuado integralmente em oficina. No local da obra os trabalhos iniciaram-se com a desmontagem do coletor existente. O desvio da

tubagem, de 500 milímetros de diâmetro, foi efetuado à custa da aplicação de duas novas curvas a 90° com troços de tubagem que permitiram o ganho da distância pretendida.

Pela experiência adquirida no funcionamento das redes de óleo térmico de outras fábricas do grupo, os coletores de retorno estão ligados a um único coletor mais próximo das zonas de aspiração das bombas ou seja numa zona mais fria. O óleo térmico quente proveniente das caldeiras liga-se a um coletor único na zona de abastecimento dos consumidores. A instalação era original do fabricante, e não corresponde a este critério, assim sendo foi proposta a alteração na medida em que as alterações na instalação fisicamente não são significativas no entanto aportam grande valor na melhoria da qualidade do óleo térmico.

Tal como na instalação inicial, foi necessário proceder ao isolamento térmico da tubagem, diminuindo o risco de acidentes e, claro, da perda de calor do óleo térmico.

O desenvolvimento da segunda alteração prevista passou simplesmente pela montagem das raquetes de isolamento. Salvaguardando-se as regras de segurança e mediante a drenagem das linhas em causa, a instalação passa apenas pelo desaperto das flanges de ligação e montagem das respetivas raquetes de isolamento.

4.3.4. Avaliação Final

As alterações executadas em termos práticos, quer a alteração da posição do coletor quer a montagem das raquetes com orifícios calibrados, revelaram-se frutíferas e bem-sucedidas. Com a alteração da posição do coletor tornou-se mais difícil a transmissão de calor no retorno do óleo às caldeiras. Através da instalação dos orifícios calibrados conseguiu-se um aquecimento constante das tubagens de retorno e, adicionalmente, evitam-se retornos desnecessários.

Relativamente às análises da rede geral e bombagem de óleo térmico, aguarda-se pelas propostas de fornecedores e pelas tomadas de decisão com base nas mesmas.

4.4. Execução de Ensaios a válvulas de segurança de Óleo Térmico e Vapor

4.4.1. Introdução

No Decreto-Lei nº90/2010, de 22 Julho, encontram-se regulamentadas medidas específicas, e.g., o procedimento de instalação, o funcionamento, a reparação e alteração a aplicar a instalações que integrem ESP nos quais se incluem reservatórios de gás, ar comprimido, oxigénio ou outros gases criogénicos bem como caldeiras de produção de vapor. (Silva, 2010) O referido diploma prevê que a verificação de válvulas de segurança deve ser efetuada apenas por entidades reconhecidas no âmbito do sistema português da qualidade. Para o cumprimento de tal obrigação foi proposta a execução dos testes a válvulas de segurança para medições e registos de pressões de disparo das mesmas em condições de serviço. As válvulas testadas representam dois serviços distintos: válvula de segurança da rede de óleo térmico da caldeira I e a válvula de segurança da rede de vapor de alta pressão.

4.4.2. Enquadramento Técnico

Nas instalações industriais detentoras de válvulas de segurança é habitual testar estes componentes periodicamente, removendo-as do local da instalação para que a sua condição de funcionamento possa ser testada em oficina. Após a reparação, e antes da sua instalação, as válvulas têm que ser ensaiadas em bancada de modo a determinar o seu *set pressure*. Os métodos tradicionais de ensaiar válvulas baseiam-se na norma API 527 reconhecida mundialmente na indústria como a norma adequada de ensaio (Silva, 2010) Existe, no entanto, um método de testar válvulas de segurança com ou sem pressão nos sistemas que protegem, este método é designado por *TREVITEST*. A realização deste teste apresenta como benefícios os custos reduzidos e a diminuição drástica dos tempos de paragem em instalações para as quais não existem válvulas de reserva.

4.4.3. Descrição do Método de Ensaio

O sistema de *TREVITEST* baseia-se na aplicação de uma força na haste da válvula de modo a vencer a tensão da mola através de um sistema de mecanismos instalados na parte superior da válvula, nomeadamente um sistema hidráulico e um transdutor de força eletrónico conectado a um registador/computador portátil (Referencia).. O sistema hidráulico possui um cilindro hidráulico que se desloca verticalmente vencendo a força exercida pela mola e incitando à abertura da válvula. Quando a força vertical ascendente somada à pressão exercida pelo fluido vence a força descendente exercida pela mola a válvula abre. A força gerada durante

esta operação é medida através de uma célula de carga e registada num computador portátil onde é convertida na pressão a medir. Se o ensaio é realizado com pressão na linha ou equipamento que a válvula protege, à pressão calculada é adicionada a pressão de serviço obtendo-se assim o *set pressure* da válvula.

Este método permite ainda a determinação da pressão na linha/equipamento medida através de um transdutor de pressão, o registo do deslocamento da haste da válvula, medido e registado usando um transdutor de deslocamento, e ainda a passagem de fluido na válvula através de deteção acústica. A informação é reunida e tratada graficamente permitindo a determinação do *set pressure*, do deslocamento da haste, da taxa de ajuste da válvula e do valor de fecho da válvula. A precisão do método está diretamente associada à precisão com que se conhece a área de selagem da válvula e à pressão de serviço. Na maioria dos casos utiliza-se como área de selagem uma área média fornecida pelos diferentes fabricantes de válvulas, área essa que permite resultados de elevada qualidade. No entanto, em rigor, seria necessário a determinação da “impressão digital” de cada válvula, ou seja, utilizar a sua área de selagem específica, área essa afetada por retificações e lapidações frequentes. A experiência em serviço demonstra que os resultados obtidos com o sistema apresentam um erro de cerca de 1% do *set pressure* quando as válvulas são testadas em serviço (Silva, 2010)

A execução deste teste apresenta inúmeras vantagens, e.g., não exige interrupção do funcionamento da instalação sendo apenas retiradas do local as válvulas que necessitem efetivamente de reparação. Adicionalmente, não há necessidade de aumentar a pressão do equipamento onde a válvula está instalada e exclui-se a necessidade de compensar o efeito de temperatura na abertura da válvula. O Laboratório de Válvulas do ISQ possui a exclusividade da prestação deste serviço em Portugal Continental, Madeira e Açores, suportado por pessoal altamente qualificado com mais de 10 anos de experiência e com *know-how* adquirido nas diferentes indústrias portuguesas, incluindo papeleiras, petrolíferas, petroquímicas, termoeléctricas, etc.

4.4.4. Avaliação Final

As válvulas de segurança da rede de óleo térmico foram ensaiadas de acordo com a sua pressão de serviço. Na caldeira I a pressão de ajuste, ou seja a pressão à qual a válvula deverá abrir, é de 10 bar para uma válvula do tipo DN32x50 com uma área de sede de 8.7100 cm². O Gráfico 4.4.1 foi obtido pela interpretação de resultados medidos pela célula de carga. Os resultados finais do ensaio revelam que para uma pressão de serviço de 2 bar, a força exercida é de aproximadamente 72 Kgf para uma pressão de ajuste de 10 bar. No ensaio realizado à válvula de vapor de alta pressão, a pressão de ajuste situa-se nos 14.8 bar, para uma válvula do

tipo DN65x100 com uma área de sede de 40.988 cm². Os resultados finais do ensaio revelam, tal como ilustrado no Gráfico 4.4.2, que para uma pressão de serviço de 14.149, a força exercida é de aproximadamente 27.487 Kgf para uma pressão de ajuste de 14.807 bar.

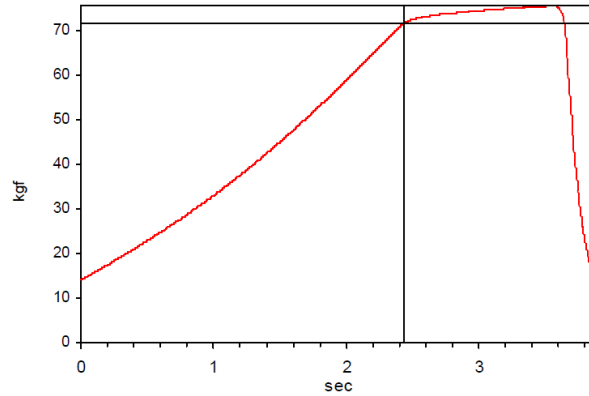


Gráfico 4.4.1 - Análise gráfica dos resultados dos ensaios efetuados à válvula da Caldeira I (ISQ,2014)

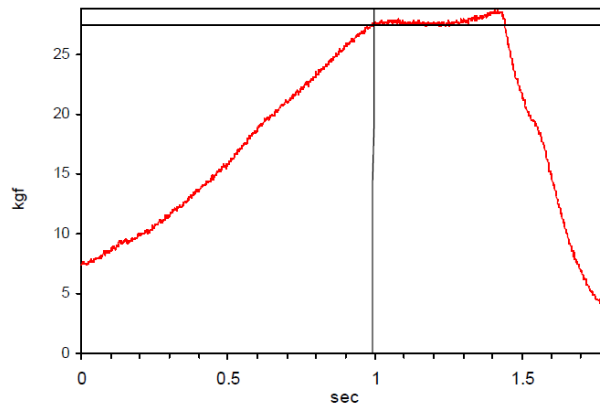


Gráfico 4.4.2 - Análise gráfica dos resultados dos ensaios efetuados à válvula de Vapor de Alta (ISQ, 2014)

4.5. Execução da Serpentina do Arrefecedor da Caldeira

4.5.1. Objetivo

Foi detetada uma fuga de óleo no tanque de arrefecimento de óleo térmico na rede do óleo térmico da caldeira I. A tubagem encontrava-se corroída não só pela longevidade, em funcionamento desde o início da laboração fabril, mas também pelo facto de estar imersa em água. Devido a inexistência de suporte bibliográfico que indica-se as dimensões, atravancamentos e espessuras dos componentes em causa foi necessário providenciar uma curta paragem da instalação para proceder à recolha de todas as medidas necessárias para posterior construção do componente degradado em oficina.

4.5.2. Enquadramento Técnico

No interior do tanque com água, representado na Figura 4.5.1, existe a serpentina ilustrada na Figura 4.5.2 que funciona como arrefecedor de óleo. Quando, em situações de emergência, se pretende um arrefecimento mais rápido do óleo este é forçado a passar na serpentina imersa no tanque de água. A ação conjunta da temperatura e da imersão em água é um fenómeno acelerador do processo de corrosão, o que justifica o estado de deterioração do componente.



Figura 4.5.1 - Tanque de Arrefecimento de Óleo



Figura 4.5.2 - Serpentina de Arrefecimento

4.5.3. Preparação de Trabalhos

É solicitada então a execução de uma nova serpentina. Para tal, foram recolhidas medidas no local e selecionado o material para a tubagem e acessórios. Era conhecido o material da serpentina principal da caldeira, tratava-se de A106 GR B com a atual designação DIN 17175 (EN 10216-2). Este material encontra-se sob a forma de tubos laminados a quente ou de tubos

sem costura para aplicações sob pressão, sendo sobretudo indicado para construção de peças utilizadas em equipamentos para produção de vapor, tais como caldeiras, tubos, flanges e coletores. Estes tubos podem ser utilizados em operação contínua até 450 °C de temperatura em funcionamento (ThyssenKrupp, 2014). Neste caso concreto foram utilizados: Tubo 8’’ Sch 40 Ø219.08x8.18 mm e Tubo 1 ½’’ Sch 40 Ø73x5.16 mm.

4.5.4. Descrição de Atividades Desenvolvidas

O novo componente demorou uma semana a ser construído em oficina. Os trabalhos preparatórios necessários foram o vazamento da tubagem através do dreno existente no tanque após ter sido isolado com recurso às válvulas existentes na instalação. O próprio tanque foi drenado e convenientemente limpo. A serpentina velha foi desmontada através do desaperto das flanges das ligações existentes. A nova serpentina encontrava-se pronta para montagem no local sendo apenas necessário o aperto das flanges de ligação à tubagem existente. O trabalho de montagem do equipamento foi levado a cabo com recurso a uma grua tendo as operações de desmontagem/montagem dos equipamentos demorado um dia.

4.5.5. Avaliação Final

Este trabalho foi executado de acordo com o tempo disponibilizado para a paragem de instalação.

Após estar em serviço há 4 meses, a serpentina não apresenta sinais de deterioração de acordo com as inspeções visuais e medição de espessuras efetuadas em inspeções periódicas.

4.6. Inspeções de Equipamentos

4.6.1. Caldeira I

Os ensaios de inspeção realizados incluíram, de uma forma aleatória, a inspeção visual interna a todos os componentes acessíveis complementada pela medição de espessuras por ultra-sons e pelo controlo das soldaduras realizadas na serpentina da caldeira por magnetoescopia. Para a realização e descrição das atividades de inspeção foram adotados esquemas de medição, orientações e designações em conformidade com desenhos de fabrico.

A Figura 4.6.1 representa esquematicamente a caldeira I. Na inspeção visual efetuada à secção inferior da câmara de combustão foi apurada a condição integral do material refratário do revestimento das paredes, tendo sido observadas várias não conformidades. Foi efetuada uma reparação do material refratário e retirados os queimadores que se encontravam fora de serviço (danificados) o que provocou o desprendimento de refratário e, conseqüentemente, a sua necessária reparação como ilustram as Figura 4.6.2 e Figura 4.6.3.

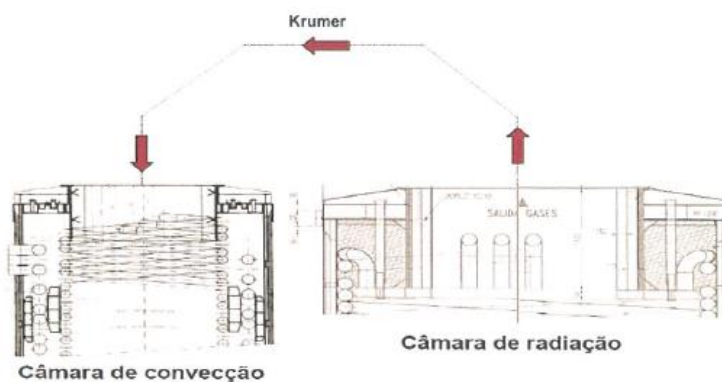


Figura 4.6.1 - Representação Esquemática da Caldeira I

A inspeção visual realizada ao interior da câmara de radiação não evidenciou quaisquer fenómenos de desgaste ou corrosão ativa, encontrando-se a generalidade da superfície dos tubos coberta por uma fina camada de depósitos aderentes (incostrações) como é possível constatar pela Figura 4.6.4.

Para controlo e avaliação do estado da serpentina foi realizada a medição de espessuras. O controlo efetuado não registou discrepâncias relevantes entre os valores agora medidos e os constantes do anterior registo o que permite deduzir que o desgaste por abrasão/erosão da passagem do vapor, assim como a corrosão das paredes dos tubos, se encontram dentro dos valores expetáveis.



Figura 4.6.2 - Parede Frontal antes da Respetiva Beneficiação



Figura 4.6.3 - Parede Frontal Após Beneficiação

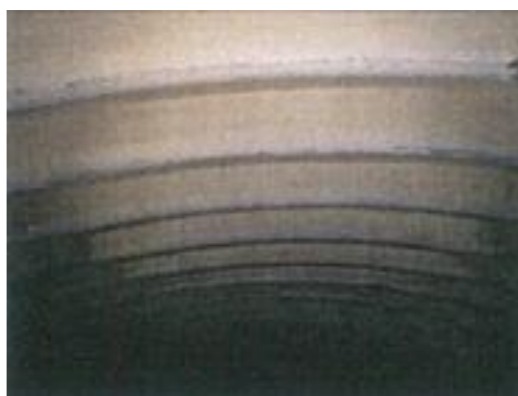


Figura 4.6.4 - Vista Geral da Secção Superior da Serpentina



Figura 4.6.5 - Serpentina Interior

Relativamente ao *Krummer* o acesso foi bastante condicionado, porém partindo da localização do topo dos andaimes montados no interior de cada uma das câmaras não foram detetadas quaisquer falhas a salientar na proteção de material refratário. No caso particular da câmara de convecção, a generalidade da tubagem encontra-se coberta por uma fina camada de depósitos aderentes como se pode verificar na Figura 4.6.5. O facto que merece maior relevância durante a realização do processo de inspeções decorrido na camara de convecção é a indicação da existência do tipo fissura detetada pelo ensaio de partículas magnéticas numa das soldaduras circunferenciais da emenda da serpentina – emenda do tubo nº67 a 90° - conforme ilustra a Figura 4.6.6.

Foi ainda realizado o controlo das espessuras dos tubos que constituem a serpentina interior e dos tubos inferiores da serpentina exterior acessível. Não foram registadas discrepâncias relativamente aos registos anteriores.



Figura 4.6.6 -Fissura Detetada na emenda do tubo n°67 a aproximadamente 90° (ISQ, 2014)



Figura 4.6.7 – Pormenor da Figura 4.6.6 (ISQ, 2014)

A inspeção visual efetuada ao interior da câmara de radiação não evidenciou quaisquer fenómenos de desgaste ou corrosão ativa. No decurso da próxima paragem da instalação será conveniente executar-se um controlo por magnetoescopia e por amostragem às soldaduras da camara de radiação. O único defeito digno de registo foi a fissura detetada na emenda do tubo n° 67 a 90° da camara de convecção. De salientar que não foram detetados fenómenos de desgaste nem de corrosão ativa nas partes acessíveis dos tubos das serpentinas desta câmara. Na generalidade, a condição do refratário é satisfatória.

4.6.2. Caldeira III

Durante a paragem da caldeira III foram levadas a cabo diversas inspeções ao interior de cada uma das câmaras de radiação e convecção da caldeira. As inspeções executadas tiveram por base quer as observações no local e registo das medições efetuadas quer a análise dos valores resultantes das medições de espessuras utilizando a técnica de ultra-sons. (ISQ, 2014) Relativamente à inspeção visual efetuada à secção inferior da câmara de combustão, foi constatada uma razoável condição da parede frontal e dos queimadores, bem como o moderado estado de conservação da generalidade do material refratário que reveste as paredes, conforme é perceptível na Figura 4.6.8.

No que diz respeito aos componentes sujeitos a pressão, particularmente os tubos das serpentinas interiores, não foram observados quaisquer fenómenos de desgaste ou corrosão ativa, encontrando-se a generalidade dos tubos cobertos por uma fina camada de depósitos aderentes resultantes da combustão como ilustra a Figura 4.6.10. Quanto ao estado das espiras exteriores da serpentina, como se pode observar na Figura 4.6.12, na extensão visível e acessível do topo da câmara de combustão, não são detetadas alterações significativas, encontrando-se a superfície coberta por depósitos aderentes. Observou-se, como ilustra a Figura 4.1.13, que a secção superior da segunda passagem de gases sofreu um desgaste dos espaçadores de

afastamento entre as espiras interior e exterior da serpentina. Todavia, trata-se de um fenómeno normal em equipamentos de características semelhantes e resultante das condições de serviço. Tal deverá, no entanto, ser novamente verificado no decorrer das próximas inspeções.

Não foram detetados fenómenos de desgaste ou corrosão ativa nas partes visíveis dos tubos das serpentinas e coletor de topo inspecionados. A medição de espessuras efetuada não revelou alterações significativas entre os valores medidos em cada nível de medição e os registos anteriores. Como nota futura, considera-se pertinente a execução de uma nova monitorização das condições de material refratário assim como a realização de medições de espessuras dos vários componentes sob pressão. Importante será também a realização de uma inspeção de controlo, por amostragem, às soldaduras das serpentinas utilizando um método não destrutivo, e.g. por partículas magnéticas.



Figura 4.6.8 - Vista Geral da Condição Interior da Câmara de Combustão (ISQ, 2014)



Figura 4.6.9 - Condição do Refratário da Parede Lateral Direita (ISQ, 2014)



Figura 4.6.10 - Secção Superior da Serpentina Interior (ISQ, 2014)



Figura 4.6.11 - Condições Superficiais dos Tubos no Interior da Serpentina (ISQ, 2014)



Figura 4.6.12 - Condição dos Tubos da Serpentina Exterior na Inversão para a 2ª Passagem de Gases (ISQ, 2014)



Figura 4.6.13 - Desgaste de um dos Espaçadores entre a Serpentina Interior/Exterior (ISQ, 2014)

4.7. Alteração de Transportador Redler na Caída de Cinzas da Caldeira

4.7.1. Introdução

As cinzas, centelhas e resíduos que não são consumidos pela combustão caem das grelhas durante o processo de combustão da caldeira I são recolhidas através das tolvas e tremonhas existentes e descarregados para um sistema de transporte contínuo, denominado como *redler* húmido. É um transportador de correntes munido de travessas arrastadoras que levam as cinzas e os restantes resíduos a um terminal. No interior do transportador existe uma linha de água, estando as descargas das tremonhas da caldeira submersas. Inúmeros alarmes soam quando ocorrem entupimentos/transbordos dos *redlers*. A força exercida pelas travessas de arrasto das cinzas aumenta nas zonas de descarga de cinzas onde ocorre uma de aglomeração de material resultando no entupimento do transportador e transbordo da água nele contida.

4.7.2. Enquadramento Técnico

Para proceder à alteração do transportador partiu-se do princípio que não seria permitido alterar-se as posições dos motores dos agitadores existentes ao longo do *redler*.

No local foram colhidas medidas do transportador e recorrendo ao programa AutoCAD estudada a viabilidade dimensional e funcionalidade do mesmo. A solução implementada passou por, na zona de caída das cinzas vindas da tremonha de recolha, efetuar um alargamento do transportador para que as cinzas sejam transportadas sem se depositarem e obstruírem a zona crítica, conforme ilustra a Figura 4.7.1. As alterações foram executadas ao nível da caixa do transportador. O espaço disponível para executar este alargamento estava confinado à distância entre agitadores. Portanto, o comprimento de transportador alterado foi de 1300 milímetros em cada uma das zonas, obtendo-se uma inclinação da chapa lateral de 23°, para uma largura máxima na parte superior de 1200 milímetros. Esta inclinação das chapas deu consistência à viabilidade do projeto uma vez que são eliminadas zonas suscetíveis de depósitos de material.

Relativamente aos materiais selecionados para a alteração do transportador, o fundo do *redler* foi executado com chapas da categoria de Hardox450. Este material é conhecido pela sua elevada dureza na ordem dos 450 HB e com propriedades de excelência na resistência ao desgaste por abrasão/erosão.

No que respeita à chapa lateral, as alterações serão efetuadas com recurso a chapa de 8 milímetros de espessura na classe St.37.2 (S235JR), segunda a norma DIN 17100, decapada e pintada.

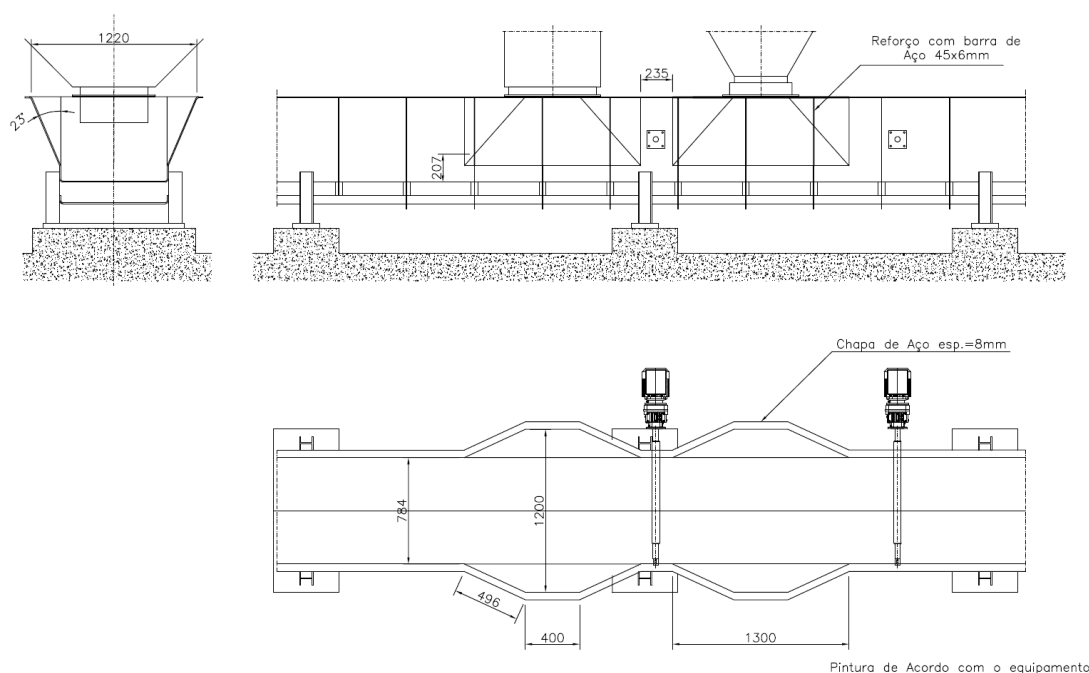


Figura 4.7.1 - Proposta de Alteração do Transportador

4.7.3. Atividades Desenvolvidas

A preparação dos trabalhos iniciou-se com a realização dos desenhos técnicos e de conjunto pormenorizando as alterações pretendidas. Neste tipo de trabalho recorre-se frequentemente à subcontratação de empresas que, mediante a apresentação de um orçamento tipo “chave na mão”, levam a cabo toda a execução do trabalho nas diversas especialidades. Desde a compra de material, pré-fabrico e montagem, todas estas etapas foram entregues a uma empresa externa detentora do melhor orçamento.

Após a preparação inicial do trabalho, é importante a fiscalização do mesmo tanto no que respeita ao cumprimento do estabelecido contratualmente como no cumprimento das normas de Higiene e Segurança estabelecidas. Também este trabalho não dispensa a execução de um Procedimento de Trabalho Seguro e de um Procedimento de Corte e Soldadura'. Tais procedimentos são de execução obrigatória por parte do responsável de trabalho. No Procedimento de trabalho Seguro é executada uma avaliação de riscos do trabalho. Apontam-se com principais riscos o de manipulação de cargas, as quedas, os entalamentos e golpes ou cortes. Executado este procedimento ele deve ser assinado pelo responsável de secção/área fabril e pelo responsável dos trabalhos da empresa externa. O responsável externo garante o conhecimento dos riscos e cumprimento de medidas preventivas a adotar pelos intervenientes durante a realização da empreitada. No caso particular do Procedimento de Corte e Soldadura, este procedimento é devidamente redigido e assinado pelo responsável externo. Sem este documento o não é possível iniciar o trabalho. É tida como uma autorização de fogo. Dados os

riscos de incêndio e explosão neste tipo de indústria, essa autorização funciona como salvaguarda de situações em que uma simples soldadura não está autorizada devido aos riscos inerentes à instalação.

4.7.4. Avaliação Final

A avaliação final dos trabalhos foi realizada experimentalmente no momento do arranque da instalação. Verificou-se que a solução encontrada era funcional, não existindo depósito de cinzas junto das caídas das tremonhas. As Figura 4.7.2 e Figura 4.7.3 apresentam as alterações efetuadas. Dados os resultados positivos desta intervenção, encontra-se em fase de adjudicação a execução dos alargamentos nas restantes caídas de cinzas.



Figura 4.7.2 - Transportador Antes da Intervenção



Figura 4.7.3 - Transportador Após a Intervenção

4.8. Alteração da Alimentação de Siriono 6330 ao Processo de MDF

4.8.1. Introdução

O local de armazenamento de produtos químicos é uma das áreas fabris mais delicadas do ponto de vista do ataque químico. Armazenar os produtos químicos em segurança tornando-os disponíveis para a utilização é algo primordial. A zona dos tanques de colas e aditivos que servem o processo produtivo de MDF é uma zona delicada e que tem merecido especial atenção no que respeita à necessidade de reformulação da rede de tubagens e reservatórios. A necessidade deste trabalho prende-se não só com o estado débil da tubagem da instalação mas, também, com a necessidade de reaproveitamento de um depósito existente no local para armazenamento de siriono.

4.8.2. Enquadramento Técnico

O Siriono é um aditivo do processo que visa retardar a inflamação. Caracteriza-se pela facilidade de ser completamente miscível em água com um pH 5.5 a 6.5.

A instalação encontrava-se necessitada de uma reforma quer em termos de seleção de materiais quer na própria rede de tubagem. Como tal, a solução apresentada baseou-se no reaproveitamento de um tanque existente e na construção de uma nova linha de alimentação ao tanque e posterior descarga às bombas de introdução de aditivos no processo. No sentido de minimizar os custos de intervenção a bomba existente suprimia as necessidades em termos de caudal necessário. Assim sendo, a intervenção incidiu sobretudo ao nível da tubagem e da instalação de acessórios que se adequassem às necessidades e funcionalidades da instalação (válvulas).

Em termos de pH, o siriono situa-se na escala dos compostos ácidos. Como tal a seleção do material recaiu na utilização de um aço inox AISI 316 (BS EN 10088 – 2 1.4401/1.4404 para norma europeia.)

No que concerne à reforma da tubagem, conforme ilustra a Figura 4.8.1, foi criado um coletor de receção capaz de fazer a alimentação ao tanque para a descarga de cisternas e no mesmo troço, mediante um sistema de válvulas de corte, utilizar o mesmo troço para introduzir o aditivo no processo de fabrico. A bomba pneumática aspira a partir de um coletor com duas válvulas de isolamento e comprime para um coletor semelhante dotado de outras duas válvulas. Desta forma, a bomba poderá fazer a descarga das cisternas e enviar o siriono para o depósito e, por outro lado fechando este circuito, aspirar diretamente do tanque e enviar para o processo.

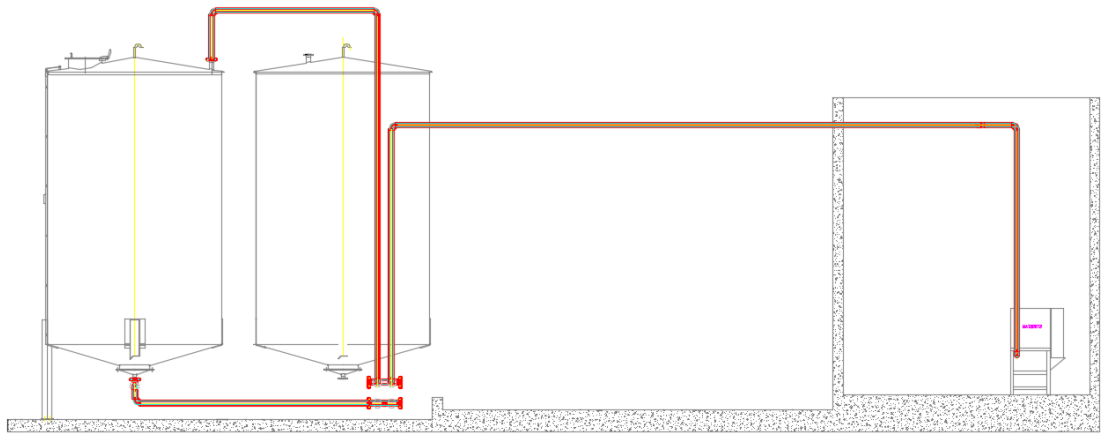


Figura 4.8.1 - Layout da Instalação de Siriono

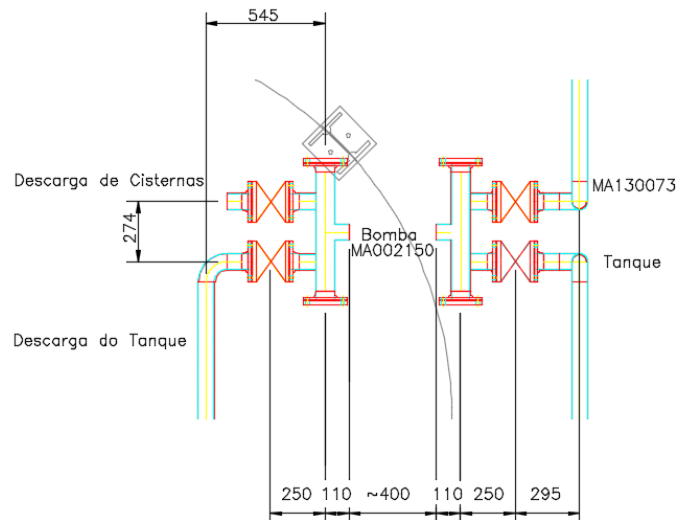


Figura 4.8.2 - Esquema de Corte

4.8.3. Atividades Desenvolvidas

A execução deste trabalho consiste na adjudicação direta de mão-de-obra, material de tubagem e acessórios a uma empresa da especialidade no ramo das metalomecânicas.

Antes do início dos trabalhos, fica a cargo dos colaboradores da empresa a limpeza e preparação do local no que respeita a oferecer condições de segurança e limpeza mínimas ao normal desenrolar dos trabalhos. Para a concretização dos objetivos propostos foi necessária uma equipa de 3 técnicos especializados, um soldador, um preparador de tubagem (tubista) e um ajudante de serralheiro que laborou durante 3 dias. As figuras seguintes ilustram o local antes e depois da intervenção.



Figura 4.8.3 - Instalação antes da Intervenção



Figura 4.8.4 - Instalação Depois da Intervenção

Após a preparação inicial do trabalho, é importante a fiscalização do mesmo tanto no que respeita ao cumprimento do estabelecido contratualmente como no cumprimento de normas de Higiene e Segurança, pois quaisquer trabalhos a decorrer nas instalações fabris carecem de obediência dos requisitos implantados pela unidade fabril para empresas externas, i.e. o cumprimento do Procedimento de Trabalho Seguro e do Procedimento de Corte Soldadura.

4.8.4. Avaliação Final

A instalação foi testada de acordo com o planeamento da produção. À exceção do troço de descarga de cisterna/alimentação ao tanque que foi utilizado no enchimento do tanque, o restante troço foi utilizado no momento de produção de MDF ignifugantes.

A bomba tal como expectável cumpre com as necessidades da instalação, quer em termos de descarga quer em termos de alimentação do processo, garantindo eficiência, eficácia e segurança ao fornecimento de ignifugantes ao processo.

4.9. Execução de Serpentina do Permutador do Sistema de Condensados da Prensa

4.9.1. Introdução

O condensador de vapor da prensa MDF é responsável pela recolha de condensados do sistema de vapor da prensa MDF. Foi detetada uma fuga pela tampa do permutador, sendo que a solução preconizada foi a aplicação de um recobrimento polimérico no sentido de retardar a intervenção.

4.9.2. Enquadramento Técnico

Sendo o recobrimento uma solução provisória, evitando apenas a paragem do equipamento, era conhecida desde logo a necessidade de uma profunda intervenção, quer ao nível da reconstrução da tampa quer mesmo a substituição da serpentina. Numa próxima reparação, aquando da retirada da tampa esta solução provisória deixaria de fazer vedação.

O recobrimento polimérico foi feito recorrendo à utilização de Mecatec102P, que é um produto fornecido pela marca espanhola Castolin. Este material é recomendado para reparações, independentemente das posições de fissuras em materiais como o aço, ferro fundido, alumínio, bronze e concreto. É de fácil de maquinabilidade, furação, ou mesmo abertura de roscas. Consiste numa resina de cura rápida à temperatura ambiente, sem libertação de produtos voláteis.

A tampa do permutador possui uma chapa de separação que delimita a passagem de entrada e saída do permutador. A serpentina do permutador e a tampa do permutador apresentavam sinais graves de desgaste acentuado e iminência de colapso como evidenciam as Figura 4.9.1 e Figura 4.9.3.

4.9.3. Preparação de Trabalhos

Numa primeira fase foram recolhidas medidas do equipamento existente para atempadamente se proceder ao fabrico do mesmo. Os materiais seleccionados bem como dimensões dos componentes foram determinadas de acordo com as medições realizadas no local. A seleção do material de construção do feixe tubular da serpentina recaiu sobre um aço inoxidável AISI304 de Øext.17,2x1,6 mm (BS EN 10088-2 1.4301/1.4307) que é um aço inoxidável austenítico, não-temperável e não-magnético. O AISI304 possui resistência à oxidação até aos 850 °C, porém a resistência à corrosão intercrystalina é garantida apenas até aos 300 °C. Apresenta boa conformabilidade a frio, embora exija maiores esforços de conformação do que os aços não ligados. A sua utilização está indicada para o fabrico de

válvulas, tubos, recipientes, equipamentos hospitalares e farmacêuticos, peças para a indústria química ou petrolífera. É indicado para construção de componentes sujeitos a ataque químico de um grande número de substâncias corrosivas, tais como o ácido nítrico, soluções alcalinas, soluções salinas. Embora na presença de condensados mas sem contaminação química, foi selecionado o AISI304 como sendo o material indicado para a construção da serpentina.

4.9.4. Descrição de Atividades Desenvolvidas

A construção em oficina do equipamento foi conseguida na base do desenho técnico do componente e teve a duração aproximada de 3 semanas. Por sua vez, a substituição no local foi executada em aproximadamente 12 horas consecutivas. Com o auxílio de um equipamento de manipulação de cargas procedeu-se à desmontagem da serpentina danificada como ilustra a Figura 4.9.1. O novo componente, representado na Figura 4.9.2 estava pronto, porém, não foi efetuada a sua montagem sem que antes fosse realizada uma lavagem a alta pressão do interior do feixe tubular, eliminando, desta forma, potenciais resíduos da sua construção.



Figura 4.9.1 - Serpentina do Permutador de Condensados



Figura 4.9.2 - Serpentina Nova

A tampa do permutador, mostrada pela Figura 4.9.3, é um componente obtido em fundição. Exteriormente ainda se encontrava em perfeitas condições, porém o seu interior necessitou de operações de enchimento por soldadura e posterior retificação das faces onde se previu a limpeza e a beneficiação das sedes de assentamento das juntas de vedação tal como se exhibe em Figura 4.9.4.



Figura 4.9.3 - Tampa do permutador de Condensados



Figura 4.9.4 - Tampa Reparada

4.9.5. Avaliação final

A avaliação final à intervenção é positiva. Após 3 meses de funcionamento a instalação não apresenta quaisquer sinais de fuga e o arrefecimento de condensados é obtido de acordo com os valores referência da instalação.

As atividades agora descritas, do subcapítulo 4.1 ao 4.9, representam apenas algumas das tarefas levadas a cabo durante a realização do estágio da autora deste relatório na LUSO FINSA. Muito trabalho, embora não registado no presente relatório, foi adicionalmente executado.

Capítulo 5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. Conclusões

Após o período de estágio efetuado na empresa LUSO FINSA e o consequente desenvolvimento de um número considerável de atividades descritas nos capítulos anteriores é agora possível extrair algumas conclusões.

A etapa de estudo e acompanhamento do processo produtivo de qualquer atividade é, em primeira instância, fundamental. Só com uma sólida compreensão da globalidade do processo produtivo é possível a apresentação de soluções válidas para a resolução de problemas/avarias diários. Por outro lado, só com esse conhecimento de base é possível o desenvolvimento de um espírito crítico firme capaz de propor melhorias a uma instalação ou a um processo.

Relativamente ao trabalho de alteração da serpentina de radiação da caldeira e a alteração dos seus parâmetros de funcionamento, descrito no Capítulo 4, além de concluído com sucesso, foram eliminados os problemas de fissuras e fugas de óleo térmico. Adicionalmente, com as alterações de funcionamento sugeridas, atingiu-se a linearidade em termos de funcionamento de acordo com os parâmetros considerados. Futuramente, a cada paragem programada da instalação, deverá fazer-se uma inspeção visual no interior da caldeira de modo a avaliar as condições superficiais da serpentina. Adicionalmente, deverá proceder-se à medição de espessuras, devendo estes dados ser devidamente registados com o propósito de documentar o comportamento do equipamento em serviço, nomeadamente o seu histórico no que à resistência ao desgaste concerne. Por outro lado, será fundamental a feitura de um relatório de atividades para futura documentação onde sejam registados e realçados os principais passos desta atividade de manutenção no sentido de facilitar futuras intervenções.

As alterações levadas a cabo na rede principal de óleo térmico, como o descolamento da posição do coletor, a instalação de restrições (discos calibrados) ou a análise das linhas de óleo térmico, são atividades que se encontram ainda em fase de desenvolvimento sendo apenas possível executar uma avaliação após a reunião de pareceres de fabricantes ou a colocação da nova instalação em funcionamento. Relativamente às restantes alterações, no caso particular da substituição da serpentina de arrefecimento de emergência do óleo térmico, dada a necessidade pontual de utilização desta serpentina, nas situações em que foi utilizada respondeu positivamente às expectativas. Em inspeções efetuada após ser colocada em serviço não foram verificadas fugas ou identificadas alterações necessárias. O mesmo foi verificado na intervenção de alteração da serpentina do permutador de sistema de condensados da prensa. A

intervenção levada a cabo permitiu a eliminação de fugas e a reposição das condições de bom funcionamento do equipamento.

Na inspeção efetuada aos equipamentos, relativamente à fissura detetada no tubo nº67, prevê-se proceder à sua reparação a curto prazo, o que implicará uma curta paragem na instalação. A necessidade de acompanhamento e contínuas inspeções visuais à caldeira III manifesta-se igualmente importante devido ao estado de degradação dos espaçadores.

Relativamente às alterações no transportador de cinzas e com o propósito de eliminar definitivamente os entupimentos e congestionamentos nas zonas de imersão das tolvas na água contida pelo transportador prevê-se, a curto prazo, a execução do alargamento nas restantes quatro tolvas, em virtude do sucesso do trabalho executado nas primeiras duas tolvas.

5.2. Trabalhos Futuros

No que concerne a futuras intervenções, devido à resposta positiva da instalação evidenciada pela alteração da tubagem de Siriono 6330, será aconselhável a revisão de toda a instalação das resinas, quer em termos da resposta dos equipamentos a solicitações (débito de bombas) quer no traçado de tubagens ou mesmo em relação aos materiais utilizados.

Futuramente, e em virtude da ampliação de instalações e aumento da capacidade de produção, é visto como uma necessidade o estudo efetivo de um novo sistema de limpeza e remoção de biomassa tal qual estava previsto no plano de trabalhos cruzando-se com as necessidades da instalação.

Em jeito de conclusão do trabalho realizado na LUSO FINSA destaca-se a mais-valia da experiência de trabalho no que respeita à gestão de recursos materiais e humanos tão importantes no desenvolvimento profissional e pessoal. O crescimento de um espírito crítico do ponto de vista técnico foi sem dúvida, juntando aos conhecimentos adquiridos na formação académica, um suporte fundamental nas atividades desenvolvidas e a desenvolver futuramente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Luso Finsa. (2011). Visita PSA. Viseu.

Pallmann. (2014). <http://www.pallmann.eu>.(página de internet oficial),Alemanha

Augusto Silva. (2010). *TREVITEST – PARCEIRO SEMPRE PRESENTE NA MANUTENÇÃO*. Porto.

Barbosa, T. (2014). *Engenharia Industrial Madeireira*. <http://www.madeira.ufpr.br/ceim/>,
Brazil

Batista, J. (2014). Etapas do Processo Produtivo da Empresa Berneck S.A Paineis e Serrados.
Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos

Bom, P. (2008). *Processo Produtivo de Paineis MDF*. Centro Universitário União da Vitória
Obtido de http://engmadeira.yolasite.com/resources/Apostila_MDF.pdf,União da
Victoria

Finsa. (2014). <http://www.finsa.es/>. FINSA Soluções em Madeira (página de internet oficial),
Santiago de Compostela

IMEAS. (1987). *Instruzioni per l'uso de la Manutezione*. Itália(em Italiano).

ISQ. (2014). *Inspecção Caldeira*. Porto.

ISQ. (2014). *Relatório de Calibração de Válvula de Vapor*. Grijó.

ISQ. (2014). *Relatório de Calibração de Válvula de Óleo Térmico*. Grijó.

Luso Finsa. (2005). *Geração de Energia Térmica na Luso Finsa*. Viseu.

Luso Finsa. (2014). *Desenho Construtivo Luso Finsa*. Viseu.

Luso Finsa. (2014). *Memória Descritiva de Trabalhos de Alteração de Funcionamento
Caldeira*. Viseu

Luso Finsa. (2014). *Memória Descritiva de Trabalhos de Alteração da Rede de Óleo Térmico*.
Viseu.

Pallmann. (2007). Drum Chipper PHT.

Pallmann. (2014). <http://www.pallmann.eu>.(página de internet oficial),Alemanha

Pallmann. (2014). *Pallmann*. Obtido de
http://www.pallmann.eu/language/upload/pdf/H986.1_EN_Drum_Chipper_PHT.pdf

Dias, P. (2010). *Optimização de Planos de Manutenção e de Manutibilidade de Equipamentos numa Indústria de Pasta de Papel*. Relatório de Estágio, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

Sugimat. (2000). *Descrição Técnica Caldeira*. Espanha.

Sunds Desfibrator. (1982). *Maintenance Desfibrator L46*. Suécia. (em Inglês)

ThyssenKrupp. (2014). Obtido de http://www.s-k-h.com/media/de/Service/Werkstoffblaetter_englisch/Kesselrohre_EN/P235GH_engl.pdf

APÊNDICE

Tabela 1 - Dados Técnicos de um MDF (Finsa, 2014)

| Teste de Referência | Propriedades | Unidades | Espessuras [mm] | | |
|---------------------|---|-------------------|-----------------|--------|---------|
| | | | 1,8/2,5 | >2,5/4 | >4/6 |
| EN323 | Densidade | kg/m ³ | 850,00 | 825,00 | 800,00 |
| EN319 | Tração Interna | N/mm ² | 0,90 | 0,90 | 0,85 |
| EN310 | Resistência à Flexão | N/mm ² | 38 | 38 | 38 |
| EN310 | Módulo de Elasticidade | N/mm ² | | | 2700,00 |
| EN317 | Inchamento em água 24h | % | 45 | 35 | 28 |
| EN318 | Estabilidade Dimensional Espessura | % | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| EN318 | Estabilidade Dimensional Comprimento /Largura | % | 10 | 10 | 10 |
| EN311 | Tração Superficial | N/mm ² | > 1,2 | > 1,2 | > 1,2 |
| EN381-1 | Absorção Superficial (Ambas as Faces) | mm | > 150 | > 150 | > 150 |
| EN322 | Humidade | % | 7±-3 | 7±-3 | 7±-3 |
| ISO340 | Conteúdo de Sílica | % Peso | ≤ 0,05 | ≤ 0,05 | ≤ 0,05 |

Tabela 2 - Dados Técnicos de um MDF Ignífugo Finsa, 2014)

| Teste de Referência | Propriedades | Unidades | Espessuras [mm] | |
|---------------------|---|-------------------|-----------------|--------|
| | | | 8 a 12 | >12-19 |
| EN323 | Densidade | kg/m ³ | > 1000 | > 1000 |
| EN319 | Tração Interna | N/mm ² | 1,80 | 1,8 |
| EN310 | Resistência à Flexão | N/mm ² | 50 | 50 |
| EN310 | Módulo de Elasticidade | N/mm ² | 5000 | 5000 |
| EN317 | Inchamento em água 24h | % | 7 | 6 |
| EN318 | Estabilidade Dimensional Espessura | % | 6 | 6 |
| EN318 | Estabilidade Dimensional Comprimento /Largura | % | 0,40 | 0,40 |
| EN311 | Tração Superficial | N/mm ² | 1,7 | 1,7 |
| EN381-1 | Absorção Superficial (Ambas as Faces) | mm | > 150 | > 150 |
| EN322 | Humidade | % | 7±-3 | 7±-3 |
| ISO3340 | Conteúdo em Sílica | % Peso | ≤ 0,05 | ≤ 0,05 |
| EN120 | Conteúdo de Formaldeído | mg/100g | ≤ 8 | ≤ 8 |
| EN13329 | Inchamento nos Topos | % | 15 | 15 |
| EN321/EN317 | Teste de Envelhecimento Acelerado (Opção 1) Inchamento depois do ensaio cíclico (V313) | % | 12 | 10 |
| EN321/EN319 | Teste de Envelhecimento Acelerado (Opção 1) Tração Interna depois do ensaio cíclico (V313) | N/mm ² | 0,40 | 0,30 |
| EN321/EN320 | Teste de Envelhecimento Acelerado (Opção 1) Tração Interna depois do ensaio de Cocção (V100) | N/mm ² | 0,2 | 0,15 |

Tabela 3 - Dados Técnicos de um produto MDF Hidrófugo Finsa, 2014)

| Teste de Referência | Propriedades | Unidades | Espessuras [mm] | | |
|---------------------|--|-------------------|-----------------|---------|---------|
| | | | >8/12 | >12/19 | >19/25 |
| EN323 | Densidade | kg/m ³ | 770/730 | 730/700 | 700/680 |
| EN319 | Tração Interna | N/mm ² | 0,80 | 0,75 | |
| EN310 | Resistência à Flexão | N/mm ² | 32 | 30 | 28 |
| EN310 | Módulo de Elasticidade | N/mm ² | 2800 | 2700 | 2600 |
| EN317 | Inchamento em água 24h | % | 10 | 8 | 7 |
| EN318 | Estabilidade Dimensional Espessura | % | 6 | 6 | 6 |
| EN318 | Estabilidade Dimensional Comprimento /Largura | % | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| EN381-1 | Absorção Superficial (Ambas as Faces) | mm | > 150 | > 150 | > 150 |
| EN322 | Humidade | % | 7±-3 | 7±-3 | 7±-3 |
| ISO3340 | Conteúdo em Sílica | % Peso | ≤ 0,05 | ≤ 3 | ≤ 3 |
| EN120 | Conteúdo de Formaldeído | mg/100g | ≤ 0,05 | ≤ 0,05 | ≤ 0,05 |
| EN321/EN317 | Teste de Envelhecimento Acelerado (Opção 1) Inchamento depois do ensaio cíclico (V313) | % | 16 | 15 | 15 |
| EN321/EN319 | Teste de Envelhecimento Acelerado (Opção 1) Tração Interna depois do ensaio cíclico (V313) | N/mm ² | 0,25 | 0,2 | 0,15 |

Tabela 4 - Dados Técnicos MDF Ignífugo Finsa, 2014)

| Teste de Referência | Propriedades | Unidades | Espessuras [mm] | | |
|---------------------|---|-------------------|-----------------|---------|---------|
| | | | 10/12 | >12/19 | >19/30 |
| EN323 | Densidade | kg/m ³ | 760/750 | 745/730 | 725/710 |
| EN319 | Tração Interna | N/mm ² | 0,60 | 0,55 | 0,55 |
| EN310 | Resistência à Flexão | N/mm ² | 22 | 20 | 18 |
| EN310 | Módulo de Elasticidade | N/mm ² | 2500 | 2200 | 2100 |
| EN317 | Inchamento em água 24h | % | 45 | 35 | 28 |
| EN318 | Estabilidade Dimensional Espessura | % | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| EN318 | Estabilidade Dimensional Comprimento /Largura | % | 6 | 6 | 6 |
| EN311 | Tração Superficial | N/mm ² | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| EN381-1 | Absorção Superficial (Ambas as Faces) | mm | > 150 | > 150 | > 150 |
| EN120 | Humidade | % | 7±-3 | 7±-3 | 7±-3 |
| ISO340 | Conteúdo de Formaldeído | mg/100g | ≤ 8 | ≤ 8 | ≤ 8 |
| UNE EN 13501-1 | Reação do Fogo | Euroclasse | C-s1,d0 | C-s1,d0 | C-s1,d0 |

Tabela 5 - Dados Técnicos de um Produto MDF Compac Finsa, 2014)

| Teste de Referência | Propriedades | Unidades | Espessuras [mm] | |
|---------------------|---|-------------------|-----------------|--------|
| | | | 8 a 12 | >12-19 |
| EN323 | Densidade | kg/m ³ | > 1000 | > 1000 |
| EN319 | Tração Interna | N/mm ² | 1,80 | 1,8 |
| EN310 | Resistência à Flexão | N/mm ² | 50 | 50 |
| EN310 | Módulo de Elasticidade | N/mm ² | 5000 | 5000 |
| EN317 | Inchamento em água 24h | % | 7 | 6 |
| EN318 | Estabilidade Dimensional Espessura | % | 6 | 6 |
| EN318 | Estabilidade Dimensional Comprimento /Largura | % | 0,4 | 0,4 |
| EN311 | Tração Superficial | N/mm ² | 1,7 | 1,7 |
| EN381-1 | Absorção Superficial (Ambas as Faces) | mm | > 150 | > 150 |
| EN322 | Humidade | % | 7±-3 | 7±-3 |
| ISO3340 | Conteúdo em Sílica | % Peso | ≤ 0,05 | ≤ 0,05 |
| EN120 | Conteúdo de Formaldeído | mg/100g | ≤ 8 | ≤ 8 |
| EN13329 | Inchamento nos Topos | % | 15 | 15 |
| EN321/EN317 | Teste de Envelhecimento Acelerado (Opção 1) Inchamento depois do ensaio cíclico (V313) | % | 12 | 10 |
| EN321/EN319 | Teste de Envelhecimento Acelerado (Opção 1) Tração Interna depois do ensaio cíclico (V313) | N/mm ² | 0,4 | 0,3 |
| EN321/EN320 | Teste de Envelhecimento Acelerado (Opção 1) Tração Interna depois do ensaio Cocção (V100) | N/mm ² | 0,2 | 0,15 |

Tabela 6 - Dados Técnicos de um Produto SuperPan Finsa, 2014)

| Teste de Referência | Propriedades | Unidades | Espessuras [mm] | | | | |
|---------------------|--|-------------------|-----------------|---------|--------|--------|--------|
| | | | 16/20 | > 20/25 | >25/32 | >32/40 | >40/44 |
| EN323 | Densidade | kg/m ³ | 520 | 500 | 450 | 450 | 450 |
| EN319 | Tração Interna | N/mm ² | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,2 |
| EN310 | Resistência à Flexão | N/mm ² | 11 | 10,5 | 9,5 | 8,5 | 7 |
| EN310 | Módulo de Elasticidade | N/mm ² | 1600 | 1500 | 1350 | 1200 | 1050 |
| EN311 | Tração Superficial | N/mm ² | > 0,8 | > 0,8 | > 0,8 | > 0,8 | > 0,8 |
| EN382-1 | Absorção Superficial (Ambas as Faces) | mm | > 150 | > 150 | > 150 | > 150 | > 150 |
| EN322 | Humidade | % | 8±-3 | 8±-3 | 8±-3 | 8±-3 | 8±-3 |
| EN120 | Conteúdo de Formaldeído | mg/100g | ≤ 8 | ≤ 8 | ≤ 8 | ≤ 8 | ≤ 8 |