

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

ROGÉLIO DIAS

**ANÁLISE E DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DE UM
SUPERAQUECEDOR SECUNDÁRIO DE CALDEIRA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

ROGÉLIO DIAS

**ANÁLISE E DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DE UM
SUPERAQUECEDOR SECUNDÁRIO DE CALDEIRA**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Wanderson Stael Paris MSc.

**CURITIBA
2019**



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE E DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DE UM SUPERAQUECEDOR SECUNDÁRIO DE CALDEIRA

por

Rogélio Dias

Esta monografia foi apresentada em 04 de outubro de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Wanderson Stael Paris MSc.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Dias, Rogélio. **Análise e determinação do custo do ciclo de vida de um superaquecedor secundário de caldeira. 2019.** 59. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Este trabalho foi realizado devido a ocorrência de falhas no superaquecedor secundário da central termelétrica 3 da ArcelorMittal Tubarão. Na área de manutenção é muito comum que a tomada de decisão na aquisição de bens de capital, muitas vezes seja feita por base no custo de aquisição e não no custo total do ciclo de vida. Utilizando estudo de custo do ciclo de vida (LCC), foram analisadas 03 alternativas para determinar a melhor delas à ser utilizada e o melhor momento para se substituir o componente em uso tendo assim o melhor custo benefício para a empresa. As análises foram realizadas comparando as alternativas, utilizando análise do custo de vida. O resultado do trabalho mostrará a alternativa mais viável a ser empregada. Este tipo de abordagem de Engenharia Econômica estimula uma visão de longo prazo ao invés do curto prazo e também pode ser muito útil na Gestão de Ativos de uma empresa.

Palavras-chave: Análise do Custo do Ciclo de Vida. Superaquecedor. Usina Siderúrgica. Aquisição de Ativos. Central Termelétrica.

ABSTRACT

Dias, Rogélio. **Life cycle cost analysis and determination of a secondary boiler superheater.** 2019. 59. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

This work was carried out due to the occurrence of failures in the secondary superheater of ArcelorMittal Tubarão power plant number 3. In the area of maintenance, it is very common for capital goods decision-making to be made often on the basis of acquisition cost rather than total life cycle cost. Using life cycle cost studies (LCC), 03 alternatives were analyzed to determine the best one to use and the best time to replace the component in use, thus having the best cost benefit for the company. The analyzes were performed comparing the alternatives, using cost life analysis. The result of the work will show the most viable alternative to be employed. This type of Economic Engineering approach encourages a long-term rather than short-term view and can also be very helpful in managing a company's assets.

Palavras-chave: Life Cycle Cost Analysis. Superheater. Asset Acquisition. Steel Plant. Power plant.

LISTA DE SIGLAS

AMT	ArcelorMittal Tubarão
SH2	Superaquecedor Secundário
MHI	Mitsubishi Heavy Industries
TGS	Turbo Gerador Soprador
TG	Turbo Gerador
COG	Coke Oven Gas
BFG	Blast Furnace Gas
CTE	Central termelétrica
BC	Bomba de Condensado
PAA	Pre Aquecedor de Ar
BAC	Bomba de alimentação de Caldeira
CAE	Custo Anual Equivalente
CAPEX	Despesa de operacionais
CBS	Estrutura de Decomposição de Custos
GA	Gestão de Ativos
LCCA	Análise do Custo do Ciclo de Vida
LTQ	Laminador de Tiras a Quente
OPEX	Despesa de operacionais
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VF	Valor Futuro
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma Geral da Central Termoelétrica da ArcelorMittal Tubarão	19
Figura 2 – Fluxograma do Ciclo Fechado de Uma Única Planta da Central Termoelétrica da AMT	21
Figura 3 - Caldeira flamotubular de traseira molhada, com dois passes, para óleo e gás	24
Figura 4 - vista da caldeira 3 da AMT	27
Figura 5 - Temperatura de saída de superaquecedores em função da carga da caldeira.....	28
Figura 6 - Esquema construtivo de dessuperaquecedor	29
Figura 7 - Painéis de superaquecedores.....	30
Figura 8 - Esquemático da formação da camada interna de óxido e vazios	32
Figura 9 - Ilustração do rompimento do tubo devido ao vazio	33
Figura 10 - Vida Econômica de um bem.	37
Figura 11 - Custos do Ciclo de Vida	39
Figura 12 - Arvore do Custo do Ciclo de Vida	40
Figura 13 - Decomposição dos Custos de Aquisição	41
Figura 14 - Decomposição dos Custos de Manutenção	42
Figura 15 - Curva do Fator de Degradação.....	48
Figura 16 - Variação dos Custos Anuais Equivalentes para o caso 1	52
Figura 17 - Variação dos Custos Anuais Equivalentes para o caso 2	53
Figura 18 - Variação dos Custos Anuais Equivalentes para o caso 3	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo da vida econômica útil para uma taxa de atratividade mínima de 15%	49
Tabela 2 - Cálculo da vida econômica útil para uma taxa de atratividade mínima de 15%	50
Tabela 3 - Cálculo da vida econômica útil para uma taxa de atratividade mínima de 15%	51

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1	PREMISSAS E PROBLEMAS DA PESQUISA.....	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral.....	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
1.3	JUSTIFICATIVAS.....	14
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	APRESENTAÇÃO DO OBJETO DA PESQUISA.....	18
2.1	MACROFLUXO DA CENTRAL TERMOELÉTRICA DA AMT.....	20
2.2	CALDEIRAS	23
2.2.1	Caldeiras Flamotubulares.....	23
2.2.2	Caldeiras Aquotubulares	24
2.3	SUPERAQUECEDORES	28
2.4	DEGRADAÇÃO DE SUPERAQUECEDORES	30
2.5	SÍNTESE DO CAPÍTULO 2.....	33
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	34
3.1	INVESTIMENTO EM ATIVOS FIXOS	34
3.2	MÉTODO DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO	35
3.3	PAYBACK DESCONTADO	35
3.4	VALOR ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE	36
3.5	TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	36
3.6	VALOR PRESENTE LIQUIDO (VPL).....	36
3.7	CUSTO ANUAL EQUIVALENTE	36
3.8	TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)	37
3.9	DESPESAS DE CAPITAL (CAPEX).....	38
3.10	DESPESAS OPERACIONAIS (OPEX).....	38
3.11	VIDA ÚTIL	38
3.12	VIDA ECONÔMICA	38
3.13	ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA.....	38
3.14	ESTRUTURA DE DECOMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DE AQUISIÇÃO.....	39
3.15	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	42
4	ANALISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA.....	44
4.1	DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA ANÁLISE.....	44
4.2	DEFINIÇÃO DOS CUSTOS	44
4.3	CUSTOS DE AQUISIÇÃO DE UM SUPERAQUECEDOR NOVO.....	45
4.4	CUSTO MÉDIO DE UMA PARADA POR FALHA NO SUPERAQUECEDOR DA CALDEIRA	46
4.5	TAXA MÍNIMA ATRATIVA.....	46
4.6	CALCULO DA VIDA ÚTIL ECONÔMICA	47
4.7	FATOR DE DEGRADAÇÃO.....	47
4.8	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	54
5	CONCLUSÃO	55

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
----------------------------------	----

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo irá apresentar as premissas e problema de pesquisa, objetivos, justificativa, procedimentos metodológicos e a estrutura desta monografia. O objeto deste trabalho é analisar e determinar o custo do ciclo de vida para o superaquecedor secundário da caldeira 3 da ArcelorMittal Tubarão. A metodologia que se deseja empregar é a Análise do Custo do Ciclo de Vida (em inglês LCCA, *Life Cycle Cost Analysis*). A partir desta análise deseja-se verificar qual a melhor oportunidade para substituição deste superaquecedor e analisar a viabilidade de troca parcial do mesmo do ponto de vista financeiro.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMAS DA PESQUISA

Nas últimas décadas, com a globalização da economia, as empresas de uma maneira geral têm buscado ser competitivas, para permanecer no mercado global. A exigência por custos cada vez menores é uma das medidas para garantir o retorno ao acionista.

As empresas que tem como seu core business exploração, beneficiamento e refino de algum tipo de commodities tem na sua política estratégica de mercado, a redução de custos, já que os preços dos seus produtos são baseados na lei da oferta e procura. A única maneira de se manter competitivo é através da busca incessante pela redução de custos, principalmente no que diz respeito aos custos de manutenção e reposição de ativos. Outra política que atualmente vem também tomando conta das empresas no Brasil é o aumento da produtividade. Ou seja, fazer mais com menos, explorar ao máximo os ativos.

Assim é de se esperar que toda a tomada de decisão nestas empresas, seja com base em uma avaliação financeira, principalmente no que diz a retorno financeiro.

Justificar um investimento de capital em equipamentos com base apenas nos custos de aquisição, deixando de avaliar o ciclo de vida completo, parece ser uma realidade tanto no setor público quanto no setor privado. Na realidade os demais custos podem afetar o cálculo do retorno real do investimento no equipamento.

O profissional de manutenção, na sua grande maioria, consegue justificar o orçamento para manutenção e para aquisição de bens de capital, com uma visão míope, muito estreita dos custos e de retorno financeiro.

Tem-se que considerar ainda que a suas justificativas são embasadas em indicadores de desempenho técnicos ou de gestão, com pouca informação sobre retorno financeiro. O retorno financeiro é um fator primordial para decisão, principalmente nas médias e altas gerências.

Sem esse embasamento financeiro, resta ao profissional, reparar o equipamento até falhar, muitas vezes pagando mais pela reforma em longo prazo. Esta dificuldade também acaba por priorizar equipamentos de forma inadequada, distribuindo recursos de orçamento para equipamentos que já estão com a sua vida útil econômica e tecnicamente esgotada, negligenciando outros.

É indicado ao profissional de manutenção que se familiarize com a abordagem do LCCA no sentido de melhor entender não só a melhor hora de substituir um determinado ativo, assim como poder melhor contribuir para a tomada de decisão, incluindo esta vertente muitas vezes subavaliada.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Determinar e analisar o custo do ciclo de vida do superaquecedor secundário da caldeira 3 da Planta de Tubarão da ArcelorMittal, com o objetivo de avaliar o melhor momento para investir em um novo ativo de mesma especificação. Avaliar também a viabilidade econômica de substituição parcial do superaquecedor e determinar a melhor opção entre as duas, troca total ou parcial.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para cumprimento do objetivo geral deverão ser realizados os seguintes objetivos específicos.

- Definir o escopo do trabalho e premissas iniciais, ou seja, definir claramente todos os aspectos e fases que serão objeto desta avaliação.

- Definição do limite do que está dentro e fora da avaliação. Esta etapa é fundamental para definição da estrutura de custos.
- Definição das categorias e subcategorias de custos e desenvolvimento da estrutura hierárquica de custos;
- Levantar os dados referentes a custos atuais e futuros;
- Levantar, calcular e estimar o perfil de custos para a aquisição do sobressalente: custos de aquisição, montagem, manutenção, etc
- Fazer a análise da definição do melhor momento de aquisição e/ ou apresentar alternativas que possam ser mais viáveis;
- Analisar os resultados

1.3 JUSTIFICATIVAS

A central termelétrica 3 (CTE#3) da ArcelorMittal Tubarão, da qual a caldeira#3 é um dos equipamentos integrantes e onde fica instalado componente objeto desse estudo, superaquecedor secundário (SH2), foi instalada em 1998 adquirida junto a Mitsubishi Heavy Industries (MHI) no Japão.

Após 4 anos de operação, a MHI informou para a ArcelorMittal Tubarão que o material utilizado para fabricação do SH2, para a faixa de pressão e temperatura de operação da caldeira, formava uma camada interna de oxido muito espessa, e que a partir de certa espessura esta camada se descola da superfície do tubo formando uma bolsa que prejudica a troca térmica provocando falha no tubo. Informou que pelos estudos realizados pela MHI o SH2 deveria ser substituído no máximo até o ano de 2010, tocando o material de fabricação, pois a partir desta data o componente começaria a falhar.

Em 2002 foi removida uma amostra do equipamento para ser analisa pela MHI e durante as análises, a MHI relatou que o processo de formação de camada de oxido estava condizente com as outras análises já realizadas em outras caldeiras e confirmou a necessidade de substituição do componente me 2010.

A ArcelorMittal Tubarão contratou avaliações independentes para avaliar a vida útil do componente e o resultado da primeira análise indicou vida útil até o ano de 2014, porém em 2009 ocorreu a primeira falha do componente SH2.

Após a primeira falha foi realizada nova avaliação de vida remanescente do componente e o resultado mostrou que o SH2 teria final de vida em 2018. Porém a partir de 2010, ocorreram mais falhas do componente e estas falhas se intensificaram a partir de 2018.

As falhas mostraram uma particularidade, os pontos de falha ocorrem sempre na mesma região do componente, região de maior pressão e maior temperatura, últimos dois tubos da serpentina. Isso levou ao corpo técnico da ArcelorMittal a verificar duas opções: substituição total do SH2 ou substituição parcial, considerando trocar apenas a região onde ocorrem as falhas para ganhar uma vida adicional do componente, reduzindo assim o investimento necessário para correção do elemento de falha.

A aplicação da metodologia da Análise do Custo do Ciclo de Vida visa incluir um indicador financeiro que ajudaria na argumentação para definir a melhor opção a ser adotada, substituição total ou parcial, já que argumentação técnica da necessidade de substituição está clara e definida.

A expectativa desta análise é que ela possa responder as seguintes indagações:

- Definição do melhor momento para substituição ou apresentação de alternativas compatíveis viáveis tanto técnica quanto financeiramente;
- Certificar-se do retorno de investimento em um item de capital e com esta informação dar melhor embasamento para tomada de decisão
- Aplicar melhor recursos do orçamento da manutenção e gerir o risco devido a tomada de decisão.
- Aplicar melhor recursos do orçamento da manutenção, melhorando a tomada de decisão, gerenciando melhor os riscos.
- Fazer a melhor avaliação da opção a ser adotada, substituição total ou parcial do componente que está falhando.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicia-se este trabalho com o estudo e a pesquisa de todos os aspectos da metodologia da aquisição de ativos, Análises de Investimento e da Análise do Custo do Ciclo de vida (LCCA) que possam ser empregados nesta monografia. Desta forma a pesquisa bibliográfica vai abranger não só estas metodologias como também todos os aspectos que possam ser pertinentes envolvendo as áreas de Engenharia Econômica e de Confiabilidade.

O levantamento das informações ocorreu dentro dos arquivos da área de manutenção da área de energia da AMT.

Depois os cálculos foram realizados através de planilha eletrônica do Excel da Microsoft.

Por se tratar de uma análise a partir da substituição idêntica, o equipamento atual poderá ser analisado à luz do comportamento de um equipamento novo para troca total, o mesmo não se aplica a troca parcial.

Com relação a classificação desta pesquisa, de acordo com Silva e Menezes (2005) no que diz respeito a natureza, este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, uma vez que aplicaremos os conceitos da Análise do Custo de Vida e indicadores financeiros para responder à questão que é o cerne deste trabalho: Qual a melhor hora para trocar o item?

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos trata-se de uma pesquisa bibliográfica, que será realizada na primeira fase com levantamento de livros, artigos, materiais, normas e procedimentos com o intuito de verificar o que foi feito e o que está se utilizando e como estão aplicando o LCCA na indústria hoje.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 é apresentada a área de Energia da ArcelorMittal Tubarão e a sua importância no processo de fabricação de placas e bobinas de aço. Serão detalhados os principais tipos de defeitos que apresenta uma caldeira. Será apresentada a Central Termelétrica como um todo, destacando a CTE#3 onde está situada a caldeira 3 e o SH2 objeto deste trabalho. Será apresentado e detalhado o problema referente as falhas que ocorrem e o custo operacional que estas falhas representam.

O capítulo 3 apresenta o referencial teórico da Aquisição de Ativos, Análise de Investimentos e Análise do Custo do Ciclo de Vida. Serão explicitados os fatores motivacionais para a substituição de ativos. Os principais modelos de Análise de Investimento que auxiliam na tomada de decisão. Serão apresentadas as estruturas de decomposição dos custos, bem como o detalhamento de cada custo.

O capítulo 4 apresenta todos os detalhamentos dos levantamentos e cálculos tanto para o custo de aquisição como para manutenção. Será apresentado o cálculo para a vida útil econômica e a explicação da evolução destes custos ao longo do tempo.

Com base nos custos será feita a análise da melhor época para substituição do SH2, bem como qual a melhor opção, troca total ou parcial. Para todos os cálculos e estimativas serão comentadas as considerações e simplificações adotadas.

O capítulo 5 apresenta uma síntese dos resultados e as conclusões depois de realizados os cálculos. Os benefícios e os ganhos com esta análise deverão ser explicitados. Tendo em vista a análise ocorrer através da substituição idêntica do equipamento atual que está operando será analisada à luz da análise do novo ou de uma substituição parcial, o que for mais economicamente viável. Também serão apresentadas sugestões visando trabalho futuro.

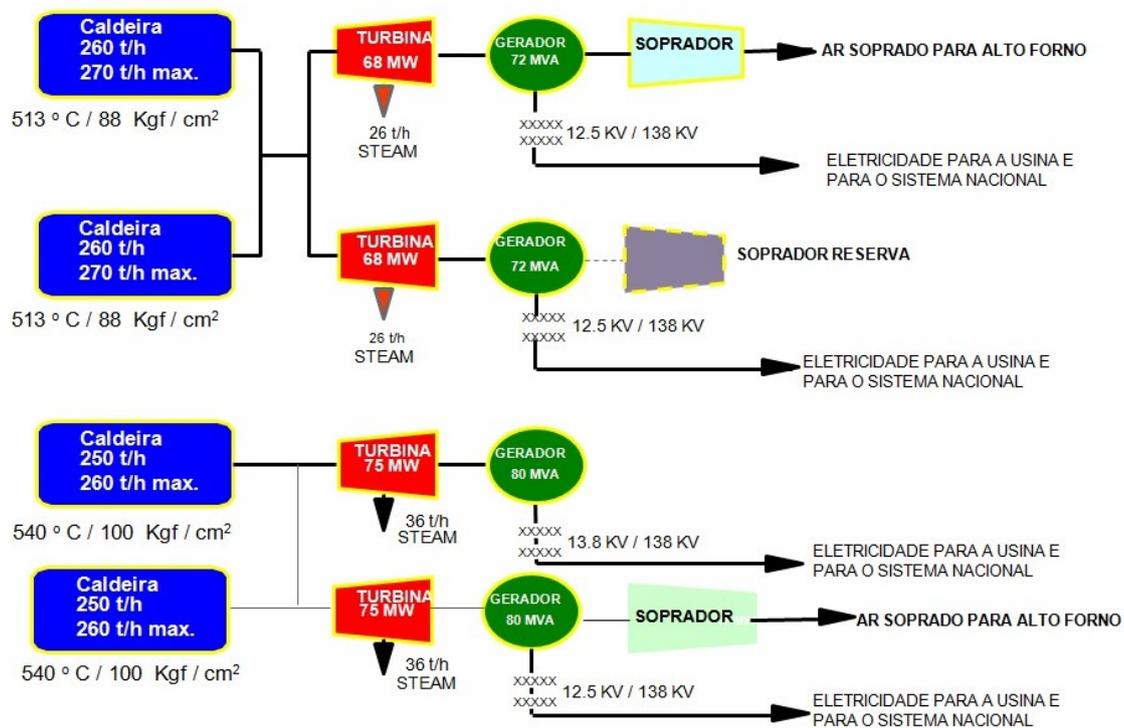
2 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DA PESQUISA

Este capítulo detalhará o equipamento objeto de aplicação da metodologia deste trabalho, a saber, o superaquecedor secundário (SH2) instalado na Central Termoelétrica da ArcelorMittal Tubarão. Tal abordagem se dará partir da visão sistêmica do processo correlacionado ao mesmo, de forma a trazer o pleno entendimento de todo o contexto operacional envolvido. Neste sentido, este capítulo traz esta proposta através de uma abordagem técnica de forma a tratar dos requisitos mínimos para a fundamentação do desenvolvimento deste trabalho.

A partir do entendimento do contexto técnico e funcional do equipamento objeto do estudo, iremos mostrar o mecanismo de falha que o mesmo está sujeito para contextualizar o objetivo do estudo. Com isso iremos, ao fim, determinar o tempo de campanha ótima para as condições normais de operação desse equipamento visando estimar seu ciclo de custo de vida.

Para efeitos deste estudo, vamos apresentar o equipamento, suas condições operacionais e local de aplicação, conforme premissas apresentadas a seguir, a partir do macroprocesso que compreende a Unidade Operacional em questão, representada pelo fluxograma mostrado na

Figura 1 - Fluxograma Geral da Central Termoeletrica da ArcelorMittal Tubarão



Fonte: arquivos de apresentação da área de Energia da AMT (2016).

Conforme se pode observar na

, A Central Termoelétrica da AMT é composta por quatro plantas de produção de energia eletromecânica, com capacidade total de geração de 286MW, cuja geração de energia se dá a partir da transformação de energia térmica de combustíveis coprodutos do processo siderúrgico da AMT, os quais são queimados em caldeiras aquo-tubulares que, por sua vez, produzem vapor superaquecido em alta pressão, que move as palhetas das turbinas a vapor, transformando então a energia térmica proveniente do vapor das caldeiras em energia mecânica, em forma de rotação de turbinas. Cada turbina tem seu eixo acoplado solidaria de forma axial ao eixo do rotor do gerador elétrico e este, por sua vez, para as unidades 2, 2 e 4, acoplado da mesma forma ao rotor de um compressor axial de ar, de tal forma que se tenha um único conjunto rotativo denominado de TGS (turbo-gerador-soprador), para as unidades 1, 2 e 4 e TG (turbo-gerador) para a unidade 3.

Cada caldeira foi concebida sob porte e projeto similares, com capacidade individual média de produção de 260 t/h de vapor superaquecido à pressão e temperatura médias controladas, respectivamente, a valores médios de 94kgf/cm² e 526°C, totalizando 1.040t/h de produção de vapor de toda a Central. O excedente do vapor produzido (não enviado às turbinas, ou extraído das mesmas parcialmente durante o processo de realização do trabalho na turbina) é enviado à rede de vapor da usina para as mais diversas utilizações nos processos auxiliares da planta siderúrgica.

Após ter gerado trabalho pelo movimento rotativo do rotor da turbina, o vapor exausto, já saturado, passa em um condensador onde será resfriado e novamente transformado em água para ser retornado ao ciclo fechado de produção de vapor da caldeira.

Cada turbina tem concepção e potência similar entre si, da ordem de 70MW cada. A rotação nominal das turbinas é de 3600rpm, o trabalho do vapor é dividido em estágios de expansão intermediários axiais com possibilidade de extrações de vapor nos mesmos.

Os quatro geradores elétricos têm capacidade média de 68MVA cada (capacidade total de geração elétrica da Central em torno de 272MW), de forma que se tenha uma configuração de autossuficiência em energia elétrica para toda a planta siderúrgica (uma vez que os combustíveis para esta produção são oriundos

do próprio processo siderúrgico). Desta forma, o excedente de energia elétrica é disponibilizado para venda ao sistema elétrico nacional interligado.

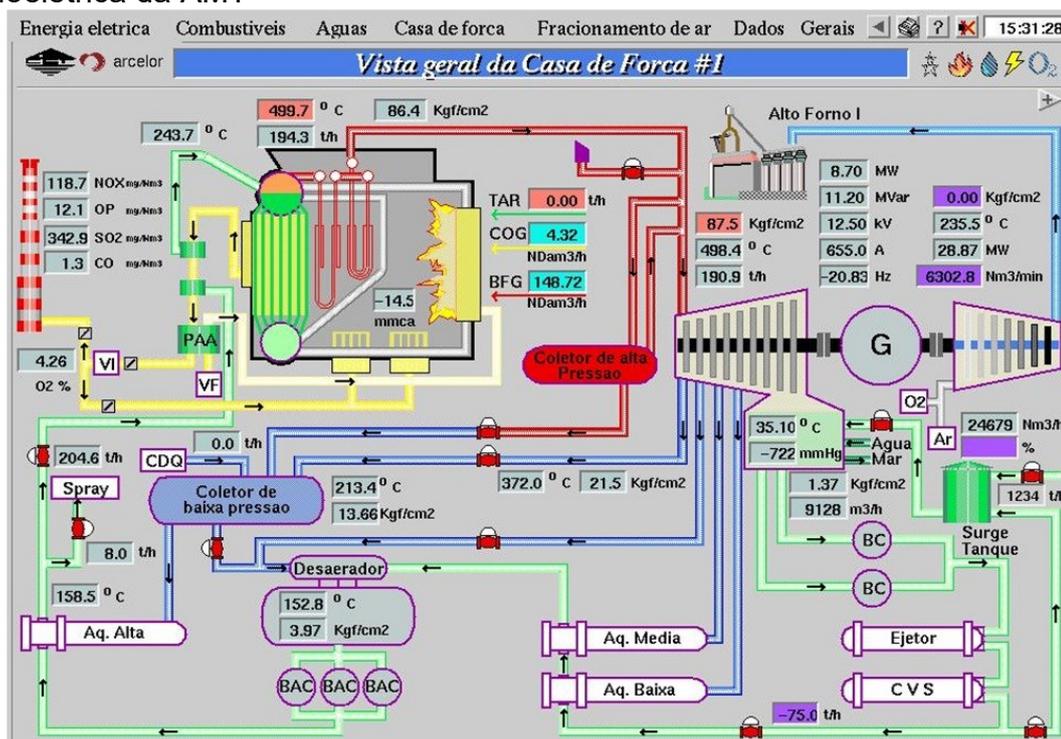
Os sopradores axiais de ar são utilizados para envio de ar para o funcionamento dos Altos-Fornos da planta siderúrgica integrada, com capacidade de volume de sopro de ar da ordem de $8.300\text{m}^3/\text{min}$ por soprador, com potência estimada em torno de 25 a 35MW cada, dependendo das vazões de ar solicitadas pelos processos clientes (Altos Fornos).

O próximo tópico apresenta o fluxograma detalhado do ciclo térmico fechado de produção de energia térmica x mecânica dessa Central Termoelétrica.

2.1 MACROFLUXO DA CENTRAL TERMOELÉTRICA DA AMT

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a visão geral do ciclo térmico fechado de uma única planta da Central Termoelétrica da AMT, apresentando seus principais equipamentos e sistemas, a saber: caldeira, circuito de vapor superaquecido, circuito de vapor saturado, conjunto rotativo turbina-gerador-soprador, circuito de água de alimentação de caldeira, sistema de combustíveis, sistemas de ar de alimentação e sistemas de gases exaustos da fornalha da caldeira.

Figura 2 – Fluxograma do Ciclo Fechado de Uma Única Planta da Central Termoelétrica da AMT



Fonte: Tela de Supervisão do Sistema Informatizado de Monitoração dos Processos em Nivel 2 da ArcelorMittal Tubarão (Sistema PROCOM) (2017).

- Combustíveis utilizados na caldeira: alcatrão (linha-seta verde – Tar: alcatrão em inglês), COG (linha-seta amarela) e BFG (linha-seta vermelha).
- Circuito de água de alimentação: linha verde, a partir do condensador da turbina até o tubo reservatório superior da caldeira (chamado de tubulão). O circuito é fechado, ou seja, a água que retorna para a caldeira é proveniente do vapor condensado no Condensador da turbina. Entretanto há reposição das perdas através de água desmineralizada, fornecida a partir do Surge-Tanque (tanque específico para reposição de água no circuito da CTE, identificado em verde, na posição centro-direita da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Nota-se, ao longo deste circuito, a existência de bombas de condensado (BC - de baixa pressão, para coleta da água do condensador) e bombas de água de alimentação (BAC – que elevam a pressão da água à pressão do tubulão superior, onde a mesma é entregue à caldeira para ser convertida em vapor). Ao longo do trajeto, a água é pré-aquecida por trocadores de calor que realizam a troca térmica com parte do próprio vapor produzido (aquecedores de baixa, média e alta pressão), bem como também pelo calor cedido pelos gases exaustos antes de serem descartados na chaminé, através de trocadores de calor denominados “economizadores”.
- Gases de exaustão - linha amarela: são os gases resultantes da queima dos combustíveis na fornalha da caldeira. Parte desses gases é eliminada pela chaminé e parte retorna para a fornalha de queima, para controle de pressão da mesma (chamado de “gás recirculado”). Ao longo do circuito de exaustão há também os seguintes trocadores de calor, com a finalidade de ganho de energia térmica desses gases: superaquecedor (já apresentado), PAA (Pré Aquecedor de Ar) - trocador de calor com ar de alimentação da fornalha, e Economizadores: trocadores de calor com os circuitos de água de alimentação da caldeira (representados pelos quadros em verde na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, na interseção entre os circuitos de água de alimentação e gases de exaustão, à esquerda da fornalha).

- Corpo da Caldeira: este tópico será tratado em detalhes no próximo capítulo.
- Vapor superaquecido - linha vermelha: conforme já explicado, esse é o produto da caldeira, que na representação da Figura 2, é entregue à turbina a 498°C e 87,5Kgf/cm², à vazão nominal de 260t/h, como propulsor do conjunto rotativo TGS (turbo-gerador-soprador), que no caso gira à rotação nominal de 3.600rpm. Conforme observado na Figura 2, parte deste vapor superaquecido também pode ser desviado para o Coletor de Alta Pressão, e, na sequência, para o Coletor de Baixa Pressão, onde o mesmo é reduzido à condição de vapor saturado sob valores de temperatura e pressão nos patamares de 210 a 240°C e 12 a 15Kgf/cm², para serem utilizados em outras aplicações auxiliares da planta. Outro ponto de transformação de vapor superaquecido em vapor saturado é a própria turbina, através da realização de extrações de vapor pelos seus estágios de expansão. No caso da turbina mostrada na Figura 2 (turbina 1), há quatro estágios de extração de vapor. Este vapor é também utilizado para otimização da energia térmica do processo, no reaquecimento inicial da água recirculada (aquecedores de baixa e média), no pré-aquecimento do ar de combustão (em um trocador de calor denominado SAH – *Steam Air Heater*), e nas demais aplicações de processo, via circuito do Coletor de Baixa. Seu circuito é representado pelas linhas em azul da Figura 2).
- Turbina a vapor, principal equipamento que utiliza o vapor deste processo da central termoelétrica, pois tem a finalidade de produzir a energia mecânica a partir do vapor produzido, pela transformação dos insumos de entrada (energia térmica dos combustíveis convertida em energia térmica de transformação da água para vapor, e, por último, conversão da energia térmica do vapor em energia mecânica cinética de rotação da turbina). A turbina é o equipamento através do qual a energia contida no vapor gerado pela caldeira é convertida em energia cinética, através da rotação a rotação mecânica de seu eixo, pela realização de trabalho do vapor nos diversos estágios de expansão constituídos de palhetas radiais angulares. Ao eixo da turbina é acoplado, de forma axial, o eixo de outro conjunto

rotativo que utilizará essa energia cinética gerada, como, por exemplo, um gerador elétrico ou um compressor rotativo.

Ao deixar a turbina, o vapor exausto é lançado no condensador, que o converte em água. A água formada no condensador passa por vários estágios de reaquecimento e retirada bolhas de ar antes de chegar às bombas de água de alimentação da caldeira para novamente ser transformada em vapor, fechando o ciclo de seu trabalho.

2.2 CALDEIRAS

As caldeiras ou geradores de vapor, são equipamentos destinados a transformar água em vapor. A energia necessária à operação, isto é, o fornecimento de calor sensível à água até alcançar a temperatura de ebulição, mais o calor latente a fim de vaporizar a água e mais o calor de superaquecimento para transformá-la em vapor superaquecido, é dada pela queima de um combustível.

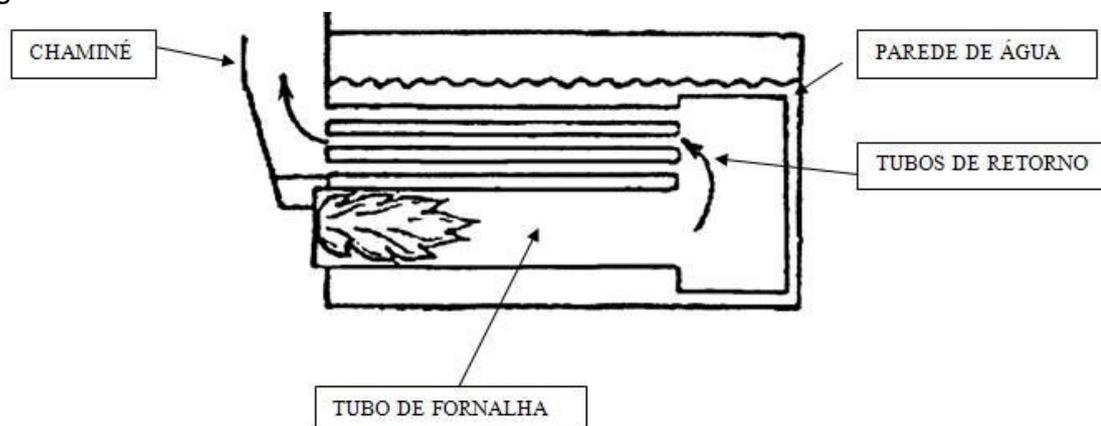
Conforme o tipo, as caldeiras podem ser classificadas em:

- Flamotubulares;
- Aquotubulares.

2.2.1 Caldeiras Flamotubulares

No primeiro caso, os gases quentes passam por dentro de tubos, ao redor dos quais está a água a ser aquecida e evaporada. Os tubos são montados à maneira dos feixes de permutadores de calor, com um ou mais passos dos gases quentes através do mesmo. Na figura 03, podemos ver em corte uma caldeira deste tipo. As caldeiras flamotubulares são empregadas apenas para pequenas capacidades e quando se quer apenas vapor saturado de baixa pressão.

Figura 3 - Caldeira flamotubular de traseira molhada, com dois passes, para óleo e gás



Fonte: EM 722 - Geração, Distribuição e Utilização de Vapor - Profº Waldir A. Bizzo (2019)

2.2.2 Caldeiras Aquotubulares

Caldeiras aquotubulares, que é o tipo de caldeira utilizado na Arcelormittal Tubarão, se caracterizam pela circulação externa dos gases de combustão e os tubos conduzem massa de água e vapor, sendo sua utilização mais ampla, pois possuem vasos pressurizados internamente e de menores dimensões relativas. Isso viabiliza econômica e tecnicamente o emprego de maiores espessuras e, portanto, a operação em pressões mais elevadas. Outra característica importante desse tipo de caldeira é a possibilidade de adaptação de acessórios, como o superaquecedor, que permite o fornecimento de vapor superaquecido, necessário ao funcionamento das turbinas.

Nas caldeiras aquotubulares o volume de água é distribuído por um grande número de tubos submetidos, exteriormente, ao contato dos gases de combustão. Os tubos podem ser retos ou curvados, dispostos de forma a garantir uma eficiente circulação da água em ebulição. Os tubos interligam dois ou mais reservatórios cilíndricos horizontais, onde:

Tubulão superior - ocorre a separação da fase líquida e do vapor;

Tubulão inferior - ocorre a decantação e purga dos sólidos em suspensão

Os componentes de uma caldeira aquotubular são:

- Câmara de combustão
- Tubos
- Coletores
- Tubulão

- Superaquecedor
- Sopradores de fuligem
- Pré-aquecedor de ar
- Economizador
- Alvenaria (refratários)
- Queimadoras
- Ventiladores
- Chaminé
- Válvulas de segurança

A câmara de combustão é a região onde se dá a queima do combustível, com produção dos gases de combustão que fornecem calor à água. Os tubos servem para a circulação de vapor e água dentro da caldeira, a fim de permitir a troca de calor entre os gases quentes de combustão e a água ou vapor.

Os coletores são peças cilíndricas, às quais chegam e saem conjuntos de tubos, cuja finalidade, como o próprio nome indica, é coletar água ou vapor.

O tubulão é um tambor horizontal, situado no ponto mais alto do corpo principal da caldeira, ao qual acham-se conectados, através de tubos, os coletores, que se encontram em níveis diferentes dentro da caldeira. A água circula várias vezes através do conjunto tubulão-coletores descendo pelos tubos externos e retornando pelos internos. Essa circulação natural é provocada pela diferença de pressão exercida pelas colunas líquidas e pelas correntes de convecção formadas. A coluna externa contendo somente água é mais pesada do que a coluna interna contendo água + vapor, promovendo então a circulação. A parte vaporizada vai se armazenando no tubulão, enquanto o líquido volta a circular.

Além de acumular o vapor, o tubulão recebe também a água de alimentação, que vem do economizador. O espaço acima do nível d'água no tubulão, chama-se espaço de vapor. Para evitar o arraste de gotículas de líquido junto ao vapor no espaço de vapor existem chicanas com a finalidade de separar o líquido arrastado.

O vapor saturado separado no tubulão passa a outro conjunto de serpentinas, o superaquecedor, onde é obtido o seu superaquecimento. As serpentinas do superaquecedor têm suas extremidades ligadas a dois coletores de vapor. O superaquecedor pode situar-se na zona de radiação ou convecção, conforme o grau de superaquecimento para o qual as caldeiras são projetadas.

O pré-aquecedor de ar é utilizado para, aproveitando parte do calor dos gases residuais de combustão, aquecer o ar de alimentação das chamas.

No economizador, a água de alimentação passa por uma serpentina ou feixe tubular, a fim de aproveitar também o calor dos gases residuais da combustão, para depois ir, então, ao tubulão já pré-aquecido, o que representa uma economia de energia.

As paredes da caldeira são revestidas internamente de tijolos refratários, resistentes a altas temperaturas, que protegem as partes metálicas estruturais da caldeira contra deterioração por alta temperatura e produzem homogeneização da temperatura por reflexão do calor das chamas. Os maçaricos das caldeiras são semelhantes aos dos fornos.

Os sopradores de fuligem são tubos providos de orifícios, inseridos transversalmente aos tubos das serpentinas, em diversos locais da caldeira. São ligados, externamente à caldeira, ao sistema de vapor. Durante a operação da caldeira, há deposição de fuligem nos tubos, o que dificulta a transferência de calor. De tempos em tempos, então, é injetado vapor através deste sistema com a finalidade de remover a fuligem. Para melhorar a atuação dos mesmos, os sopradores geralmente têm movimento de rotação, atuando assim em maior área.

Os ventiladores têm a finalidade de movimentar o ar de combustão até os queimadores na câmara de combustão e os gases da câmara de combustão até a chaminé. Existem dois tipos funcionais de ventiladores: de tiragem forçada, que apanha o ar atmosférico e o envia através dos dutos da caldeira para os queimadores e o de tiragem induzida, instalado na saída da caldeira, que succiona os gases de combustão de dentro da câmara e os conduz à chaminé.

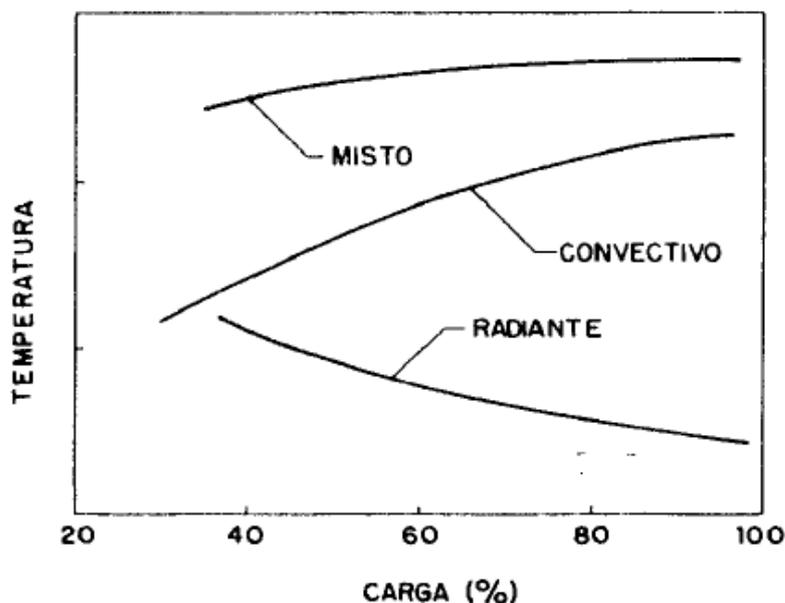
A chaminé é a parte que conduz os gases de combustão à atmosfera (em altura suficientemente grande para que não venham a ser danosos ao meio ambiente).

As válvulas de segurança são válvulas especiais, instaladas no tubulão, cuja finalidade é dar saída ao vapor no caso deste atingir uma pressão superior a um máximo admitido pelas condições de segurança operacional.

A caldeira, objeto deste trabalho é do tipo aquo-tubular, com fornalha retangular com queimadores tangenciais. O seu sistema água-vapor é composto por um tubulão inferior e um tubulão superior conectados a tubos de ascensão de água, os quais compõem as paredes da fornalha e receberão a incidência direta do calor

ou da grelha. A temperatura de superaquecimento varia com a carga da caldeira, já que a troca de calor não é acompanhada de mudança de fase como na vaporização. A troca de calor dentro do superaquecedor é função da velocidade do vapor dentro dos tubos e da velocidade dos gases na zona de convecção. A figura 05 mostra o comportamento da temperatura de superaquecimento do vapor conforme a carga da caldeira e o tipo de trocador. Equipamentos de convecção aumentam a temperatura de superaquecimento com o aumento da carga da caldeira, pois os coeficientes de troca de calor tendem a aumentar com as maiores velocidades dos gases e também do vapor dentro dos tubos. Superaquecedores de irradiação tem a temperatura de saída diminuída com o aumento da produção de vapor. A irradiação de calor varia pouco com a carga de produção de vapor. Em baixa carga a velocidade do vapor é mais baixa e conseqüentemente os coeficientes de transferência de calor também.

Figura 5 - Temperatura de saída de superaquecedores em função da carga da caldeira



Fonte: EM 722 - Geração, Distribuição e Utilização de Vapor - Profº Waldir A. Bizzo (2019)

Para manter a temperatura de saída do superaquecedor constante, projetaram-se unidades mistas com secções de radiação e convecção.

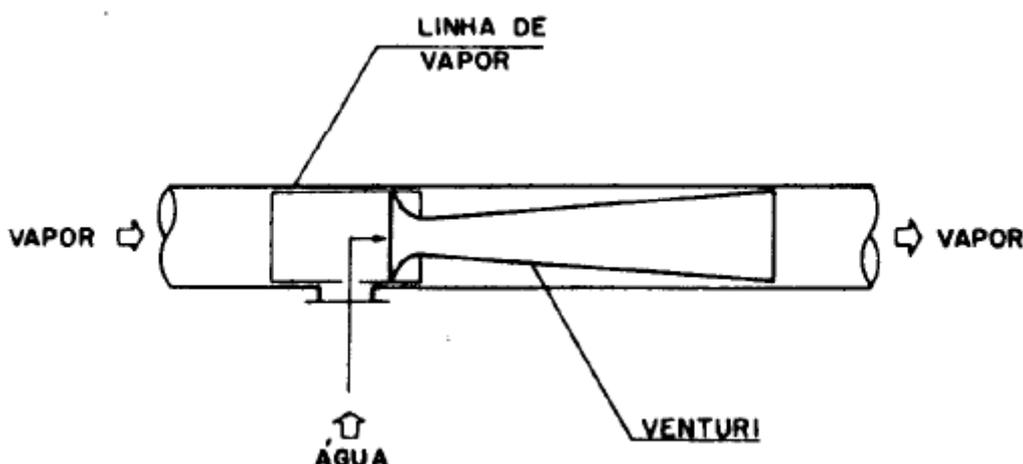
O controle fino da temperatura de superaquecimento pode ser feito de diversas maneiras:

- Controle da taxa de radiação, através do controle da posição angular dos queimadores de óleo ou gás, direcionando a chama radiante ao superaquecedor, ou controle da capacidade de combustão dos queimadores mais próximos ao superaquecedor.

- Desvio de gases passando pelo superaquecedor, através de uma válvula de desvio regulável automaticamente.

- Utilização de dessuperaquecedor (ou atemperador), na saída do superquecedor, o qual através da injeção direta de água líquida controla a temperatura de saída do vapor superaquecido. Neste caso o superquecedor tem que ser projetado para temperatura de saída maior que o necessário, a fim de permitir margem de controle. A temperatura de saída do atemperador é então controlada pela vazão de água injetada. Um esquema do atemperador é mostrado na figura 06.

Figura 6 - Esquema construtivo de dessuperaquecedor



Fonte: EM 722 - Geração, Distribuição e Utilização de Vapor - Profº Waldir A. Bizzo (2019)

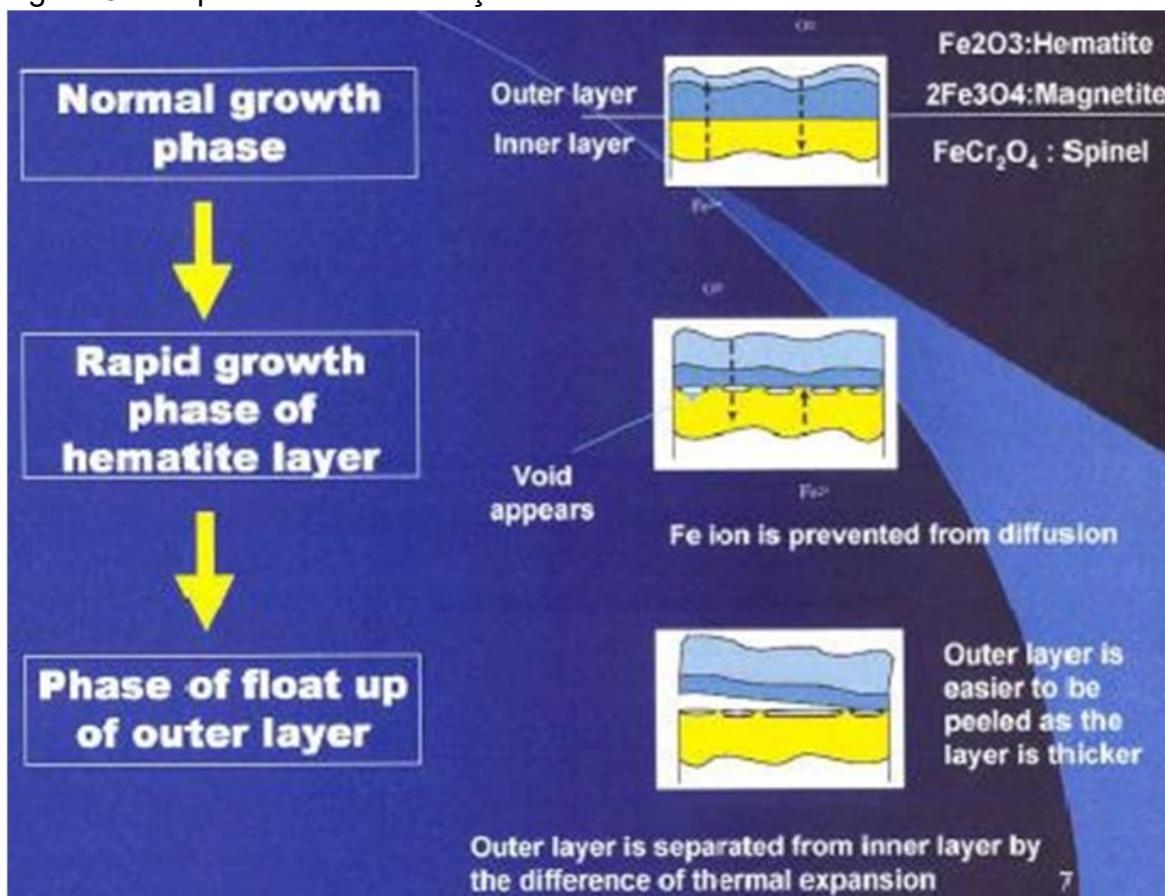
O atemperador é atualmente o método mais utilizado, pois proporciona ótimo controle e rápida resposta com a variação da carga, e independe do tipo de superaquecedor, seja de radiação, de convecção ou misto. Este é o método utilizado na AMT.

Variações nos detalhes construtivos de superaquecedores são diversas, e se referem ao número de passes de vapor, tipo de suporte do equipamento dentro da caldeira, uso de superfícies aletadas na zona de convecção, etc. A figura 07 mostra detalhe de um superaquecedor de radiação.

tempo, e pode fazer com que os materiais mesmo sobre carregamento constante sofram deformações plásticas e eventualmente venham a falhar.

Além da degradação por fluência, outro processo a que equipamentos tubos de caldeiras estão submetidos, é a formação de camada de óxido em seu interior, devido a exposição a altas temperaturas. Esta camada de óxido é importante para proteção dos tubos, porém a mesma deve ser controlada para que não prejudique a troca térmica. Durante as inspeções, os componentes de caldeiras submetidos a temperaturas mais elevadas, neste caso os superaquecedores, devem ser avaliados com medição da camada interna de oxido para se avaliar a vida útil deste componente.

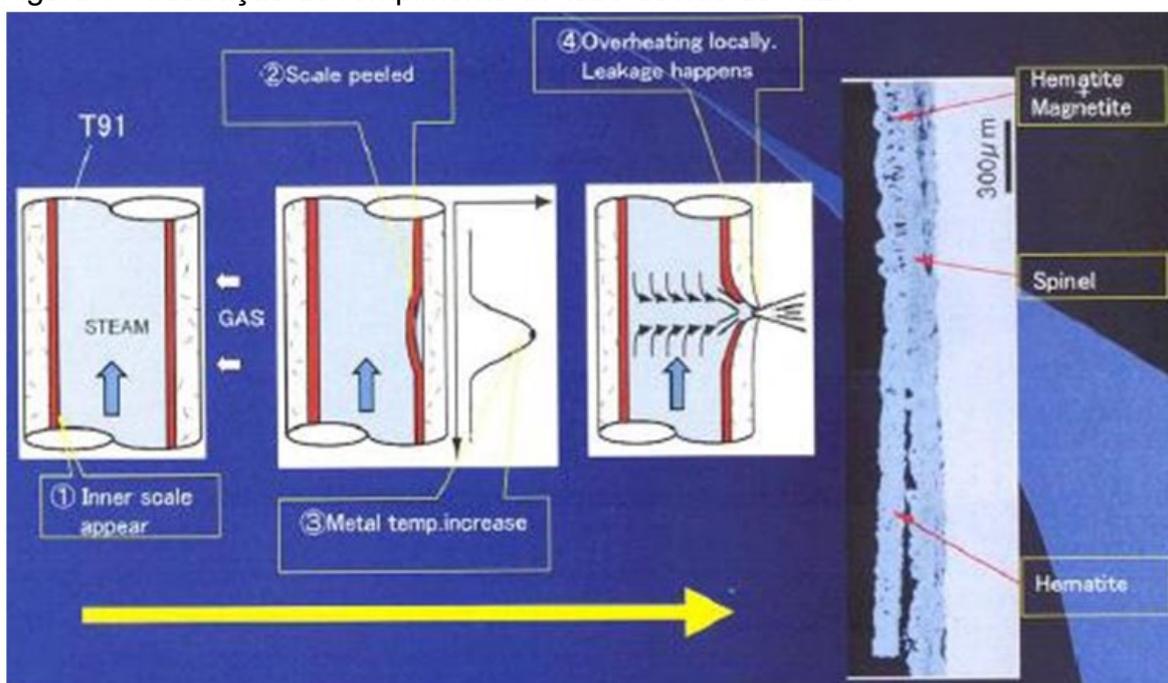
Figura 8 - Esquemático da formação da camada interna de óxido e vazios



Fonte: Relatório Mitsubishi (2003)

Alguns materiais, como o SA-213-T91, quando submetido à temperaturas da ordem de 540° C, tendem a formar uma camada muito espessa, acima de 0,30 mm, que após esta espessura pode ocorrer um descolamento da camada de oxido da superfície do tubo, formando um vazio. Como a camada de oxido é microporosa, este espaço vazio é preenchido por ar proveniente do vapor, causando assim um ponto de dificuldade de troca térmica o que, vai provocar um ponto quente na região, vindo o tubo a se romper. As figuras 08 e 09 apresenta este modo de falha para o aço AS-213-T91.

Figura 9 - Ilustração do rompimento do tubo devido ao vazio



Fonte: Relatório Mitsubishi (2003)

2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO 2

O contexto geral deste capítulo consistiu na apresentação do processo, sistemas e equipamentos envolvidos neste trabalho, partindo de uma metodologia da visualização geral para o detalhe dos itens pertinentes ao contexto, em uma visão de escalonamento descendente dos níveis hierárquicos construtivos da planta, ou seja, da unidade operacional para o equipamento, do equipamento para o sistema e finalmente do sistema para seus componentes, de forma a trazer a base técnica

suficiente para o pleno entendimento contextual do item funcional cerne do trabalho, a saber, os superaquecedores de uma caldeira da central termoeletrica da AMT.

A partir dessa exposiçao, pode-se concluir que todos os superaquecedores de caldeiras, objetos deste estudo tem o mesmo principio de funcionamento, apesar de construtivamente diferentes, estando sob as mesmas condiçoes de uso, sujeitos aos mesmos modos de falha.

No proximo capitulo abordaremos a analise do custo do ciclo de vida de um equipamento e vamos contextualizalo na realidade do superaquecedor secundario da caldeira#3 da ArcelorMittal.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capitulo serao apresentados os conceitos e metodologias, que embasarao tecnicamente e dara suporte na argumentaçao de todas as etapas da analise do custo de ciclo que sera elaborado. Estarao presentes neste capitulo todo o conceito teorico para caracterizacão e desdobramento dos custos, bem como os indicadores financeiros e suas formulas de calculo. Com a compreensao destes, passaremos a aplicacão desta metodologia que sera apresentada no capitulo 4.

3.1 INVESTIMENTO EM ATIVOS FIXOS

Sao varias as razoes que levam uma empresa a substituir um ativo fixo ou desativalos, e estas, segundo Vey e Rosa (2003), sao agrupadas em tres grupos que sao:

a) Deterioraçao: Causada pelo grau de utilizacão do equipamento, que no caso do ativo em questao, Superaquecedor secundario de uma caldeira, que a deterioraçao e causada pela exposiçao do material a altas temperaturas as quais o material e submetido durante operacão. O principal fator de deterioraçao do ativo e metalurgico, onde ocorre formacão interna de camada de oxido, mas tambem existe consumo de vida a fluencia do material.

b) Avanço Tecnológico: O avanço tecnologico faz surgir equipamentos mais modernos, com aplicacão de materiais melhores a aplicacão, que trazem mais vantagem operacional tornando os atuais obsoletos;

c) Inadequação: Quando em buscas de mais competitividade, as empresas alteram suas linhas de produção tornando alguns equipamentos dispensáveis e inadequados para produção.

Segundo Erlich e Moares (2009) os custos que influenciam a decisão de continuar ou não operando com o equipamento existente são:

a) Custos de Operação e Manutenção que são crescentes com o tempo; este é o caso do objeto de estudo deste trabalho. O super aquecedor tem os seus custos de manutenção

b) Custos de Obsolescência, que provocam uma desvantagem relativa por não usar equipamento tecnologicamente mais moderno. Isto pode afetar a qualidade do produto.

c) Custos de Inadequação, que nos impedem de empregar um equipamento mais bem dimensionado.

Segundo Casarotto Filho & Kopittke (2010), os problemas de substituição de ativos podem ser agrupados em cinco modelos tradicionais que são: a baixa reposição sem reposição, substituição idêntica, substituição com progresso tecnológico e substituição estratégica,

No caso de substituição idêntica, segundo Vey e Rosa, o mais importante é determinar a vida útil econômica em análise, para assim chegar ao momento ótimo de substituição.

É desta forma que iremos trabalhar no próximo capítulo, com base na premissa citada no capítulo 1, a substituição do super aquecedor será por outra da mesma capacidade e especificação ou por uma alternativa viável. Assim vamos determinar a vida útil econômica deste equipamento.

3.2 MÉTODO DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Existem vários métodos para determinar o momento ideal para substituição de ativos depreciáveis ou analisar alternativas de investimentos que auxiliam a tomada de decisão.

a) *Payback* descontado;

b) Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE);

- c) Taxa Interna de Retorno (TIR);
- d) Valor Presente Líquido (VPL);
- e) Custo Anual Unitário Equivalente; (CAUE)

3.3 PAYBACK DESCONTADO

O *payback* descontado é o período de tempo necessário para se recuperar o investimento, considerando a taxa de juros ou TMA aplicada.

3.4 VALOR ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE

Este método consiste em achar a série uniforme anual equivalente ao fluxo de caixa dos investimentos à Taxa Mínima de Atratividade, ou seja, acha-se uma série uniforme equivalente a todos os custos e receitas para cada projeto utilizando a TMA. O melhor projeto é o que tiver maior saldo positivo (Casarotto Filho & Kopittke, 2010)

3.5 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que no cálculo do VPL retorna o valor presente líquido a zero.

3.6 VALOR PRESENTE LIQUIDO (VPL)

O Valor Presente Líquido é um indicador financeiro utilizado para calcular a atratividade de investimentos. Faz análise calculando a somatória do valor presente de cada período da série dos pagamentos (ou recebimentos) a uma taxa de juros conhecida e deduz desta o valor inicial deste fluxo, ou seja, o investimento, financiamento ou empréstimo.

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{VF_t}{(1+i)^n}$$

Esse cálculo é extremamente necessário devido ao fato que o dinheiro recebido no futuro não terá o mesmo valor que o dinheiro no tempo presente

VPL = Valor Presente Líquido

VF = Valor Futuro

t = momento em que o Valor Futuro ocorreu

i = taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA)

n = período de tempo

3.7 CUSTO ANUAL EQUIVALENTE

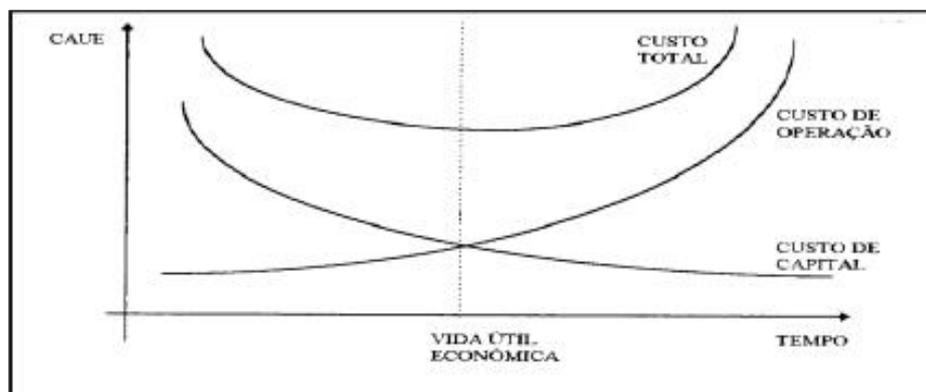
O custo anual equivalente (CAE) é um indicador financeiro utilizado para comparar alternativas distintas de um investimento. Representa o custo que determinado fluxo de caixa pode sofrer periodicamente. É feita reduzindo o fluxo de caixa a uma série uniforme equivalente, com o uso da taxa mínima de atratividade (TMA)

$$CAE = \frac{i(1+i)^n}{[(1+i)^n] - 1}$$

O custo anual equivalente (CAE) é um indicador financeiro utilizado para comparar alternativas distintas de um investimento. Representa o custo que determinado fluxo de caixa pode sofrer periodicamente. É feita reduzindo o fluxo de caixa a uma série uniforme equivalente, com o uso da taxa mínima de atratividade (TMA)

Abaixo, na figura 10 podemos ver a evolução do CAE ao longo do tempo. Os custos de capital são decrescentes no tempo, já os custos de manutenção e operação tem um comportamento contrário, evoluindo ao longo do tempo. O Custo total que é a soma dos dois, apresenta um ponto de inflexão, onde o custo passa de decrescente para crescente.

Figura 10 - Vida Econômica de um bem.



Fonte: Casarotto e Kopittke (2008)

3.8 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)

A Taxa mínima de atratividade é retorno mínimo que um investidor se propõe a receber pelo seu investimento, ou o máximo que um tomador de dinheiro se propõe a pagar pelo empréstimo.

3.9 DESPESAS DE CAPITAL (CAPEX)

CAPEX é a sigla da expressão inglesa “**CAP**ital **EX**penditure” (em português, despesas de capital ou investimento em bens de capital) que indica a quantidade de dinheiro gasto na compra de bens de capital de uma determinada empresa.

3.10 DESPESAS OPERACIONAIS (OPEX)

OPEX é a sigla da expressão inglesa “**OPE**rational **EX**penditure” (em português, despesas operacionais) que se refere ao custo associado à manutenção dos equipamentos, gastos de consumíveis e outras despesas operacionais.

3.11 VIDA ÚTIL

Vida Útil de um ativo é o período de tempo que um ativo consegue executar todas as funções para o qual foi planejado e especificado.

3.12 VIDA ECONÔMICA

É o tempo em que o ativo já não mais está contribuindo financeiramente para a empresa, Um ativo pode estar ainda na plenitude de sua vida útil, porém dando prejuízo financeiramente.

Na manutenção é um equipamento que após determinado tempo tem o seu volume de itens e custos de manutenção elevados considerando o tempo entre reparos.

3.13 ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA

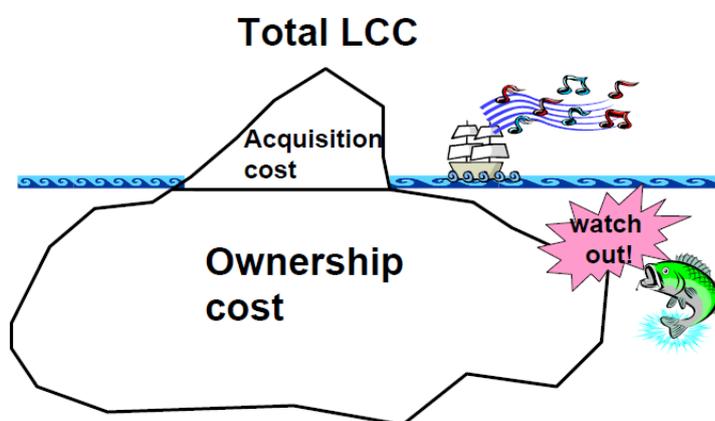
A análise do custo do ciclo de vida (LCCA – *Life Cycle Cost Analyses*) é uma avaliação econômica de um ativo, onde todos os custos decorrentes, da concepção, projeto, instalação, operação, manutenção e, finalmente, descarte ou

descomissionamento são considerados importantes para a decisão custo-benefício sobre seu desempenho. (NIST HANDBOOK 135).

Como podemos verificar o custo de um produto ao longo da sua vida útil não se restringe apenas ao custo de aquisição, mas também a todas as outras categorias de custos listadas acima, classificadas como custos de propriedade.

Acredita-se que os custos de propriedade podem variar na faixa de 60 a 80% do custo do ciclo de vida total (Kawaushi & Rausand), ou seja, os custos de aquisição seriam apenas a ponta de um iceberg, conforme a figura 11.

Figura 11 - Custos do Ciclo de Vida



Fonte: Aquisição e Propriedades (DANGELS, 1969)

Como podemos verificar o custo de um produto ao longo da sua vida útil não se restringe apenas ao custo de aquisição, mas também a todas as outras categorias de custos listadas acima, classificadas como custos de propriedade.

A análise do custo do ciclo de vida pode ser empregada para:

- a) Avaliação e comparação de diferentes abordagens para substituição, reforma, prolongamento de vida e descarte ou descomissionamento de equipamentos obsoletos;
- b) Comparação e avaliação de alternativa de projetos diferentes;
- c) Permite também estabelecer prioridades de projetos de investimento quando a alocação de recursos é limitada;
- d) Avaliação de Conceitos alternativos de Manutenção;
- e) Avaliação a respeito dos itens de sobressalentes em estoque

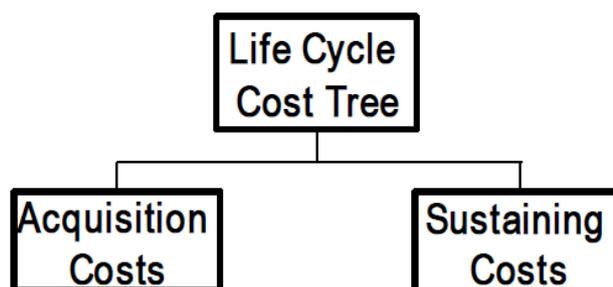
3.14 ESTRUTURA DE DECOMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DE AQUISIÇÃO.

Acredita-se que os custos de propriedade podem variar na faixa de 60 a 80% do custo do ciclo de vida total (Kawaushi & Rausand), ou seja, os custos de aquisição seriam apenas a ponta de um iceberg, conforme pode ser visualizado na figura acima.

Para detalhar os todos os custos presentes durante o ciclo de vida de um ativo, Barringer, 1999, propôs decompô-los em uma árvore, criando assim a Estrutura de Decomposição dos Custos. (CBS – *Cost Breakdown Structure*). Desta maneira a análise do LCC pode ser visualizada como uma árvore com 2 ramos principais: Custos de Aquisição e Custos de Manutenção.

A figura 12 apresenta de uma forma esquematizada estes custos.

Figura 12 - Arvore do Custo do Ciclo de Vida

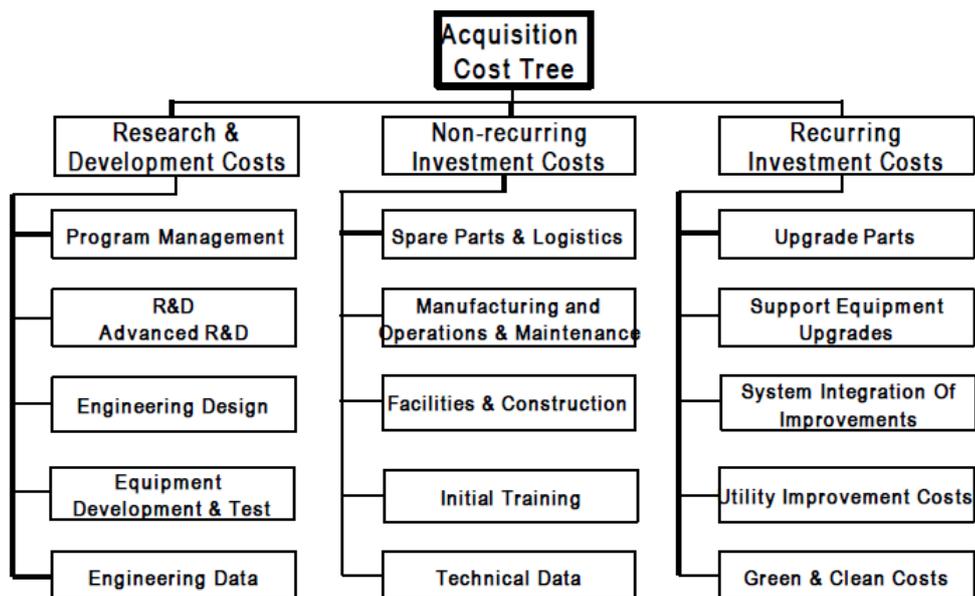


Fonte: Barringer (1999)

Desta maneira a análise do LCC pode ser visualizada como uma árvore com 2 ramos principais: Custos de Aquisição e Custos de Manutenção.

De uma maneira geral, os custos de aquisição são usualmente identificados conforme na Figura 13 abaixo

Figura 13 - Decomposição dos Custos de Aquisição



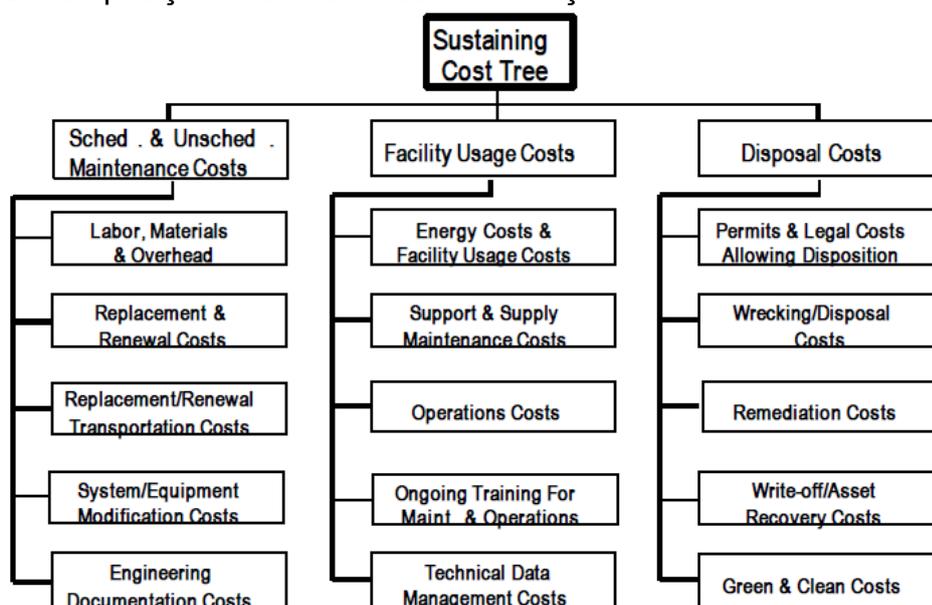
Fonte: Barringer (1999)

Os custos de Aquisição englobam:

- a) Custos de Pesquisa e Desenvolvimento: podemos citar dentro desta faixa de custos: Projeto Básico, Projeto Detalhado, Gerenciamento de Projeto
- b) Custo Não Recorrentes: sobressalentes, treinamento, etc
- c) Custos Recorrentes: Atualização, adaptação, etc.

Para os custos de manutenção o detalhamento da árvore é o que se segue abaixo:

Figura 14 - Decomposição dos Custos de Manutenção



Fonte: Barringer (1999)

Os custos de Manutenção englobam:

- a) Custos de Manutenção, materiais e mão de obra, custos de renovação, etc
- b) Custo de Facilidades, energia, Custos Operacionais, etc;
- c) Custos para Descarte após fim de vida útil: Custo para substituição do sistema e seus componentes devido a obsolescencia ou desgastes, descaracterização de equipamentos que envolvam requisitos legais, etc.

3.15 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Foram apresentadas nesse capítulo as principais motivações que levam a uma empresa investir em um ativo ou desativá-lo. No caso deste trabalho foi explicado o porquê da deterioração ser esse motivo para a substituição do super aquecedor secundário da caldeira 3.

Também foi apresentado o referencial teórico para realização da análise de custo do Ccclo de vida, bem como explicitado a estrutura de decomposição dos custos que serão importantes para o desenvolvimento do cálculo da vida econômica ótima, que será realizado no próximo capítulo

Por fim os indicadores financeiros foram colocados bem como a sua fórmula.

No capítulo 4, apresentaremos todos os custos envolvidos na aquisição de um novo superaquecedor, assim como os demais custos. A partir deste levantamento e estimativa calcularemos a vida econômica ótima.

Com a determinação da vida econômica ótima, por se tratar de substituição idêntica, poderemos avaliar se o equipamento existente está antes ou depois deste ponto e poderemos calcular quanto custará uma possível postergação da decisão ao longo dos anos.

4 ANALISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA.

Neste capítulo serão apresentados todos os cálculos, premissas e estimativas para definição da vida econômica útil.

A princípio o cálculo se baseia na aquisição de um novo superaquecedor e definição da vida econômica útil e comparar com instalado. Comparar também com alternativas para solução parcial do problema.

Vamos tomar como orientação o fluxo de processo proposto por Barringer (2003), utilizando os passos que são aplicáveis ao nosso problema

4.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA ANÁLISE.

Será analisada a melhor época para ser realizada a substituição do superaquecedor secundário da caldeira 3. Como mencionado nos capítulos anteriores trata-se de uma substituição idêntica, ou seja, mesmo projeto, mesma capacidade e mesma função ou uma alternativa economicamente viável. A motivação para fazer a análise é a constatação e deterioração por análise de vida e devido a falhas ocorridas nos últimos anos. Vamos também analisar a alternativa de substituição parcial da região onde estão concentradas as falhas para aumento da vida útil do componente e redução de custos da troca.

4.2 DEFINIÇÃO DOS CUSTOS

Será analisada a melhor época para ser realizada a substituição do SH2 da caldeira 3. Nos últimos 10 anos os últimos tubos das serpentinas estão sofrendo falhas sucessivas causando prejuízo operacional para a usina e elevados custos de manutenção. Estudos realizados mostram que este componente está em final de vida útil e existe a necessidade de substituição. Como o custo é alto, esta substituição tornou-se alvo deste trabalho.

Segundo Vey e Da Rosa, muitas vezes, os dados necessários para colocar este método em prática são de difícil obtenção, ou porque a empresa não mantém uma base de dados histórico confiável, ou pela dificuldade de obtenção de

informações externas, como por exemplo, o custo de aquisição de um ativo, que não depende do controle da empresa.

Esta dificuldade pode ser uma limitação deste método.

Para solucionar este problema, Mileipe (2017) propõe alguns métodos para realização das estimativas:

- Método determinístico de estimativa de custo

Este é o método é o mais preciso de determinação de custo, sempre que possível deve-se usá-lo. Consiste em levantamento do histórico de custo do ativo e replicá-lo para os equipamentos idênticos.

- Método análogo de estimativa de custo

O método análogo é o segundo mais preciso na determinação de custos, pois ele se desenvolve a partir da aplicação do método determinístico, para um ativo específico, que se assemelhe em suas tecnologias ou em seus componentes, usando estes resultados da avaliação de custos, como referência para a análise dos ativos similares.

Método probabilístico estocástico de estimativa de custo

Há três maneiras de se obter a distribuição de falha de um determinado componente, uma é conseguir com o fabricante o Estudo de Dados de Vida (LDA), outra maneira é levantar as falhas de um determinado componente e usar um software para modelar sua distribuição, por final podemos levantar estes dados através de ensaios acelerados de vida, que consiste em usar bancadas de teste para que se possa acelerar a degradação do componente.

Método da Elicitação de especialistas – Consulta a um expert
(Mileipe, 2017 p35 e 36 – Guia de Aplicação LCCA)

Para este trabalho foi consultado os dados de manutenção da área de energia (IUE) e entendemos que os dados coletados são confiáveis e serão utilizados para os cálculos dos custos

4.3 CUSTOS DE AQUISIÇÃO DE UM SUPERAQUECEDOR NOVO.

O valor do investimento ou da aquisição de um novo superaquecedor foi levantado a partir de uma consulta realizada pela ATM ao fabricante de caldeiras (CBC). Foram solicitadas duas propostas de superaquecedor completo e uma para troca parcial. Para o superaquecedor completo foram consideradas as seguintes opções:

1 – Aquisição de um superaquecedor igual ao original, com os mesmos materiais originais utilizados – Custo do fornecimento = R\$ 8.040.000,00;

2 – Aquisição de um superaquecedor com up grade do material utilizado na região do componente com maior exposição a temperatura e pressão – Custo do fornecimento = R\$ 13.260.000,00;

3 – Custo de montagem para as opções 1 e 2 = R\$ 8.000.000,00;

4 – Fornecimento parcial do superaquecedor para substituição dos tubos que são mais solicitados, região de maior pressão e temperatura, onde ocorrem as falhas. Esta substituição seria por material de qualidade superior- Custo do fornecimento = R\$ 1.639.000,00;

5 – Custo de montagem da opção 4 = R\$ 1.577.122,00.

4.4 CUSTO MÉDIO DE UMA PARADA POR FALHA NO SUPERAQUECEDOR DA CALDEIRA

Custo operacional por perda de geração elétrica = R\$ 1.200.000,00;

Custo de reparo = R\$ 200.000,00

Além dos custos de reparo por falha, temos os custos de inspeção que deve ser realizado, que são de aproximadamente R\$ 100.000,00.

OBS.: Nos últimos 9 anos ocorreram 6 falhas deste componente, sendo que as falhas se intensificaram nos últimos 2 anos com tendência de progressão no número de falhas, que tem custo total, por falha, de R\$ 1.400.000,00.

4.5 TAXA MÍNIMA ATRATIVA

É uma taxa associada a um baixo risco e baixa liquidez, ou seja, qualquer sobra de caixa pode ser aplicada, na pior das hipóteses, na TMA. (Casarotto Filho & Kopittke, 2010).

No caso de não se conhecer o valor da TMA, poderíamos:

- a) Fazer uma média de fundos conservadores de qualquer banco e aplicá-la. É importante observar as taxas de administração e outros custos que podem impactar no cálculo da taxa.
- b) Fazer uma consulta a um especialista da área de Engenharia Econômica ou de Investimento

A TMA estipulada pela AMT e informada pela Engenharia de Investimento é de 15%.

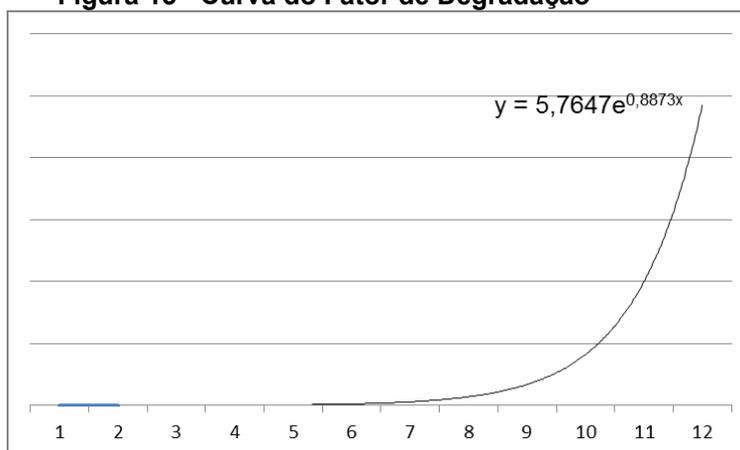
4.6 CALCULO DA VIDA ÚTIL ECONÔMICA

Para o cálculo da vida útil econômica foram elaboradas as planilhas eletrônicas, visualizadas nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3, onde foram inseridos e calculados os custos de CAPEX e OPEX e transformados todos os custos do ativo para custos anuais equivalentes aplicada a taxa mínima atrativa. Dessa forma pode-se determinar em que ano ocorre o menor custo equivalente. Foram consideradas as três opções de troca descritas anteriormente.

4.7 FATOR DE DEGRADAÇÃO.

Para a modelagem das Tabelas reproduzir o que acontece no superaquecedor, será necessária a aplicação de um fator para correção do custo. Este fator é relativo ao fato de que ao instalar um novo a partir da data de término da garantia do equipamento, após 5 anos, o componente continua o seu processo de degradação. A degradação continuará a ocorrer, tal qual acontece hoje.

Para isso foram colocados numa planilha eletrônica, os dados de degradação acumulada ao longo do tempo. A partir daí procurou-se a curva que melhor se ajustou a estes pontos conforme figura 15, a planilha forneceu a fórmula e a partir daí foi feita a extrapolação para os anos seguintes.

Figura 15 - Curva do Fator de Degradação

O Fator de degradação representa a evolução da quantidade de itens reprovados na reforma das correntes e com impacto direto no custo de manutenção

Tabela 1 - Cálculo da vida econômica útil para uma taxa de atratividade mínima de 15%

Ano	CAPEX	OPEX	OPEX (VPL) VL/(1+i)^n	OPEX Acumulado VPL	CAE CAPEX	CAE OPEX	CAE Total	Degradacao	
0	R\$ 16.040.000,00								
1		R\$ 130.000,00	R\$ 113.043,48	R\$ 113.043,48	R\$ 16.040.000,00	R\$ 113.043,48	R\$ 16.153.043,48		R\$ 14.798.322,67
2		R\$ 143.000,00	R\$ 108.128,54	R\$ 221.172,02	R\$ 8.020.000,00	R\$ 110.586,01	R\$ 8.130.586,01	1	R\$ 6.775.865,20
3		R\$ 157.300,00	R\$ 103.427,30	R\$ 324.599,33	R\$ 5.346.666,67	R\$ 108.199,78	R\$ 5.454.866,44	1	R\$ 4.100.145,63
4		R\$ 173.030,00	R\$ 98.930,46	R\$ 423.529,79	R\$ 4.010.000,00	R\$ 105.882,45	R\$ 4.115.882,45	1	R\$ 2.761.161,64
5		R\$ 190.333,00	R\$ 94.629,14	R\$ 518.158,93	R\$ 3.208.000,00	R\$ 103.631,79	R\$ 3.311.631,79	1	R\$ 1.956.910,98
6		R\$ 228.399,60	R\$ 98.743,45	R\$ 616.902,38	R\$ 2.673.333,33	R\$ 102.817,06	R\$ 2.776.150,40	1,2	R\$ 1.421.429,59
7		R\$ 285.499,50	R\$ 107.329,84	R\$ 724.232,22	R\$ 2.291.428,57	R\$ 103.461,75	R\$ 2.394.890,32	1,25	R\$ 1.040.169,51
8		R\$ 371.149,35	R\$ 121.329,38	R\$ 845.561,60	R\$ 2.005.000,00	R\$ 105.695,20	R\$ 2.110.695,20	1,3	R\$ 755.974,39
9		R\$ 501.051,62	R\$ 142.430,14	R\$ 987.991,74	R\$ 1.782.222,22	R\$ 109.776,86	R\$ 1.891.999,08	1,35	R\$ 537.278,27
10		R\$ 701.472,27	R\$ 173.393,22	R\$ 1.161.384,96	R\$ 1.604.000,00	R\$ 116.138,50	R\$ 1.720.138,50	1,4	R\$ 365.417,69
11		R\$ 1.017.134,79	R\$ 218.626,23	R\$ 1.380.011,19	R\$ 1.458.181,82	R\$ 125.455,56	R\$ 1.583.637,38	1,45	R\$ 228.916,57
12		R\$ 1.474.845,45	R\$ 275.659,16	R\$ 1.655.670,35	R\$ 1.336.666,67	R\$ 137.972,53	R\$ 1.474.639,20	1,45	R\$ 119.918,39
13		R\$ 4.032.268,18	R\$ 655.356,31	R\$ 2.311.026,66	R\$ 1.233.846,15	R\$ 177.771,28	R\$ 1.411.617,44	1,5	R\$ 56.896,62
14		R\$ 6.048.402,26	R\$ 854.812,57	R\$ 3.165.839,23	R\$ 1.145.714,29	R\$ 226.131,37	R\$ 1.371.845,66	1,5	R\$ 17.124,85
15		R\$ 9.072.603,40	R\$ 1.114.972,92	R\$ 4.280.812,15	R\$ 1.069.333,33	R\$ 285.387,48	R\$ 1.354.720,81	1,5	R\$ -
16		R\$ 13.608.905,09	R\$ 1.454.312,51	R\$ 5.735.124,66	R\$ 1.002.500,00	R\$ 358.445,29	R\$ 1.360.945,29	1,5	R\$ 6.224,48
17		R\$ 20.413.357,64	R\$ 1.896.929,36	R\$ 7.632.054,02	R\$ 943.529,41	R\$ 448.944,35	R\$ 1.392.473,77	1,5	R\$ 37.752,96
18		R\$ 32.440.036,46	R\$ 2.621.321,00	R\$ 10.253.375,03	R\$ 891.111,11	R\$ 569.631,95	R\$ 1.460.743,06	1,5	R\$ 106.022,25
19		R\$ 48.660.054,70	R\$ 3.419.114,35	R\$ 13.672.489,38	R\$ 844.210,53	R\$ 719.604,70	R\$ 1.563.815,23	1,5	R\$ 209.094,42
20		R\$ 74.810.082,04	R\$ 4.570.916,88	R\$ 18.243.406,26	R\$ 802.000,00	R\$ 912.170,31	R\$ 1.714.170,31	1,5	R\$ 359.449,50
21		R\$ 112.215.123,06	R\$ 5.962.065,50	R\$ 24.205.471,76	R\$ 763.809,52	R\$ 1.152.641,51	R\$ 1.916.451,04	1,5	R\$ 561.730,23
22		R\$ 171.962.684,60	R\$ 7.944.777,31	R\$ 32.150.249,07	R\$ 729.090,91	R\$ 1.461.374,96	R\$ 2.190.465,87	1,5	R\$ 835.745,06
23		R\$ 257.944.026,89	R\$ 10.362.753,02	R\$ 42.513.002,09	R\$ 697.391,30	R\$ 1.848.391,40	R\$ 2.545.782,70	1,5	R\$ 1.191.061,89
24		R\$ 388.736.040,34	R\$ 13.580.214,76	R\$ 56.093.216,85	R\$ 668.333,33	R\$ 2.337.217,37	R\$ 3.005.550,70	1,5	R\$ 1.650.829,89
25		R\$ 586.744.060,51	R\$ 17.823.898,21	R\$ 73.917.115,06	R\$ 641.600,00	R\$ 2.956.684,60	R\$ 3.598.284,60	1,5	R\$ 2.243.563,79
26		R\$ 883.756.090,77	R\$ 23.344.714,70	R\$ 97.261.829,76	R\$ 616.923,08	R\$ 3.740.839,61	R\$ 4.357.762,68	1,5	R\$ 3.003.041,87
27		R\$ 1.329.274.136,15	R\$ 30.533.238,15	R\$ 127.795.067,91	R\$ 594.074,07	R\$ 4.733.150,66	R\$ 5.327.224,74	1,5	R\$ 3.972.503,93
28		R\$ 1.997.551.204,22	R\$ 39.898.667,40	R\$ 167.693.735,32	R\$ 572.857,14	R\$ 5.989.061,98	R\$ 6.561.919,12	1,5	R\$ 5.207.198,31
29		R\$ 2.999.966.806,33	R\$ 52.104.961,48	R\$ 219.798.696,80	R\$ 553.103,45	R\$ 7.579.265,41	R\$ 8.132.368,86	1,5	R\$ 6.777.648,04
30		R\$ 4.503.590.209,50	R\$ 68.017.968,35	R\$ 287.816.665,15	R\$ 534.666,67	R\$ 9.593.888,84	R\$ 10.128.555,50	1,5	R\$ 8.773.834,69
31		R\$ 6.759.025.314,25	R\$ 88.766.893,61	R\$ 376.583.558,75	R\$ 517.419,35	R\$ 12.147.856,73	R\$ 12.665.276,09	1,5	R\$ 11.310.555,28

Cálculo da Vida Útil Econômica ao Longo do Tempo para o superaquecedor – caso 1 troca por idêntico

Tabela 2 - Cálculo da vida econômica útil para uma taxa de atratividade mínima de 15%

Ano	CAPEX	OPEX	OPEX (VPL) VL/(1+i)	OPEX Acumulado VPL	CAE CAPEX	CAE OPEX	CAE Total	Degradacao	Dif Substituição
0	R\$ 21.260.000,00								
1		R\$ 130.000,00	R\$ 113.043,48	R\$ 113.043,48	R\$ 21.260.000,00	R\$ 113.043,48	R\$ 21.373.043,48		R\$ 19.842.374,66
2		R\$ 143.000,00	R\$ 108.128,54	R\$ 221.172,02	R\$ 10.630.000,00	R\$ 110.586,01	R\$ 10.740.586,01	1	R\$ 9.209.917,20
3		R\$ 157.300,00	R\$ 103.427,30	R\$ 324.599,33	R\$ 7.086.666,67	R\$ 108.199,78	R\$ 7.194.866,44	1	R\$ 5.664.197,63
4		R\$ 173.030,00	R\$ 98.930,46	R\$ 423.529,79	R\$ 5.315.000,00	R\$ 105.882,45	R\$ 5.420.882,45	1	R\$ 3.890.213,63
5		R\$ 190.333,00	R\$ 94.629,14	R\$ 518.158,93	R\$ 4.252.000,00	R\$ 103.631,79	R\$ 4.355.631,79	1	R\$ 2.824.962,97
6		R\$ 228.399,60	R\$ 98.743,45	R\$ 616.902,38	R\$ 3.543.333,33	R\$ 102.817,06	R\$ 3.646.150,40	1,2	R\$ 2.115.481,58
7		R\$ 285.499,50	R\$ 107.329,84	R\$ 724.232,22	R\$ 3.037.142,86	R\$ 103.461,75	R\$ 3.140.604,60	1,25	R\$ 1.609.935,79
8		R\$ 371.149,35	R\$ 121.329,38	R\$ 845.561,60	R\$ 2.657.500,00	R\$ 105.695,20	R\$ 2.763.195,20	1,3	R\$ 1.232.526,38
9		R\$ 501.051,62	R\$ 142.430,14	R\$ 987.991,74	R\$ 2.362.222,22	R\$ 109.776,86	R\$ 2.471.999,08	1,35	R\$ 941.330,27
10		R\$ 701.472,27	R\$ 173.393,22	R\$ 1.161.384,96	R\$ 2.126.000,00	R\$ 116.138,50	R\$ 2.242.138,50	1,4	R\$ 711.469,68
11		R\$ 1.017.134,79	R\$ 218.626,23	R\$ 1.380.011,19	R\$ 1.932.727,27	R\$ 125.455,56	R\$ 2.058.182,84	1,45	R\$ 527.514,02
12		R\$ 1.474.845,45	R\$ 275.659,16	R\$ 1.655.670,35	R\$ 1.771.666,67	R\$ 137.972,53	R\$ 1.909.639,20	1,45	R\$ 378.970,38
13		R\$ 2.212.268,18	R\$ 359.555,43	R\$ 2.015.225,77	R\$ 1.635.384,62	R\$ 155.017,37	R\$ 1.790.401,98	1,5	R\$ 259.733,17
14		R\$ 3.318.402,26	R\$ 468.985,34	R\$ 2.484.211,11	R\$ 1.518.571,43	R\$ 177.443,65	R\$ 1.696.015,08	1,5	R\$ 165.346,26
15		R\$ 4.977.603,40	R\$ 611.720,01	R\$ 3.095.931,12	R\$ 1.417.333,33	R\$ 206.395,41	R\$ 1.623.728,74	1,5	R\$ 93.059,93
16		R\$ 7.466.405,09	R\$ 797.895,66	R\$ 3.893.826,78	R\$ 1.328.750,00	R\$ 243.364,17	R\$ 1.572.114,17	1,5	R\$ 41.445,36
17		R\$ 11.199.607,64	R\$ 1.040.733,47	R\$ 4.934.560,25	R\$ 1.250.588,24	R\$ 290.268,25	R\$ 1.540.856,49	1,5	R\$ 10.187,67
18		R\$ 16.799.411,46	R\$ 1.357.478,44	R\$ 6.292.038,69	R\$ 1.181.111,11	R\$ 349.557,71	R\$ 1.530.668,82	1,5	R\$ -
19		R\$ 25.199.117,20	R\$ 1.770.624,05	R\$ 8.062.662,75	R\$ 1.118.947,37	R\$ 424.350,67	R\$ 1.543.298,04	1,5	R\$ 12.629,22
20		R\$ 37.798.675,79	R\$ 2.309.509,63	R\$ 10.372.172,38	R\$ 1.063.000,00	R\$ 518.608,62	R\$ 1.581.608,62	1,5	R\$ 50.939,80
21		R\$ 56.698.013,69	R\$ 3.012.403,87	R\$ 13.384.576,25	R\$ 1.012.380,95	R\$ 637.360,77	R\$ 1.649.741,73	1,5	R\$ 119.072,91
22		R\$ 85.047.020,53	R\$ 3.929.222,44	R\$ 17.313.798,69	R\$ 966.363,64	R\$ 786.990,85	R\$ 1.753.354,49	1,5	R\$ 222.685,67
23		R\$ 127.570.530,80	R\$ 5.125.072,75	R\$ 22.438.871,44	R\$ 924.347,83	R\$ 975.603,11	R\$ 1.899.950,93	1,5	R\$ 369.282,12
24		R\$ 191.355.796,20	R\$ 6.684.877,50	R\$ 29.123.748,94	R\$ 885.833,33	R\$ 1.213.489,54	R\$ 2.099.322,87	1,5	R\$ 568.654,06
25		R\$ 287.033.694,30	R\$ 8.719.405,43	R\$ 37.843.154,37	R\$ 850.400,00	R\$ 1.513.726,17	R\$ 2.364.126,17	1,5	R\$ 833.457,36
26		R\$ 430.550.541,45	R\$ 11.373.137,52	R\$ 49.216.291,89	R\$ 817.692,31	R\$ 1.892.934,30	R\$ 2.710.626,61	1,5	R\$ 1.179.957,79
27		R\$ 645.825.812,17	R\$ 14.834.527,20	R\$ 64.050.819,09	R\$ 787.407,41	R\$ 2.372.252,56	R\$ 3.159.659,97	1,5	R\$ 1.628.991,15
28		R\$ 968.738.718,26	R\$ 19.349.383,31	R\$ 83.400.202,40	R\$ 759.285,71	R\$ 2.978.578,66	R\$ 3.737.864,37	1,5	R\$ 2.207.195,56
29		R\$ 1.453.108.077,39	R\$ 25.238.326,05	R\$ 108.638.528,45	R\$ 733.103,45	R\$ 3.746.156,15	R\$ 4.479.259,60	1,5	R\$ 2.948.590,79
30		R\$ 2.179.662.116,09	R\$ 32.919.555,72	R\$ 141.558.084,17	R\$ 708.666,67	R\$ 4.718.602,81	R\$ 5.427.269,47	1,5	R\$ 3.896.600,66
31		R\$ 3.269.493.174,13	R\$ 42.938.550,94	R\$ 184.496.635,10	R\$ 685.806,45	R\$ 5.951.504,36	R\$ 6.637.310,81	1,5	R\$ 5.106.641,99

Cálculo da Vida Útil Econômica ao Longo do Tempo para o superaquecedor – caso 2 troca com melhoria no material aplicado.

Tabela 3 - Cálculo da vida econômica útil para uma taxa de atratividade mínima de 15%

Ano	CAPEX	OPEX	OPEX (VPL) VL/(1+i)	OPEX Acumulado VP	CAE CAPEX	CAE OPEX	CAE Total	Degradacao	Dif Substituição
0	R\$ 3.273.122,00								
1		R\$ 130.000,00	R\$ 113.043,48	R\$ 113.043,48	R\$ 3.273.122,00	R\$ 113.043,48	R\$ 3.386.165,48		R\$ 2.925.588,17
2		R\$ 143.000,00	R\$ 108.128,54	R\$ 221.172,02	R\$ 1.636.561,00	R\$ 110.586,01	R\$ 1.747.147,01	1	R\$ 1.286.569,70
3		R\$ 157.300,00	R\$ 103.427,30	R\$ 324.599,33	R\$ 1.091.040,67	R\$ 108.199,78	R\$ 1.199.240,44	1	R\$ 738.663,13
4		R\$ 173.030,00	R\$ 98.930,46	R\$ 423.529,79	R\$ 818.280,50	R\$ 105.882,45	R\$ 924.162,95	1	R\$ 463.585,64
5		R\$ 190.333,00	R\$ 94.629,14	R\$ 518.158,93	R\$ 654.624,40	R\$ 103.631,79	R\$ 758.256,19	1	R\$ 297.678,88
6		R\$ 251.239,56	R\$ 108.617,79	R\$ 626.776,72	R\$ 545.520,33	R\$ 104.462,79	R\$ 649.983,12	1,2	R\$ 189.405,81
7		R\$ 345.454,40	R\$ 129.869,10	R\$ 756.645,83	R\$ 467.588,86	R\$ 108.092,26	R\$ 575.681,12	1,25	R\$ 115.103,81
8		R\$ 493.999,78	R\$ 161.489,41	R\$ 918.135,23	R\$ 409.140,25	R\$ 114.766,90	R\$ 523.907,15	1,3	R\$ 63.329,84
9		R\$ 733.589,68	R\$ 208.531,97	R\$ 1.126.667,21	R\$ 363.680,22	R\$ 125.185,25	R\$ 488.865,47	1,35	R\$ 28.288,16
10		R\$ 1.129.728,11	R\$ 279.251,51	R\$ 1.405.918,72	R\$ 327.312,20	R\$ 140.591,87	R\$ 467.904,07	1,4	R\$ 7.326,76
11		R\$ 1.801.916,33	R\$ 387.309,70	R\$ 1.793.228,42	R\$ 297.556,55	R\$ 163.020,77	R\$ 460.577,31	1,45	R\$ -
12		R\$ 2.874.056,55	R\$ 537.181,72	R\$ 2.330.410,14	R\$ 272.760,17	R\$ 194.200,84	R\$ 466.961,01	1,45	R\$ 6.383,70
13		R\$ 4.742.193,31	R\$ 770.738,99	R\$ 3.101.149,13	R\$ 251.778,62	R\$ 238.549,93	R\$ 490.328,55	1,5	R\$ 29.751,24
14		R\$ 7.824.618,96	R\$ 1.105.842,90	R\$ 4.206.992,02	R\$ 233.794,43	R\$ 300.499,43	R\$ 534.293,86	1,5	R\$ 73.716,55
15		R\$ 12.910.621,28	R\$ 1.586.644,16	R\$ 5.793.636,18	R\$ 218.208,13	R\$ 386.242,41	R\$ 604.450,55	1,5	R\$ 143.873,23
16		R\$ 21.302.525,11	R\$ 2.276.489,44	R\$ 8.070.125,62	R\$ 204.570,13	R\$ 504.382,85	R\$ 708.952,98	1,5	R\$ 248.375,67
17		R\$ 35.149.166,43	R\$ 3.266.267,46	R\$ 11.336.393,08	R\$ 192.536,59	R\$ 666.846,65	R\$ 859.383,24	1,5	R\$ 398.805,93
18		R\$ 57.996.124,61	R\$ 4.686.383,75	R\$ 16.022.776,82	R\$ 181.840,11	R\$ 890.154,27	R\$ 1.071.994,38	1,5	R\$ 611.417,07
19		R\$ 95.693.605,61	R\$ 6.723.941,90	R\$ 22.746.718,72	R\$ 172.269,58	R\$ 1.197.195,72	R\$ 1.369.465,30	1,5	R\$ 908.887,99
20		R\$ 157.894.449,26	R\$ 9.647.394,89	R\$ 32.394.113,61	R\$ 163.656,10	R\$ 1.619.705,68	R\$ 1.783.361,78	1,5	R\$ 1.322.784,47
21		R\$ 260.525.841,28	R\$ 13.841.914,41	R\$ 46.236.028,02	R\$ 155.862,95	R\$ 2.201.715,62	R\$ 2.357.578,57	1,5	R\$ 1.897.001,26
22		R\$ 429.867.638,11	R\$ 19.860.138,07	R\$ 66.096.166,09	R\$ 148.778,27	R\$ 3.004.371,19	R\$ 3.153.149,46	1,5	R\$ 2.692.572,15
23		R\$ 709.281.602,89	R\$ 28.494.980,71	R\$ 94.591.146,80	R\$ 142.309,65	R\$ 4.112.658,56	R\$ 4.254.968,21	1,5	R\$ 3.794.390,90
24		R\$ 1.170.314.644,76	R\$ 40.884.102,75	R\$ 135.475.249,55	R\$ 136.380,08	R\$ 5.644.802,06	R\$ 5.781.182,15	1,5	R\$ 5.320.604,84
25		R\$ 1.931.019.163,85	R\$ 58.659.799,60	R\$ 194.135.049,16	R\$ 130.924,88	R\$ 7.765.401,97	R\$ 7.896.326,85	1,5	R\$ 7.435.749,54
26		R\$ 3.186.181.620,36	R\$ 84.164.060,30	R\$ 278.299.109,46	R\$ 125.889,31	R\$ 10.703.811,90	R\$ 10.829.701,21	1,5	R\$ 10.369.123,90
27		R\$ 5.257.199.673,59	R\$ 120.757.130,00	R\$ 399.056.239,46	R\$ 121.226,74	R\$ 14.779.860,72	R\$ 14.901.087,46	1,5	R\$ 14.440.510,15
28		R\$ 8.674.379.461,43	R\$ 173.260.230,00	R\$ 572.316.469,46	R\$ 116.897,21	R\$ 20.439.873,91	R\$ 20.556.771,12	1,5	R\$ 20.096.193,81
29		R\$ 14.312.726.111,36	R\$ 248.590.764,78	R\$ 820.907.234,23	R\$ 112.866,28	R\$ 28.307.146,01	R\$ 28.420.012,28	1,5	R\$ 27.959.434,97
30		R\$ 23.615.998.083,75	R\$ 356.673.705,99	R\$ 1.177.580.940,22	R\$ 109.104,07	R\$ 39.252.698,01	R\$ 39.361.802,07	1,5	R\$ 38.901.224,76
31		R\$ 38.966.396.838,18	R\$ 511.749.230,33	R\$ 1.689.330.170,55	R\$ 105.584,58	R\$ 54.494.521,63	R\$ 54.600.106,21	1,5	R\$ 54.139.528,90

Cálculo da Vida Útil Econômica ao Longo do Tempo para o superaquecedor – caso 3 troca parcial

A primeira coluna mostra a evolução dos anos ao longo do tempo

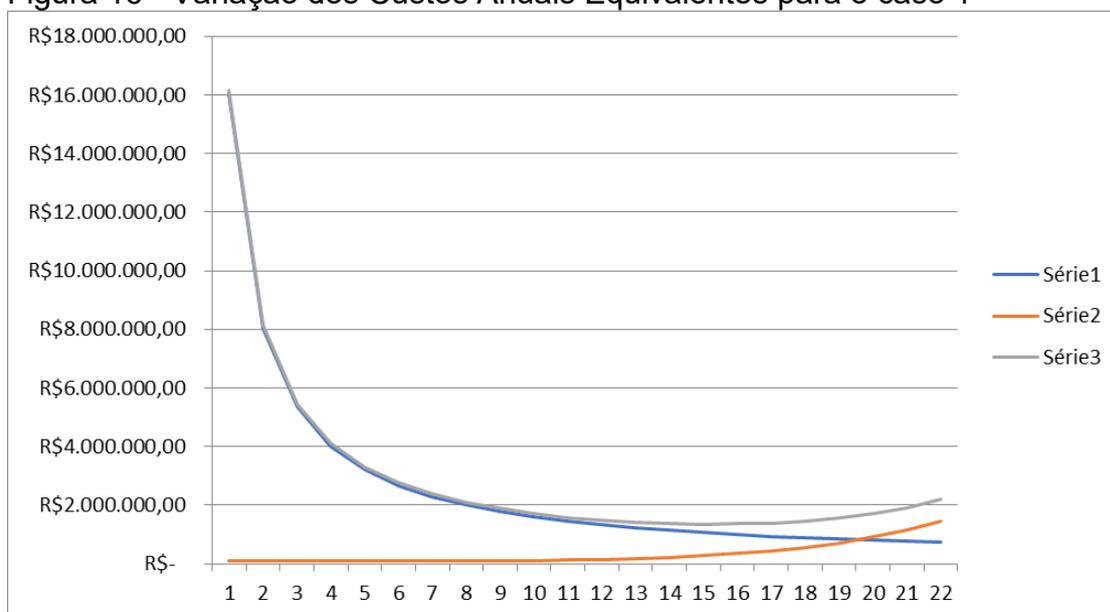
A segunda coluna mostra o investimento de Capex Inicial que tem como base a aquisição de superaquecedores novo para os casos 1 e 2 e substituição parcial para o caso 3

A terceira coluna apresenta os custos de Opex ao longo dos anos. Estes custos têm como base a os custos de inspeção e custos de reparos por falhas.

A quarta coluna o valor do Opex com base no Valor Presente Líquido e a quinta coluna o valor do Opex acumulado.

A quinta e sexta coluna mostra os valores calculados do Custo Anual Equivalente para Opex e Capex respectivamente.

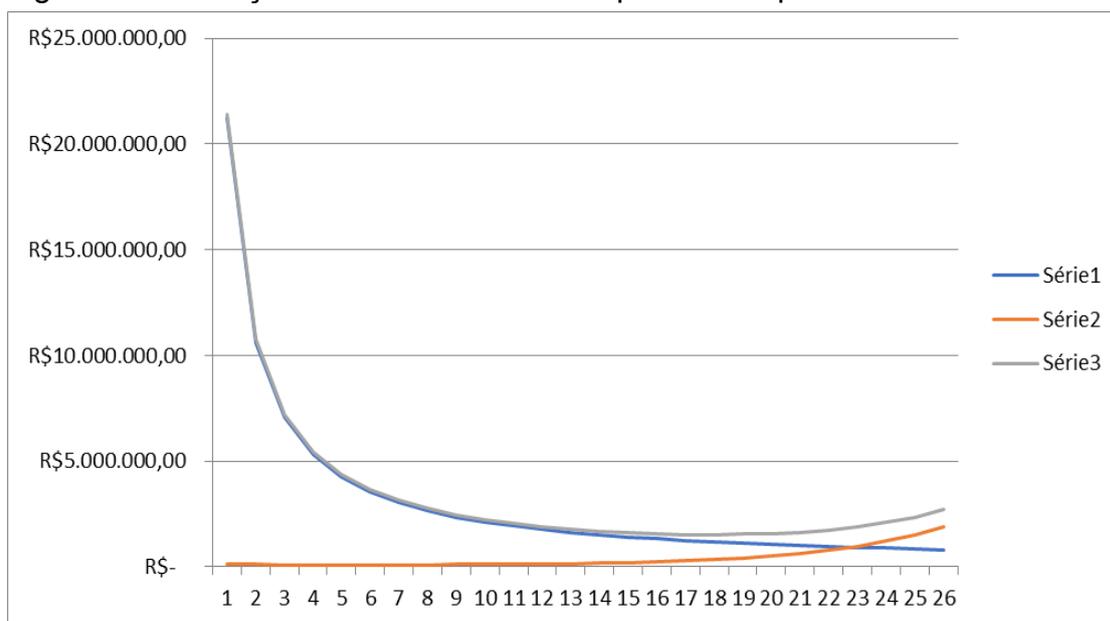
Figura 16 - Variação dos Custos Anuais Equivalentes para o caso 1



Na Sexta Coluna é calculado o Custo Anual Equivalente total que representa a soma do Opex e Capex.

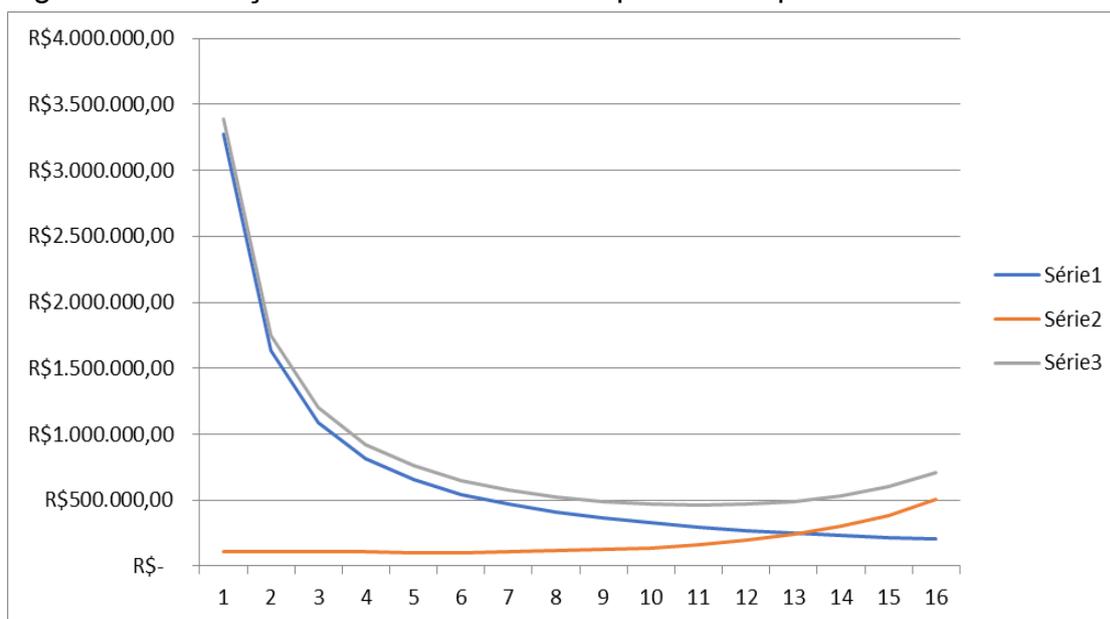
Com base nas planilhas foram plotados os gráficos das figuras 16, 17 e 18.

Figura 17 - Variação dos Custos Anuais Equivalentes para o caso 2



Como podemos observar o CAE total é decrescente a partir do custo de aquisição inicial ele vai caindo até a atingir um ponto de inflexão, a partir do qual começa a subir. Este ponto de inflexão é a vida econômica útil, a partir do qual os custos de manutenção, já não trazem retorno financeiro para a empresa.

Figura 18 - Variação dos Custos Anuais Equivalentes para o caso 3



4.8 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi feita uma análise do custo do ciclo de vida para o superaquecedor secundário. Os custos de aquisição e de manutenção foram estimados e detalhados. Foram feitas as análises de vida útil econômica com base no Custo Anual Equivalente Uniforme e também foram plotados gráficos onde pudemos visualizar o ponto onde a curva apresenta a inflexão para os três casos estudados. Ou seja, o ponto a partir do qual o custo de manutenção começa a elevar e já é viável a realização da troca.

Ainda por meio da planilha foi possível visualizar a elevação dos custos ano a ano depois que o Custo Anual atingiu seu mínimo.

Para todos os cálculos e estimativas foram feitos levantamentos nos arquivos da empresa.

No próximo capítulo será realizada uma análise dos resultados e também uma conclusão a respeito do emprego deste método.

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista que esta análise foi feita para três opções, uma de mesma especificação do existente, uma segunda com melhorias de material e a terceira com substituição parcial apenas na região de falha, deve-se analisar a melhor opção.

A análise da vida econômica mostra que se instalarmos uma corrente nova e manter os mesmos padrões de manutenção existentes, ao atingir o ano quinze (15), seria a melhor oportunidade para substituição. A partir deste ano o Custo Anual Equivalente começaria a subir, sendo então, a partir daí, não vantajoso financeiramente a manutenção do equipamento. Isto porque a partir daí já teria atingido o máximo de sua vida útil, com desgaste crescendo acentuadamente e com uma possibilidade de ocorrer uma falha catastrófica. Além disso, o custo para reparar ou reformar já estaria elevado e com o passar do tempo é mais vantajoso adquirir um novo.

Para o caso 2, o ponto de inflexão se dá no ano 18 e deve ser considerado a partir daí a substituição, como no caso 1.

Para o caso 3, isto ocorrerá no ano 11.

Considerando que o equipamento instado atualmente é o caso 1 e o mesmo está operando desde 1997, a análise mostra que o mesmo deveria ter sido substituído em 2013. Isto significa que a este a substituição deve ser feita o quanto antes devido as falhas e ainda devemos considerar a possibilidade de uma falha catastrófica.

Baseado no estudo, qual as opções devemos seguir?

Observando o estudo, a melhor opção econômica é a opção 3, pois tem custo de implantação muito menor em relação as outras duas e com ciclo de vida apenas 4 anos menor que a opção hoje em operação.

Concluindo, o estudo sugere a substituição pela opção 3, troca parcial do superaquecedor secundário da CTE#3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCELORMITTAL TUBARÃO. Disponível em:
<http://tubarao.arcelormittal.com/>. Acesso em: 10 de maio de 2019.
- BARRINGER, H. Paul; A Life Cycle Cost Summary presented at International Conference of Maintenance Societies Perth Australia 2003
- BARRINGER, H. Paul; MONROE, Todd R. How to Justify Machinery Improvements Using Reliability Engineering Principles presented at Pump Symposium . Houston TX. 1999.
- CASAROTTO FILHO, Nelson; HOPITTKKE, Bruno Hartmut. **Análise de Investimento**. 11 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010.
- DANGEL, R (1969). Integrated Logistic Support Implementation in the Naval Ship System Command. ASE 6th Annual Technical Symposium
- ERLICH , Pierre Jacques; MORAES, Edmilson Alves. **Engenharia Econômica**. Avaliação e Seleção de Projetos de Investimentos. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas 2009.
- FULLER, Sieglinde K; PETERSEN, Stephen R. Life-Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program, **NIST Handbook 135**. United States Government. 1995.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. Disponível em:
<http://www.acobrasil.org.br/site2015/dados.asp>. Acesso em 16 de outubro de 2017
- MILEIPE, Shaney Gonçalves. Guia de Aplicação LCCA. UTFPR. Curitiba. 2017
- KAWAUCHI, Y. and RAUSAND, M. Life Cycle Cost Analysis in Oil and Chemical Process Industries. 1999
- VEY, Ivan Henrique; DA ROSA, Robson Machado. **Utilização do Custo Anual Uniforme na Substituição de Frota em Empresas de Transporte de Passageiros**. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.