

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

FERNANDO MILAGRE DE AGUIAR

**ESTUDOS DAS MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE E DO CUSTO DO
CICLO DE VIDA DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO DO MOLDE DE UMA
MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE PLACAS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

FERNANDO MILAGRE DE AGUIAR

**ESTUDOS DAS MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE E DO CUSTO DO
CICLO DE VIDA DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO DO MOLDE DE UMA
MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE PLACAS**

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. Dr. Carlos Henrique Mariano

Co-orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

CURITIBA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDOS DAS MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE E DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO DO MOLDE DE UMA MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE PLACAS

por

FERNANDO MILAGRE DE AGUIAR

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. Carlos Henrique Mariano Dr.
Professor Orientador - UTFPR

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

Prof. Wanderson Stael Paris Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Dedico este trabalho aos meus pais Jose Carlos Fontela de Aguiar e Cecilia Milagre de Aguiar que dedicaram suas vidas à minha educação e minha preparação para este mundo onde o conhecimento é cada vez mais importante. A minha esposa Roberta por acreditar que sempre poderia mais e dedicar o tempo em que eu estava nos estudos ou trabalho, na educação e capacitação do nosso filho Heitor Bertollo de Aguiar, que também de certa forma me ajuda a sempre querer mais e me dedicar ainda mais em tudo que faço hoje em dia.

AGRADECIMENTOS

Nem sempre conseguimos agradecer a todos que realmente fizeram a diferença em nossas vidas, mas aqui tentarei de forma simples e singela, expressar toda minha gratidão.

Agradeço a ArcelorMittal Tubarão, empresa a qual diariamente dedico todo meu esforço, que me proporcionou a realização deste fantástico curso de pós-graduação, que certamente fará diferença no meu potencial técnico para resolver os problemas do dia-a-dia nas atividades do trabalho.

Aos colegas de sala que me ajudaram durante todo o curso em Engenharia de confiabilidade, me ajudando a cada atividade realizada em sala de aula ou em trabalhos realizados em grupo, que dava e sempre eles estiveram prontamente a ajudar.

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

RESUMO

AGUIAR, Fernando Milagre de. **Título do trabalho: Estudos das métricas de confiabilidade e do custo do ciclo de vida do sistema de oscilação de uma máquina de lingotamento contínuo de placas.** Ano de defesa 2019. Número total de folhas: 60 páginas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O trabalho tem como objetivo a realização da avaliação de análise de dados de vida (LDA) do equipamento de oscilação da Máquina de Lingotamento Contínuo de Placas (MLC), bem como a avaliação do ciclo de custo na vida (LCC) do equipamento, comparando o com outra tecnologia, onde será avaliado a possibilidade de alteração do sistema de oscilação completo da máquina, avaliando assim a possibilidade de alteração do sistema atual de oscilação do molde por um outro modelo de melhor manutenibilidade, aumentando assim o tempo de disponibilidade do equipamento a produção. Todo estudo será considerado a vida do equipamento desde o início de operações, considerando principalmente a mesa osciladora e o cilindro de oscilação. Para o levantamento de custos atuais e futuros serão considerados os custos praticados desde o início de operação do equipamento e as margens médias de lucro do negócio e estes serão direcionadores para a definição das ações de manutenção a serem adotadas de 2019 em diante.

Palavras-chave: MLC. CCM. Oscilador de Molde. Sistema de Oscilação. LDA.

ABSTRACT

AGUIAR, Fernando Milagre de. **Main Title: Reliability and life cost cycle analysis studies of the oscillator system of continuous casting machine mold.** Year of presentation 2019. 61 pages. Monografia (Specialization in Reliability Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The objective of this report is to perform the Life Data Analysis (LDA) of the mold oscillator equipment of the Continuous Casting Machine of Slabs (CCM), as well as the equipment life cycle cost (LCC) comparing with different technology, that it will be evaluated the possibility of changing the complete oscillation system of this machine by another model with better maintainability than actual mold oscillator. Every study will consider the life of the equipment from the beginning of operations, mainly considering the oscillating table and oscillating cylinder. The life of similar equipment in the world will also be evaluated, increasing the number of surveys and life data already realized to make more representative the number of information's for analysis. For current and future costs will be considered the costs practiced since the beginning of operation of the equipment and the average margins of profit of the business and these will be drivers to definition of maintenance actions adopted from 2019 onwards.

Key-words: LCC. CCM. Mold Oscillator. Oscillator system. LDA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ferramenta da Qualidade	15
Figura 2 – LayOut do processo de lingotamento contínuo	20
Figura 3 – Sistema oscilação atual - vista lateral	23
Figura 4 – Curvas de Oscilação disponíveis para lingotamento.....	26
Figura 5 – Curso x frequência do sistema de oscilação	26
Figura 6 – Vista superior sistema de oscilação do lingotamento contínuo	27
Figura 7 – Representação esquemática do molde no lingotamento contínuo durante a solidificação (Adaptado de Meng, 2003)	28
Figura 8 – Gráficos com variações da vida característica do produto	32
Figura 9 – Fórmula de cálculo de Custo de Vida – LCC	37
Figura 10 – Curva estatística de confiabilidade para o sistema de oscilação	43
Figura 11 – Gráfico de probabilidade de falha – Weibull.....	43
Figura 12 – Decréscimo da confiabilidade do sistema de oscilação	44
Figura 13 – Curva estatística de confiabilidade cilindro oscilador	46
Figura 14 – Estrutura Hardware do controlador do oscilador	47
Figura 15 – Placa eletrônica de controle – Painel central	48
Tabela 1 – Levantamento de tempo entre falhas do sistema de oscilação	42
Tabela 2 – Tempo entre falhas do cilindro oscilador	45
Tabela 3 – Confiabilidade do cilindro oscilador recomendação troca do fabricante ..	46
Tabela 4 – Produtividade e Produção da Máquina de Lingotamento Contínuo	49
Gráfico 1 – Gráfico de custos de vida estimada pela mesa osciladora	60
Gráfico 2 – Gráfico de custos de vida estimada pela mesa osciladora considerando as manutenções e implantação em 2023	61
Quadro A – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 1.....	54
Quadro B – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 2.....	55
Quadro C – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 3	56
Quadro D – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 4	57
Quadro E – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 5.....	58
Quadro F – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 6.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Levantamento de tempo entre falhas do sistema de oscilação	42
Tabela 2 – Tempo entre falhas do cilindro oscilador	45
Tabela 3 – Confiabilidade do cilindro oscilador recomendação troca do fabricante ..	46
Tabela 4 – Produtividade e Produção da Máquina de Lingotamento Contínuo	49

LISTA DE ABREVIATURAS

MLC	Máquina de Lingotamento Contínuo
CCM	Contínuo Casting Machine
LDA	Life Data Analyses (Análise de Dados de Vida)
LCCA	Life Cost Cyclo analyses (Análise de Custo do Ciclo de Vida)
RGA	Reability Grow Analyses (Análise de Crescimento da Confiabilidade)
RCM	Reability Centered Maintenance (Manutenção centrada em confiabilidade)
FMEA	Failure mode and effects analysis (Análise de modos de falhas e efeitos)
FTA	Fault Tree Analysis (Análise de árvore de falha)
pdf	Função densidade e probabilidade estatística
MTBF	Mean Time Between Fail (Tempo Médio Entre Falhas)
MLC#3	Máquina de lingotamento contínuo 3
RPM	Rotações por minuto
SIN	Ciclo senoidal
NON	Ciclo não-senoidal
Profibus	Protocolo de comunicação digital

LISTA DE SIGLAS

SPCO	Steel Plantec Corporation – Japan
------	-----------------------------------

LISTA DE SÍMBOLOS

β – Parâmetro de forma (ou inclinação da curva)

η – Parâmetro de escala ou vida característica produto

γ – Parâmetro de localização (ou vida livre de falha)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2	OBJETIVO GERAL.....	17
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4	PROCESSO DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE PLACAS	18
1.5	CONDIÇÃO ATUAL DO PROJETO INSTALADO	22
1.6	AVALIAÇÃO LCCA – ALTERAÇÃO DE PROJETO	24
2	SISTEMA DE OSCILAÇÃO	25
2.1	GENERALIDADES	25
2.2	ESPECIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO.....	25
2.3	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO	27
2.4	FUNÇÃO DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO NO PROCESSO DE LINGOTAMENTO.....	28
2.5	PRINCIPAIS PROBLEMAS EM OCORRÊNCIAS DE FALHA NO SISTEMA DE OSCILAÇÃO.....	29
3	DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	29
3.1	LDA (<i>LIFE DATA ANALYSIS</i>)	29
3.1.1	UMA VISÃO GERAL DOS CONCEITOS BÁSICOS.....	30
3.1.2	DISTRIBUIÇÕES AO LONGO DA VIDA (MODELOS DE DADOS DE VIDA) 30	
3.1.3	ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS	31
3.1.4	GRÁFICOS E RESULTADOS CALCULADOS	32
3.1.5	LIMITES DE CONFIANÇA	34
3.1.6	ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE	34
3.1.7	ESTIMATIVA	35
3.2	INTRODUÇÃO À ANÁLISE DOS CUSTOS DO CICLO DE VIDA.....	36
3.2.1	CUSTO DE VIDA.....	36
3.2.2	PORQUE USAR O LCCA?.....	37
3.2.3	MATEMÁTICA FINANCEIRA	38
3.2.4	INDICADORES ECONÔMICOS.....	39
4	DESENVOLVIMENTO DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE E AVALIAÇÃO DE CUSTOS DE MANUTENÇÃO / IMPLANTAÇÃO DE NOVO SISTEMA 40	
4.1	ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO EQUIPAMENTO DE OSCILAÇÃO	40
4.2	ANÁLISE DE VIDA DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO	41
4.3	ANÁLISE DE VIDA DO CILINDRO OSCILADOR.....	45
4.4	ANÁLISE DE VIDA DO SISTEMA DE CONTROLE DO OSCILADOR.....	47
4.5	ANÁLISE DE PERDAS E PRODUÇÃO DURANTE AS FALHAS E PERDAS DE PRODUÇÃO DURANTE CORREÇÃO DAS FALHAS.....	49
4.5.1	PERDAS DE PRODUÇÃO NO LINGOTAMENTO CONTÍNUO	49
4.6	ANÁLISE DE CUSTO DO CICLO DE VIDA	50
4.6.1	Manutenção e Troca do Cilindro de Oscilação	50
4.6.2	Manutenção e Troca da Mesa de Oscilação	51
4.6.3	Troca do sistema de controle por obsolescência	52

4.6.4	Limpeza do sistema de oscilação.....	52
4.6.5	NOVO PROJETO DE OSCILAÇÃO – TROCA COMPLETA DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO	53
4.7	CENÁRIOS POSSÍVEIS PARA A SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO	54
4.7.1	CENÁRIO 1 – TROCA DAS MESAS DE OSCILAÇÃO CONFORME PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO.....	54
4.7.2	CENÁRIO 2 – TROCA DAS MESAS DE OSCILAÇÃO EM PARADA ÚNICA COM AQUISIÇÃO DE 1 SOBRESSALENTE RESERVA PARA 1 VEIO.....	55
4.7.3	CENÁRIO 3 – TROCA DAS MESAS DE OSCILAÇÃO EM PARADA ÚNICA COM AQUISIÇÃO DE 2 SOBRESSALENTE RESERVA PARA 2 VEIOS.	56
4.7.4	CENÁRIO 4 – TROCA DO SISTEMA COMPLETO DE OSCILAÇÃO CONSIDERANDO IMPLANTAÇÃO COM PARADA ESPECÍFICA PARA A INSTALAÇÃO.....	57
4.7.5	CENÁRIO 5 – TROCA DO SISTEMA COMPLETO DE OSCILAÇÃO CONSIDERANDO IMPLANTAÇÃO DURANTE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA PREVISTA NO PLANO ESTRATÉGICO DA EMPRESA EM 2023.....	58
4.7.6	CENÁRIO 6 – TROCA DAS MESAS DE OSCILAÇÃO EM PARADA ÚNICA SEM AQUISIÇÃO DE SOBRESSALENTE RESERVA E REALIZANDO A RETIRADA DOS CONJUNTOS PARA REPARO E REMONTAGEM DURANTE A ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE 2023.....	58
4.8	AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE E ANÁLISE DE CUSTOS DE VIDA.....	59
4.8.1	AVALIAÇÃO DE CUSTOS COM MANUTENÇÃO / IMPLANTAÇÃO DE TODOS OS CENÁRIOS POSSÍVEIS COM INCLUSÃO DE PARADAS EXCLUSIVAS PARA A MANUTENÇÃO E TROCA.....	59
4.8.2	AVALIAÇÃO DE CUSTOS COM MANUTENÇÃO / IMPLANTAÇÃO DOS CENÁRIOS POSSÍVEIS APROVEITANDO A PARADA DE MÁQUINA PARA ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA PREVISTA PARA 2023.....	60
5	CONCLUSÃO	61
5.1	CONCLUSÃO INICIAL	61
5.2	TRABALHOS FUTUROS	64
	REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, empresas tem dedicado grande parte do tempo de seus empregados para a avaliação da confiabilidade de seus equipamentos, pois desta forma, as decisões de investimento e modificações necessárias para uma maior produtividade, melhor manutenibilidade e redução constante de custos com a manutenção. Para início das avaliações de confiabilidade foram necessários os levantamentos de manutenção para o sistema de oscilação do molde, realizando levantamentos de falhas que aconteceram desde o início de operação, gerando um histórico de falha dos equipamentos para a avaliação das curvas de confiabilidade.

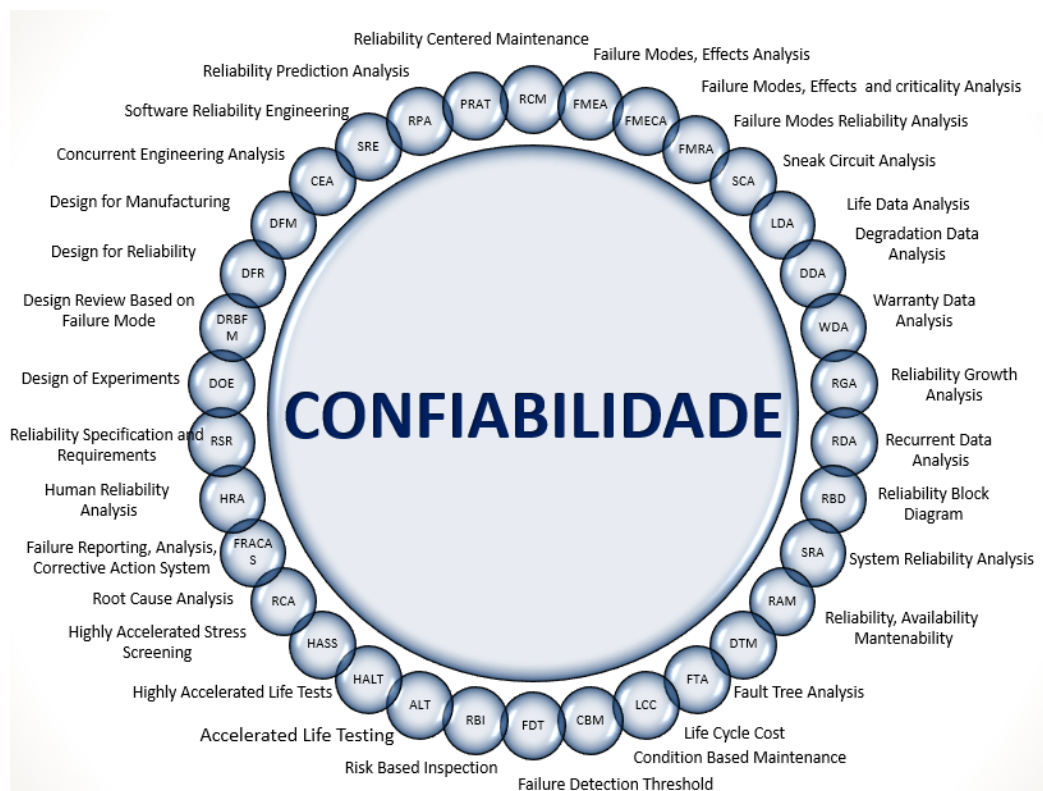
Em grande parte das vezes as decisões incorretas trazem grandes prejuízos e levam as empresas a seguirem um caminho não ideal dentro de seus objetivos e suas necessidades.

Os estudos de confiabilidade estão a cada dia sendo mais implementados para tomadas de decisão com avaliações de dados e fatos, baseados em estatísticas e gerando uma base de informação sólida.

Dentro das ferramentas de confiabilidade disponíveis, temos alguns que são mais usados tais como: RCM – Reability Centered Maintenance (Manutenção centrada em confiabilidade), FMEA – Failure mode and effects analysis (Análise de modos de falhas e efeitos), FTA – Fault Tree Analysis (Análise de árvore de falha) e LDA – Life data Analysis (Análise de dados de vida).

Abaixo na figura 1, é apresentado todas as ferramentas atualmente desenvolvidas e estudas para avaliação de confiabilidade.

Figura 1 – Ferramentas da Confiabilidade



Fonte: Cartilha de Manutenção e Gestão de Ativos – FCLatam (2018 – rev.01).

Atualmente, somente as informações referentes ao fornecedor do equipamento é considerada para a avaliação de confiabilidade do equipamento.

Para nosso estudo iremos utilizar duas ferramentas para avaliação do equipamento: LDA e LCCA.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Para início das avaliações de confiabilidade foram necessários os levantamentos de manutenção para o sistema de oscilação do molde, realizando levantamentos de falhas que aconteceram desde o início de operação, uma avaliação de todas as falhas e suas causas e problemas desde julho de 2007. Este levantamento é necessário, face a quantidade de ocorrências de falhas para o equipamento de oscilação ser muito baixa.

A máquina é de fornecimento japonês e com diversos itens de fornecimentos exclusivos de empresas japonesas, o que torna mais difícil a aquisição de sobressalentes e manutenção dos componentes do sistema de Oscilação.

Apesar de ser uma MLC nova e com diversas tecnologias embarcadas de última geração, alguns pontos operacionais não foram totalmente resolvidos durante o projeto e acabaram não utilizando da melhor forma de manutenção e avaliação dos problemas.

Comparando a MLC#3 com as outras duas MLC's, o sistema de oscilação é bem mais robusto e com menos problemas de automação e controle, o que torna o equipamento com uma confiabilidade muito maior que o das demais máquinas.

Um ponto que também será analisado é a necessidade de obsolescência do sistema de controle de oscilação, que a necessidade de troca também está por acontecer.

O estudo será direcionado para identificar a melhor forma de manutenção, operação, considerando todas as condições atuais e avaliando o melhor custo benefício entre o equipamento atualmente instalado e o equipamento proposto com menor tempo de intervenção com considerável redução de perdas operacionais.

O estudo de confiabilidade a ser realizado será considerado as seguintes premissas:

- Quantidade de falhas do cilindro de oscilação;
- Quantidade de trocas preventivas e corretivas realizadas durante toda a vida do equipamento de oscilação;
- Tempo de intervenção em caso de falhas corretivas;
- Tempo de intervenção em caso de trocas preventivas;
- Custo de manutenção/reparo dos componentes;
- Custo de perda operacional durante paradas programadas e não programadas;
- Custo de reposição de sobressalentes por final de vida útil;
- Custo de equipamentos com menor tempo de intervenção para comparação com o sistema atual;
- Tempo de intervenção com o novo sistema de oscilação;
- Confiabilidade do novo sistema, avaliando informações de outras empresas que a utilizam;
- Facilidade e dificuldades do sistema atual e do sistema de oscilação proposto;

1.2 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo das métricas de confiabilidade e do custo do ciclo de vida de um sistema de oscilação do molde de uma máquina de lingotamento contínuo de placas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O sistema de oscilação é o principal equipamento do processo de lingotamento contínuo e ele deverá ser o equipamento a ser analisado durante este projeto.

Inicialmente, realizaremos um levantamento dos dados de falhas ocorridas desde o seu início de operação. O tratamento destas informações servirá para evitar problemas para a análise de dados de vida e por fim, identificar com a análise de custo do ciclo de vida do equipamento a melhor forma de realizar a manutenção.

Após o levantamento de dados, realizaremos uma análise individual dos equipamentos, para diagnosticar a condição atual do equipamento em funcionamento, avaliando a forma de operação atual, bem como a avaliação dos planos de manutenção do sistema de oscilação. Esta análise determinará se a manutenção realizada no conjunto de oscilação está conforme o histórico de falhas, evitando o desperdício de manutenção desnecessárias e gasto inadequados durante a manutenção anual do equipamento.

A análise de dados de vida é fundamental para a dissociação dos problemas de falhas do equipamento, evitando uma avaliação inadequada do histórico de falhas para a avaliação final de custo de ciclo de vida do equipamento oscilação.

A análise de dados de vidas também será comprada com os dados de vida de outras equipamentos similares instalados em outras empresas no mundo, que servirá de importante avaliação do nosso modo de manutenção aplicado bem como a determinação exata do intervalo de manutenção a ser utilizado tanto para revisão dos planos de manutenção quanto a determinação dos custos atrelados a este equipamento.

A análise de custo do ciclo de vida deste equipamento será feita comparando o custo de manutenção atual, e em paralelo a realização da avaliação da possibilidade de troca do sistema de oscilação comparando sempre os custos durante todo tempo de vida do equipamento.

Esta comparação do sistema atual e sistema novo proposto, servirá de base para determinação pela alta direção da continuidade do estudo detalhado para alteração do equipamento por um equipamento de tecnologia mais atual e de menor custo de manutenção.

1.4 PROCESSO DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE PLACAS

Lingotamento contínuo é o processo pelo qual o metal fundido é solidificado em um produto semi-acabado no formato de tarugo, bloco, beam blank ou placa. O acabamento do produto é feito na laminação. Antes da introdução de lingotamento contínuo em 1950, aço era derramado em moldes para formar lingotes no chamado lingotamento convencional. Desde então, "lingotamento contínuo" evoluiu para alcançar melhor rendimento, qualidade, produtividade e eficiência de custos. Ele permite menor custo de produção com melhor qualidade, devido aos custos mais baixos na produção contínua com um produto mais padronizado, e o maior controle sobre o processo através da automação. O lingotamento contínuo é normalmente mais utilizado para aço, mas também pode ser usado para o alumínio e cobre.

O conceito de lingotamento contínuo surgiu em 1840, com o americano George Sellers, na tentativa de lingotar tubos de chumbo. Em 1846, Henry Bessemer idealizou uma máquina de lingotamento contínuo para aços. O projeto dessa máquina consistia em lingotar as placas de aço entre dois cilindros refrigerados a água. Devido à qualidade irregular das placas de aço produzidas, o processo desenvolvido por Bessemer não obteve êxito e foi abandonado, sendo utilizado industrialmente, apenas, para não ferrosos de baixa temperatura.

Em 1887, o alemão R. M. Daelen elaborou uma proposta para uma planta de lingotamento contínuo, que corresponde ao desenho similar às máquinas atuais. Algumas inovações incrementais foram realizadas, a fim de viabilizar a implementação do equipamento. Essa planta incluía: molde refrigerado à água, aberto no topo e no fundo, alimentado por um fluxo de metal líquido, uma seção de

refrigeração secundária, uma barra falsa, rolos extratores e um aparelho de corte para o veio.

Porém, a planta desenvolvida por Daelen ainda apresentava algumas dificuldades e barreiras que a impedia de ser realizada em escala industrial. O principal problema consistia em extrair o produto sem rasgar a pele solidificada que permanecia agarrada às paredes do molde. Para evitar a adesão do metal às paredes do molde, Siegfried Junghans, em 1933, patenteou um sistema de oscilação do molde (equipamento analisado no trabalho de pesquisa a ser desenvolvido). Essa inovação incremental tornou viável a produção de aço em escala industrial e a implementação efetiva do lingotamento contínuo na siderurgia, inúmeras inovações incrementais no processo e no equipamento começaram a ser desenvolvidas.

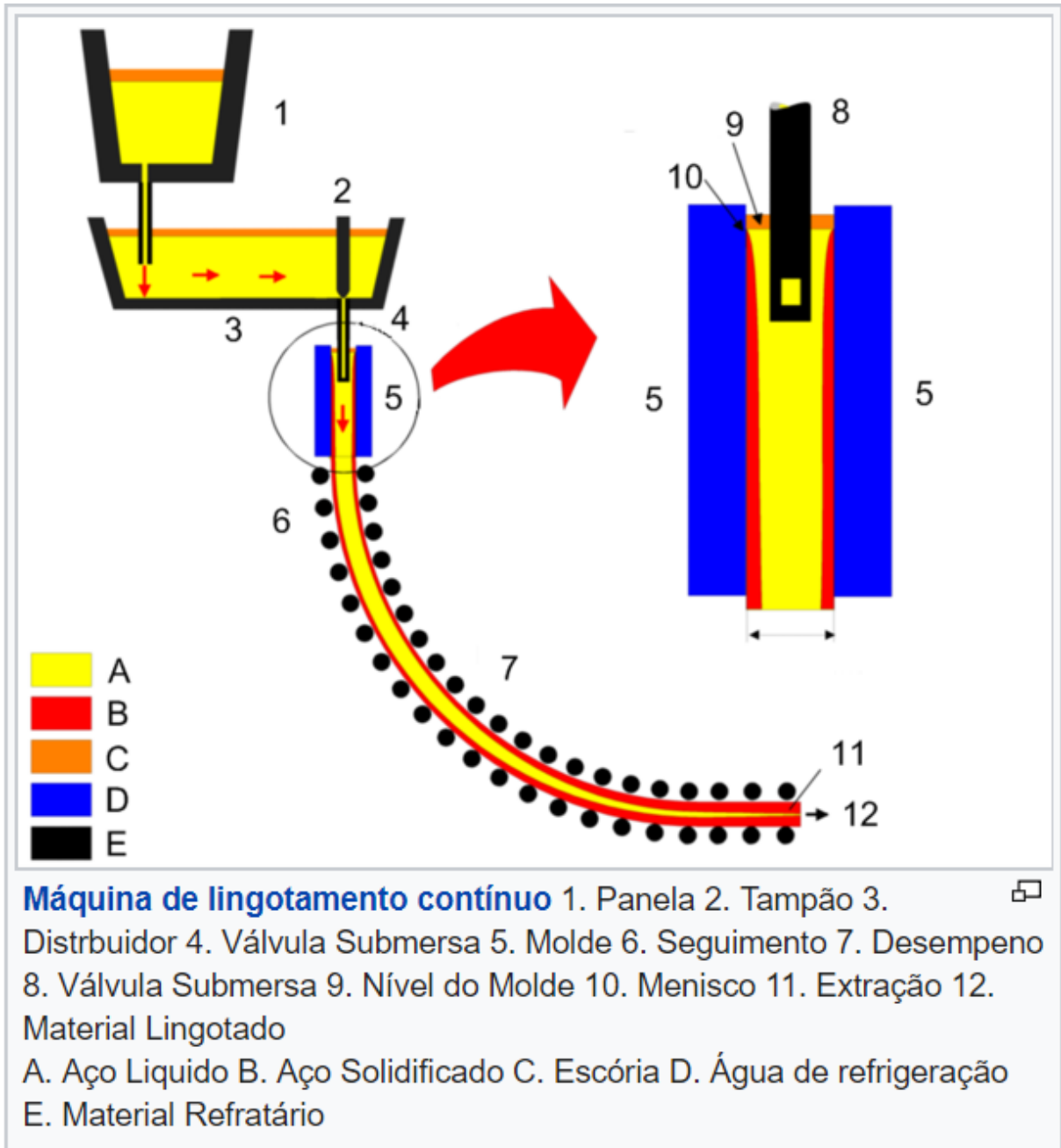
No ano de 1959, Halliday aperfeiçoou o sistema de oscilação do molde, introduzindo o conceito de “estripagem negativa” (ou estripamento negativo), processo utilizado atualmente. Essa técnica reduziu, significativamente, o risco de aderência do metal ao molde e a ruptura do veio, conseqüentemente acompanhado do aumento de produtividade. O princípio de estripamento negativo é determinado pela relação entre a velocidade de oscilação do molde e a velocidade de extração do lingote.

O proposto método de estripamento negativo, Halliday notou os seguintes pontos principais:

A fim de reduzir ao mínimo o perigo e aderência do metal ao molde, este último não deve andar na mesma direção e velocidade que o veio lingotado, exceto nos pontos de reversão de direção.

Se em qualquer momento a ruptura do metal parece provável, a ligeira pressão descendente ou força de compressão exercida pelo molde durante aproximadamente 3/4 do ciclo, sobre as paredes do lingote, cria condições favoráveis para que tais fissuras se caldeiem antes que o lingote deixe o molde.

Figura 2 – Lay Out do processo de lingotamento contínuo



Fonte: IBS - Revista (1980).

Na situação onde ocorre o estripamento negativo, o molde tem um movimento descendente ainda mais rápido que a peça lingotada, o que causa um ligeiro esforço de compressão na casca, permitindo assim, fechar quaisquer rupturas incipientes e diminuir a porosidade, aumentando a resistência da casca antes da placa emergir do molde. Dessa forma, em momento algum (exceto instantaneamente durante a inversão de direção), o molde se desloca com a mesma velocidade da placa.

Resolvido o problema de aderência do metal ao molde, o processo de lingotamento contínuo ainda encontrava barreiras que permitissem o aumento de escala do equipamento. Portanto, havia-se ainda, a necessidade de aperfeiçoamento de alguns parâmetros e técnicas operacionais, tais como:

- tempo de manutenção e reparo do equipamento;
- tempo de preparação da máquina;
- variações na seção do produto;
- troca de painéis;
- troca de distribuidores;
- lingotamento sequencial;
- alterações no projeto de máquina.

Os tempos de preparação, reparo e manutenção estão associados ao índice de funcionamento do equipamento. A diminuição desses tempos propicia elevados índices de funcionamento e, conseqüentemente, alta produtividade. Os reparos e manutenção das máquinas eram onerosos e demandavam muito tempo, para tanto, uma inovação incremental foi desenvolvida a fim de reduzir esse tempo.

As máquinas passaram a ser projetadas com o molde e o segmento de rolos de suporte formando um conjunto único. Dessa forma, o alinhamento e o reajuste do conjunto poderia ser feito fora da máquina, podendo, com isso, reduzir em até 75% o tempo de recuperação da máquina, comparando-se com o tempo gasto na troca independente das partes.

Já no tempo de preparação das máquinas, duas operações são determinantes: a inserção da barra falsa e o ajuste do molde. A barra falsa é uma peça metálica que é inserida ao molde e serve de base de apoio para a solidificação inicial do aço. O aço se solidifica rapidamente e assim que a altura normal de lingotamento é atingida, começa-se a descer o tarugo falso e mantém-se um nível constante do aço líquido no interior do molde, variando-se a vazão, atuando sobre a haste do tampão do distribuidor. A colocação da barra pode ser feita por baixo ou pelo topo.

Com relação ao ajuste do molde, o tempo de preparação é diminuído com a troca automática da largura do molde. Por muitos anos, observou-se nas plantas de

lingotamento contínuo, a utilização de moldes com espessura única. Em meados da década de 70, um novo modelo de desenho do molde foi desenvolvido empresa suíça Concast. Cada vez que a especificação do produto a ser lingotado era alterada, havia-se a necessidade de interromper o processo de lingotamento para que se fizesse a troca de largura do molde, que iria determinar o tamanho da seção do produto lingotado. A troca automática da largura do molde realizava essa operação sem que houvesse a necessidade de interrupção do equipamento, proporcionando, assim, maiores índices de funcionamento da máquina, aliado ao aumento de produtividade.

Outro parâmetro que afeta a produtividade da máquina de lingotamento contínuo é a eficiência nas trocas de panela. O início de uma operação de lingotamento contínuo se dá pela transferência do aço líquido, proveniente dos convertedores LD ou dos fornos a arco elétrico, através das panelas. Na concatenação forno-máquina, o sinergismo entre as operações deve ser completo, pois este interfere no rendimento do processo.

1.5 CONDIÇÃO ATUAL DO PROJETO INSTALADO

O projeto instalado na máquina de lingotamento contínuo é um projeto de alta tecnologia e utilizado em diversas máquinas de lingotamento.

Atualmente, é um projeto a qual possui grande tecnologia de controle dos movimentos através de cilindro hidráulico de múltiplos acionamentos, onde todo controle é realizado através de um sistema de controle que realiza os movimentos ajustados do servo-motor, que tem como função principal direcionar os movimentos do cilindro hidráulico.

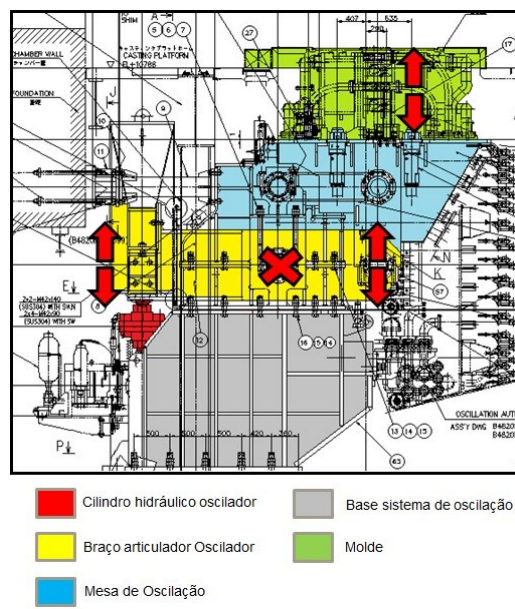
O cilindro hidráulico, possui internamente um acionamento através de um conjunto de fuso esférico, que recebe os movimentos do servo-motor, direcionando o carretel interno do cilindro (funcionando como uma válvula direcional embarcada no cilindro), realizando os acionamentos de elevação e abaixamento do molde da máquina de lingotamento contínuo. Este único cilindro é responsável pela movimentação através de força hidráulica em conjunto com os mecanismos de transferência de movimentos opostos ao do cilindro, realizando todo o controle de posicionamento do cilindro pelo sensor de posição e pelo confrontando os dados do

encoder do Servo-motor. Este feedback de movimentação determina todos os comportamentos dos elementos de movimentação do molde e controlando diretamente estes movimentos para o perfeito processo de solidificação inicial das placas.

O Atual sistema de oscilação da máquina de lingotamento contínuo, possui dois veios de produção, onde em cada veio é composto de um sistema de oscilação individual por veio, composto em cada veio de:

- 1 Sistema de controle individual
- 1 Servo-motor de acionamento
- 1 cilindro hidráulico de oscilação
- Estruturas de transferências de movimentos do cilindro para as mesas de oscilação.
- 2 mesas de oscilação
- 4 cilindros de travamento do molde embarcado na mesa de oscilação
- 2 sistemas de centralização do molde.

Figura 3 – Sistema oscilação atual - vista lateral



Fonte: Manual SPCO – Máquina de lingotamento contínuo 3 (2007).

Visualizamos acima os principais componentes de oscilação do molde da máquina de lingotamento a qual estaremos avaliando nossa atual confiabilidade do equipamento bem como todos custos de manutenção inerentes a estes equipamentos.

Nas avaliações de custos do sistema atual, incluiremos os seguintes itens:

- O tempo de troca dos cilindros de oscilação dos 2 veios (total 2 cilindros – tempo entre trocas 2,5 a 3,5 anos)
- Custo de reparo dos cilindros de oscilação.
- Tempo total de perda de produção para troca da mesa de oscilação (com aquisição de mesa reserva e parada de máquina por 10 dias ou retirar a mesas realizando o reparo para retorno a operação, com tempo total de 12 a 13 dias) - tempo entre reparos de 10 a 12 anos.
- Custo do reparo da mesa de oscilação.
- Parada mensais para limpeza do sistema de oscilação (8 horas mensais).
- Custos de mão de obra para realização das trocas de cilindro e Mesa de oscilação.
- Custos indiretos com materiais e ferramental para realização das trocas de cilindros e mesa de oscilação.

1.6 AVALIAÇÃO LCCA – ALTERAÇÃO DE PROJETO

Com a evolução dos processos de lingotamento e com tecnologias mais eficientes e de fácil manutenção, avaliaremos a alteração do projeto atual por um projeto utilizado em mais máquinas de lingotamento no Brasil e no mundo, onde o valor de manutenção e tempo de troca dos componentes são bem inferiores aos atualmente praticados com o sistema de oscilação atual.

Em uma das outras máquinas de lingotamento no mesmo site, estamos realizando a atualização tecnológica do sistema de oscilação para um projeto mais atual e que iremos utilizar nas avaliações para troca do sistema.

2 SISTEMA DE OSCILAÇÃO

2.1 GENERALIDADES

O oscilador do molde fornece um meio de mover o molde, em uma flutuação controlada, na direção vertical para evitar que o aço solidificado grude na superfície interna do molde e melhore o efeito de resfriamento do aço fundido. O mecanismo de oscilação do molde é de um tipo de alavanca curto e é acionado com um atuador eletro-hidráulico que é facilmente alterado durante operação pelo modo de oscilação parametrizado pelo operador, como a curva de frequência, curso e movimento, por controle remoto durante o lingotamento.

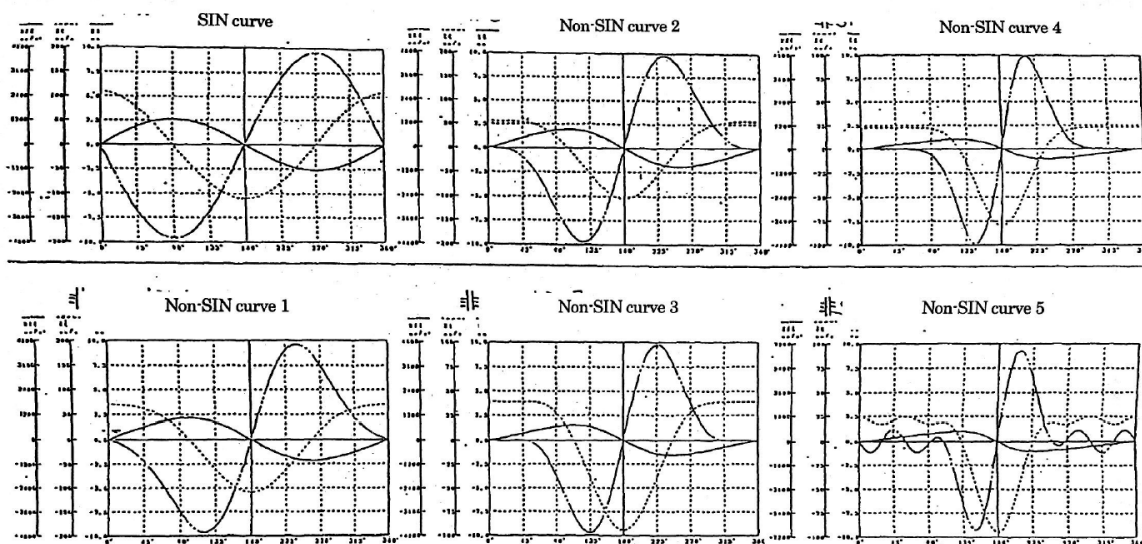
O oscilador do molde consiste nas mesas de apoio dos moldes e no mecanismo de oscilação do molde. As mesas de apoio dos moldes são conectadas ao mecanismo de oscilação do molde pelas vigas acionadas apoiadas nos mancais de rolamentos. O mecanismo de oscilação do molde inclui um cilindro eletro-hidráulico (cilindro hidráulico incorporado com válvula direcional acionada por servo motor). O mecanismo de acionamento é montado na fundação de concreto do lado de fora da câmara de resfriamento da máquina de lingotamento para fornecer uma base estável não afetada por distorção térmica e vibração. O atuador eletro-hidráulico é um servo cilindro eletro-hidráulico operado diretamente com livre seleção de sua condição de oscilação e forma de onda de oscilação altamente repetível. Quaisquer condições de oscilação do molde podem ser configuradas dentro da performance necessária durante a operação do conjunto.

2.2 ESPECIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO

- 1) Mecanismo de oscilação – Mecanismo de alavanca curto acionado por cilindro eletro-hidráulico
- 2) Curva de oscilação - 5 tipos de curvas não-senoidais de oscilação e 1 curva senoidal.
- 3) Curso de oscilação – 2 a 8 mm (deslocamento positivo e negativos em função de uma posição inicial)
- 4) Frequência – Máxima de 400 rpm

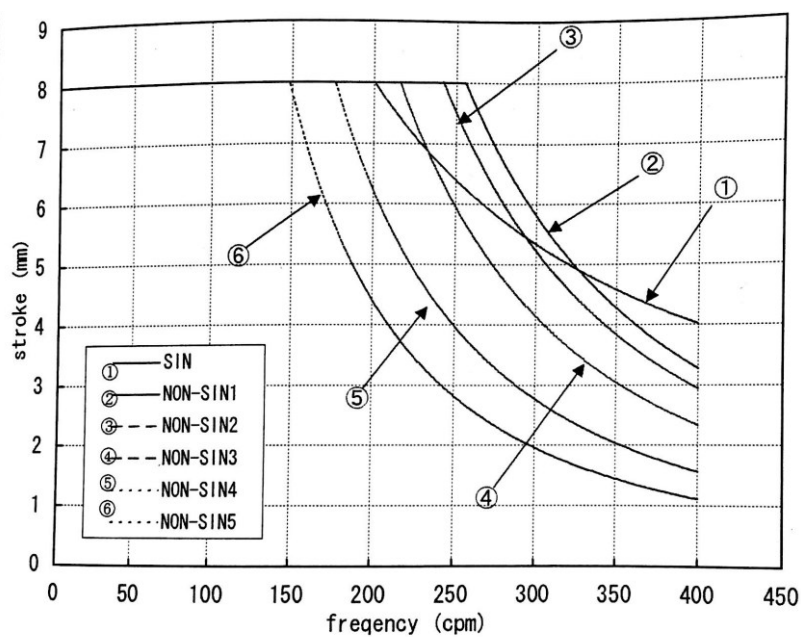
- 5) Faixa de operação - Os padrões básicos da curva de oscilação são mostrados na Figura 4. No caso de cada padrão, a relação entre o traçado de oscilação e a frequência são mostradas nas figuras 4 e 5.

Figura 4 – Curvas de Oscilação disponíveis para lingotamento



Fonte: Manual SPCO – Máquina de lingotamento contínuo 3 (2007).

Figura 5 – Curso x frequência do sistema de oscilação.

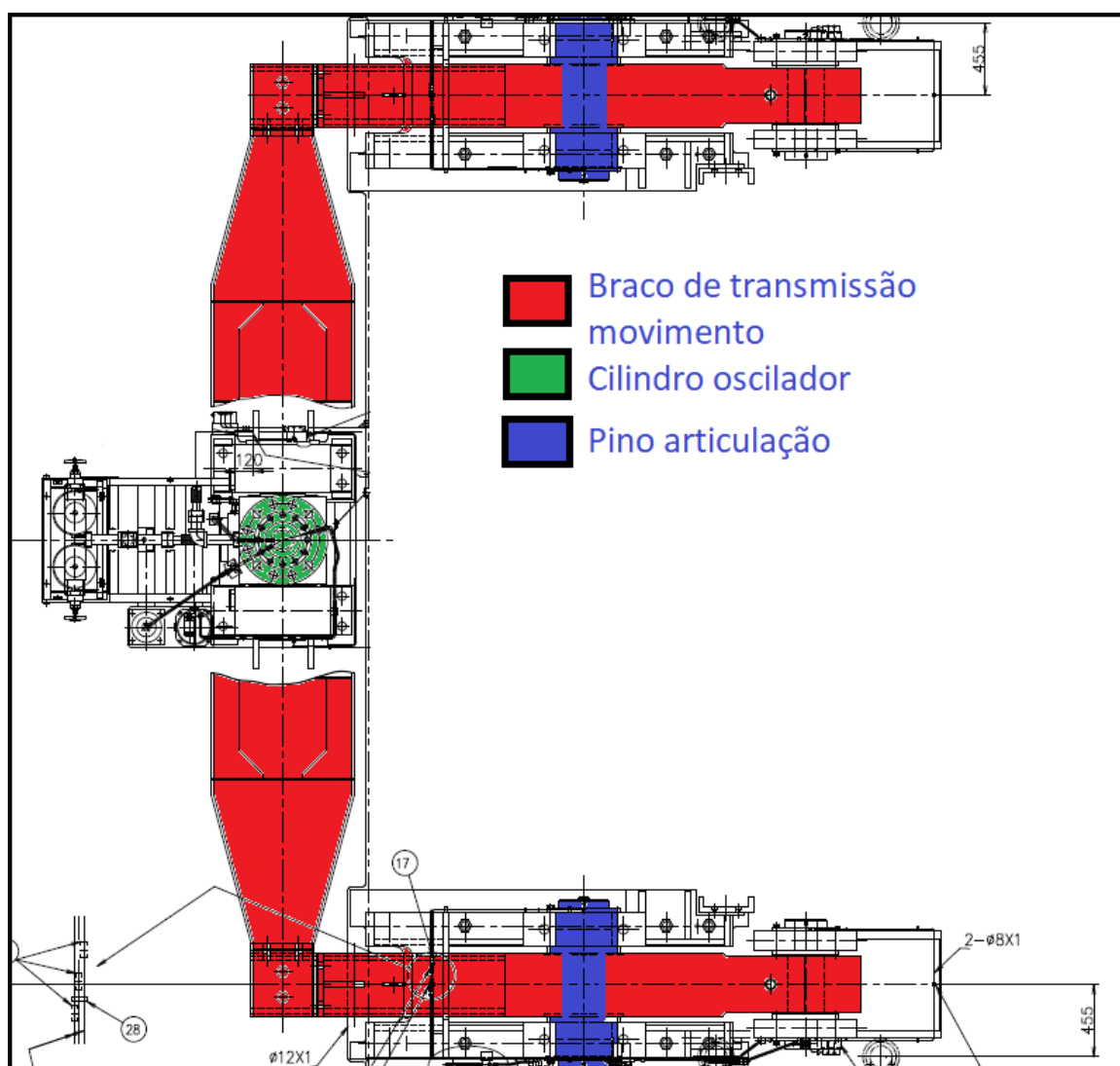


Fonte: Manual SPCO – Máquina de lingotamento contínuo 3 (2007).

2.3 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO

As vigas acionadas suportam o conjunto de molde e a mesa de oscilação do molde, e os pinos de articulação além de suportar as mesas de molde para não se abaixarem, servem de articulação entre o cilindro oscilador e a mesa de oscilação. Cada vigas e vigas de suporte são suportadas com eixo e mancais no suporte de oscilação montado na estrutura de suporte de oscilação.

Figura 6 – Vista superior sistema de oscilação do lingotamento contínuo



Fonte: Manual SPCO – Máquina de lingotamento contínuo 3 (2007).

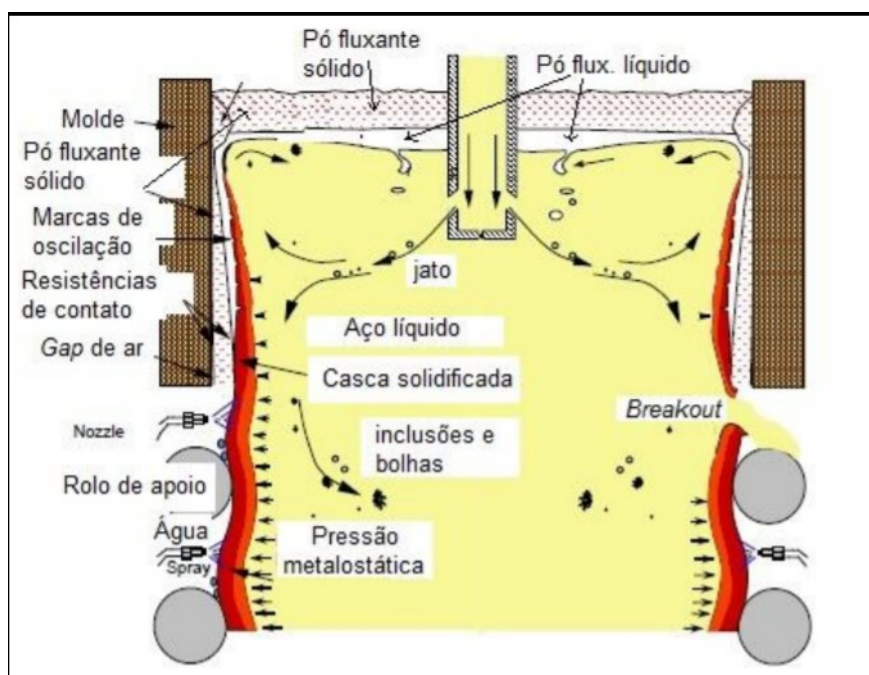
O movimento relativo entre o cilindro e a mesa de oscilação são sempre alternados, ou seja, quando o cilindro puxa o conjunto de vigas para baixo, a mesa

de oscilação sobe, realizando este movimento de forma sequencial e simétrica de acordo com a curva de oscilação desejada.

2.4 FUNÇÃO DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO NO PROCESSO DE LINGOTAMENTO

A função do oscilador do molde no processo de lingotamento contínuo é possibilitar que a escória líquida de fluxante (componente aplicado no processo que em contato com o aço líquido a alta temperatura se liquefaz e forma uma camada protetiva e lubrificante entre o molde e o aço solidificado) penetre nas interfaces das placas de cobre revestido do molde e “pele da placa” (camada externa da placa de aço em início de solidificação), em solidificação, evitando a ocorrência de vazamentos/derramamentos de aço no máquina conhecidos como *breakout* (vazamento de aço líquido logo após a saída do molde no início de lingotamento). O processo de oscilação gera marcas superficiais de lingotamento nas placas produzidas que são admissíveis nos processos de transformações seguintes ao lingotamento. Em alguns casos, estas marcas e trincas superficiais não são admissíveis, sendo necessário em casos extremos de sucateamento do produto.

Figura 7 – Representação esquemática do molde no lingotamento contínuo durante a solidificação.



2.5 PRINCIPAIS PROBLEMAS EM OCORRÊNCIAS DE FALHA NO SISTEMA DE OSCILAÇÃO

O funcionamento do oscilador em condições normais é fundamental para a perfeita formação da “pele” da placa e evitar grandes transtornos durante operação.

Dentro os principais problemas por falha do equipamento de oscilação estão os Rompimentos de pele (*breakout*) e malformação da pele da placa (qualidade superficial).

O movimento dos osciladores são fundamental para a realização do lingotamento sem ocorrência de rompimento de pele da placa (*breakout*), pois ele garante que a velocidade de lingotamento da placa nunca será igual a velocidade de movimentação das placas de cobre, pois este faria com que o início de solidificação da placa de aço venha a se prender na placa de cobre, que ao sair da região de troca de calor (molde), a pele venha a se romper e ocasionando o vazamento de aço na máquina.

3 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 LDA (*LIFE DATA ANALISYS*)

A análise de dados de vida em confiabilidade refere-se ao estudo e modelagem das vidas dos produtos observados. Os dados de vida podem ser a vida útil de produtos no mercado, como o tempo que o produto operou com sucesso ou o momento em que o produto operou antes de falhar (ReliaSoft). Essas vidas podem ser medidas em horas, milhas, ciclos até falha, ciclos de estresse ou qualquer outra métrica com a qual a vida ou a exposição de um produto possa ser medida. Todos esses dados da vida útil do produto podem ser englobados no termo dados de vida ou, mais especificamente, dados de vida útil do produto (ReliaSoft). A análise e previsão subsequentes são descritas como análise de dados de vida. Para o propósito desta referência, limitaremos nossos exemplos e discussões a tempos de vida de objetos inanimados, como equipamentos, componentes e sistemas,

conforme se aplicam à engenharia de confiabilidade, no entanto, os mesmos conceitos podem ser aplicados em outras áreas (Reliasoft).

3.1.1 UMA VISÃO GERAL DOS CONCEITOS BÁSICOS

Ao realizar a análise de dados de vida (também comumente chamada de análise de Weibull), o praticante tenta fazer previsões sobre a vida de todos os produtos da população ajustando uma distribuição estatística (modelo) aos dados de vida de uma amostra representativa de unidades. A distribuição parametrizada para o conjunto de dados pode então ser usada para estimar características importantes da vida do produto, como confiabilidade ou probabilidade de falha em um tempo específico, a vida média e a taxa de falha (ReliaSoft). A análise de dados da vida exige:

1. Reunir dados de vida para o produto.
2. Selecione uma distribuição vitalícia que ajuste os dados e modele a vida útil do produto.
3. Estime os parâmetros que irão ajustar a distribuição aos dados.
4. Gere gráficos e resultados que estimam as características de vida do produto, como a confiabilidade ou a vida média.

3.1.2 DISTRIBUIÇÕES AO LONGO DA VIDA (MODELOS DE DADOS DE VIDA)

Distribuições estatísticas foram formuladas por estatísticos, matemáticos e engenheiros para modelar ou representar matematicamente certos comportamentos. A função de densidade de probabilidade (pdf) é uma função matemática que descreve a distribuição (ReliaSoft). O pdf pode ser representado matematicamente ou em um gráfico onde o eixo x representa o tempo, como mostrado a seguir.

O pdf de Weibull de 3 parâmetros é dado por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Onde:

$$f(t) \geq 0, t \geq \gamma$$

$$\beta > 0$$

$$\eta > 0$$

$$-\infty < \gamma < +\infty$$

e:

η = parâmetro de escala ou vida característica produto

β = parâmetro de forma (ou inclinação)

γ = parâmetro de localização (ou vida livre de falha)

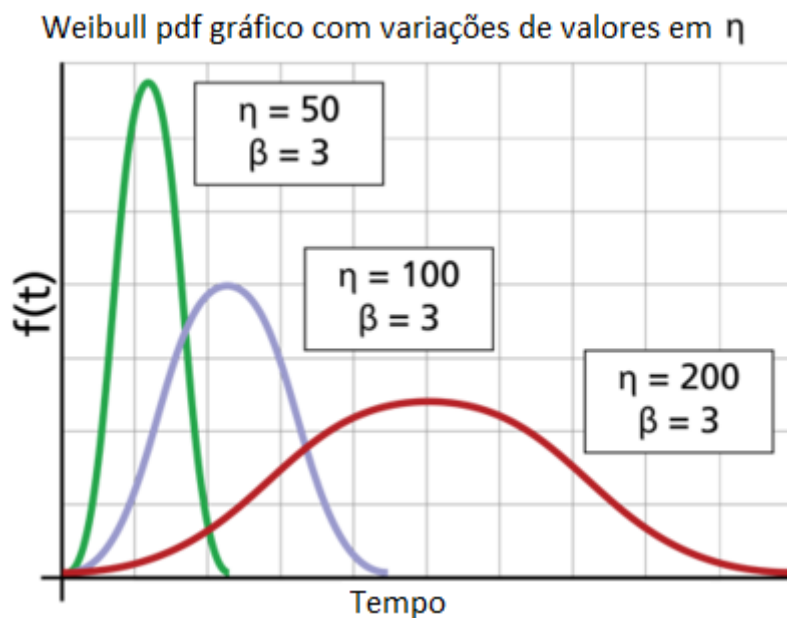
Algumas distribuições, como a Weibull e a lognormal, tendem a representar melhor os dados da vida e são comumente chamadas de "distribuições por toda a vida" ou "distribuições de vida" (ReliaSoft). De fato, a análise de dados de vida é às vezes chamada de "análise de Weibull" porque a distribuição de Weibull, formulada pelo professor Waloddi Weibull, é uma distribuição popular para analisar dados de vida. O modelo Weibull pode ser aplicado em uma variedade de formas (incluindo 1 parâmetro, 2 parâmetros, 3 parâmetros ou Weibull misto). Outras distribuições de vida comumente usadas incluem as distribuições exponencial, lognormal e normal. O analista escolhe a distribuição de vida mais apropriada para modelar cada conjunto de dados específico com base na experiência passada e nos testes de adequação.

3.1.3 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS

Para ajustar um modelo estatístico a um conjunto de dados de vida, o analista estima os parâmetros da distribuição de vida que farão com que a função se ajuste mais de perto aos dados. Os parâmetros controlam a escala, forma e localização da função pdf. Por exemplo, no modelo Weibull de 3 parâmetros (mostrado acima), o parâmetro de escala η , define onde está a maior parte da distribuição. O parâmetro

de forma β , define a forma da distribuição e o parâmetro de localização γ , define a localização da distribuição no tempo (Reliasoft).

Figura 8 – Gráficos com variações da vida característica do produto



Fonte: Johnson, Norman L.; Kotz, Samuel; Balakrishnan, N. (1994)

Vários métodos foram desenvolvidos para estimar os parâmetros que se ajustam a uma distribuição vitalícia para um conjunto de dados específico. Alguns métodos de estimação de parâmetros disponíveis incluem plotagem de probabilidade, regressão de classificação em x (RRX), regressão de classificação em y (RRY) e estimação por máxima verossimilhança (MLE). O método de análise apropriado irá variar dependendo do conjunto de dados e, em alguns casos, da distribuição de vida selecionada.

3.1.4 GRÁFICOS E RESULTADOS CALCULADOS

Depois de calcular os parâmetros para ajustar uma distribuição de vida a um conjunto de dados específico, você pode obter uma variedade de gráficos e resultados calculados da análise (ReliaSoft), incluindo:

- **Tempo de Confiabilidade:** A probabilidade de que uma unidade funcione com sucesso em um determinado ponto no tempo. Por exemplo, existe uma

chance de 88% de que o produto funcione com sucesso após 3 anos de operação.

- **Probabilidade de falha no tempo:** a probabilidade de que uma unidade falhe em um determinado ponto no tempo. A probabilidade de falha também é conhecida como "falta de confiabilidade" e é a recíproca da confiabilidade. Por exemplo, existe uma chance de 12% de que a unidade falhe após 3 anos de operação (probabilidade de falha ou falta de confiabilidade) e 88% de chance de funcionar com sucesso (confiabilidade).
- **Vida Média:** O tempo médio que as unidades na população devem operar antes do fracasso. Essa métrica é geralmente chamada de "tempo médio para falha" (MTTF) ou "tempo médio antes da falha" (MTBF).
- **Taxa de falhas:** o número de falhas por unidade de tempo que podem ocorrer no produto.
- **Tempo de garantia:** o tempo estimado em que a confiabilidade será igual a uma meta especificada. Por exemplo, o tempo estimado de operação é de 4 anos para uma confiabilidade de 90%.
- **B (X) Vida:** O tempo estimado em que a probabilidade de falha atingirá um ponto especificado (X%). Por exemplo, se 10% dos produtos forem reprovados por 4 anos de operação, então a vida útil de B (10) é de 4 anos. (Observe que isso é equivalente a um período de garantia de 4 anos para uma confiabilidade de 90%).
- **Gráfico de Probabilidade:** Um gráfico da probabilidade de falha ao longo do tempo. (Observe que os gráficos de probabilidade são baseados na linearização de uma distribuição específica. Consequentemente, a forma de um gráfico de probabilidade para uma distribuição será diferente da forma de outra. Por exemplo, um gráfico de probabilidade de distribuição exponencial tem eixos diferentes dos de um gráfico de probabilidade de distribuição normal).
- **Confiabilidade x Tempo:** Um gráfico da confiabilidade ao longo do tempo.
- **pdf Plot:** Um gráfico da função de densidade de probabilidade (pdf).
- **Taxa de Falha x Tempo:** Um gráfico da taxa de falha ao longo do tempo.

3.1.5 LIMITES DE CONFIANÇA

Como os resultados da análise de dados da vida são estimativas baseadas nos tempos de vida observados de uma amostragem de unidades, há incerteza nos resultados devido aos tamanhos de amostra limitados. Os "limites de confiança" (também chamados de "intervalos de confiança") são usados para quantificar essa incerteza devido ao erro de amostragem, expressando a confiança de que um intervalo específico contém a quantidade de interesse. Se um intervalo específico contém ou não a quantidade de interesse é desconhecida (Estatística Prática – Peter Bruce & Andrew Bruce - 2019).

Os limites de confiança podem ser expressos como Superior e Inferior ou unilateral. Os limites de dois lados são usados para indicar que a quantidade de interesse está contida nos limites com uma confiança específica. Limites unilaterais são usados para indicar que a quantidade de interesse está acima do limite inferior ou abaixo do limite superior com uma confiança específica. O tipo apropriado de limites depende do aplicativo. Por exemplo, o analista usaria um limite inferior unilateral na confiabilidade, um limite superior unilateral para a porcentagem de falha na garantia e limites bilaterais nos parâmetros da distribuição.

3.1.6 ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

Desde o começo da história, a humanidade tentou prever o futuro. Observando o voo das aves, o movimento das folhas nas árvores e outros métodos foram algumas das práticas utilizadas. Felizmente, os engenheiros de hoje não precisam depender de uma bola de cristal para prever o futuro de seus produtos. Por meio do uso da análise de dados de vida, os engenheiros de confiabilidade usam dados de vida do produto para determinar a probabilidade e capacidade de peças, componentes e sistemas de executar as funções necessárias durante períodos de tempo desejados sem falhas, em ambientes específicos (Reliasoft).

Os dados de vida podem ser a vida útil de produtos no mercado, como o tempo que o produto operou com sucesso ou o momento em que o produto operou antes de falhar. Essas vidas podem ser medidas em horas, milhas, ciclos até falha,

ciclos de estresse ou qualquer outra métrica com a qual a vida ou a exposição de um produto possa ser medida. Todos esses dados da vida útil do produto podem ser englobados no termo dados de vida ou, mais especificamente, dados de vida útil do produto. A análise e previsão subsequentes são descritas como análise de dados de vida. Para o propósito desta referência, limitaremos nossos exemplos e discussões a tempos de vida de objetos inanimados, como equipamentos, componentes e sistemas, conforme se aplicam à engenharia de confiabilidade. Antes de executar a análise de dados de vida, o modo de falha e as unidades de vida (horas, ciclos, milhas, etc.) devem ser especificados e claramente definidos. Além disso, é absolutamente necessário definir exatamente o que constitui uma falha. Em outras palavras, antes de realizar a análise, deve ficar claro quando o produto é considerado como tendo realmente falhado. Isso pode parecer bastante óbvio, mas não é incomum que problemas com definições de falha ou discrepâncias de unidade de tempo invalidem completamente os resultados de testes e análises de vida dispendiosos e demorados (ReliaSoft).

3.1.7 ESTIMATIVA

Na análise de dados de vida e engenharia de confiabilidade, a saída da análise é sempre uma estimativa. O verdadeiro valor da probabilidade de falha, a probabilidade de sucesso (ou confiabilidade), a vida média, os parâmetros de uma distribuição ou qualquer outro parâmetro aplicável nunca são conhecidos, e quase certamente permanecerão desconhecidos para nós para todos os propósitos práticos. Concedido, uma vez que um produto não é mais fabricado e todas as unidades que foram produzidas falharam e todos esses dados foram coletados e analisados, pode-se afirmar que se aprendeu o verdadeiro valor da confiabilidade do produto. Obviamente, esta não é uma ocorrência comum. O objetivo da engenharia de confiabilidade e análise de dados de vida é estimar com precisão esses valores verdadeiros. Por exemplo, vamos supor que nosso trabalho é estimar o número de bolinhas pretas em uma piscina gigante cheia de bolinhas brancas e pretas. Um método é escolher uma pequena amostra de mármore e contar os pretos. Suponha que escolhemos dez bolinhas e contamos quatro bolinhas pretas. Com base nessa

amostragem, a estimativa seria de que 40% dos mármoreos sejam pretos. Se colocarmos os dez mármoreos de volta na piscina e repetirmos essa etapa novamente, poderemos obter cinco bolinhas pretas, mudando a estimativa para 50% de bolinhas pretas. O intervalo de nossa estimativa para a porcentagem de bolinhas pretas no pool é de 40% a 50%. Se agora repetirmos o experimento e escolhermos 1.000 bolas de gude, poderemos obter resultados para o número de bolinhas negras, como 445 e 495 bolinhas pretas para cada tentativa. Nesse caso, notamos que nossa estimativa para a porcentagem de mármoreos pretos tem um intervalo mais estreito, ou 44,5% a 49,5%. Usando isso, podemos ver que quanto maior o tamanho da amostra, mais estreita a faixa de estimativa e, presumivelmente, quanto mais próximo a faixa estimada é do valor real (ReliaSoft).

3.2 INTRODUÇÃO À ANÁLISE DOS CUSTOS DO CICLO DE VIDA

O custo do ciclo de vida de um ativo é definido como o custo total, em valor presente, que inclui os custos iniciais (projeto), manutenção, substituições e reparos e todos os custos ao longo do tempo de vida útil ou ciclo de vida deste ativo (Life Cycle Costing for the Analysis, Management and Maintenance of Civil Engineering Infrastructure – Jonh W. 2015).

A LCCA – Life Cycle Cost Analysis é um processo de avaliação econômica do custo total de um ativo analisando seus custos iniciais, descontos praticados e despesas futuras tais como manutenção, utilidades, operação, e outros custos efetivados durante a vida útil ou ciclo de vida do ativo (ReliaSoft).

A LCCA pode ser usada como a ferramenta de apoio à decisão ajudando os engenheiros e os gestores a proporem, compararem e selecionarem a alternativa mais rentável para a manutenção e renovação e para os programas de investimento de capital.

3.2.1 CUSTO DE VIDA

Refere-se ao Custo do Ciclo de Vida do Sistema para um período de interesse/análise considerando seus custos totais no período conforme figura abaixo:

Figura 9 – Fórmula de cálculo de Custo de Vida – LCC

$$LCC = \sum_{i=0}^N [CT_i \cdot (1 + d)^i]$$

LCC	Custo do Ciclo de Vida – em \$ de Valor Presente	(\$) – Unidade Financeira
CT	Custo Total no período <i>i</i> (ano)	(\$) – Unidade Financeira
N	Número Total de períodos de Interesse/Análise	(N/A)
<i>i</i>	Índice do período	(N/A)
d	Taxa de Desconto	%

Fonte: Davis Langdon Management Consulting. (2007).

3.2.2 PORQUE USAR O LCCA?

A Análise do Custo do Ciclo de Vida (LCCA) é um método de avaliação econômica do projeto onde todos os custos decorrentes da operação, manutenção e, finalmente, descarte são considerados importantes para a decisão custo-benefício sobre seu desempenho.

A LCCA avalia as alternativas de projeto que satisfaçam um nível exigido de desempenho incluindo, capacidade e segurança e outros requisitos para os padrões de engenharia e confiabilidade do sistema, e que podem ter diferentes custos de investimento, operacionais, de manutenção e reparo (OM & R) - incluindo utilidades, e, possivelmente, ter vidas úteis diferentes (Davis Langdon Management Consulting - 2007).

Dentre as possibilidades de análises, o LCCA é capaz de apresentar várias formas de análises possíveis de comparação, a fim de se obter a melhor escolha, dentre elas:

- Comparação de alternativas de projetos (ou soluções técnicas);
- Avaliação da viabilidade econômica de projetos / produtos;
- Estudos para seleção de fornecedores;

- Estudos para Substituição, Repotencialização, Extensão de vida, ou desativação de equipamentos/instalações (Vida Econômica);
- Identificação de fatores de custo;
- Avaliação e comparação de estratégias alternativas para a
- utilização/operação do produto/equipamentos, manutenção,
- capacidade de produção etc.;
- Realizar estudos de Trade Off;
- Planejamento financeiro de longo prazo

Em cima destas opções de utilização do LCCA, podemos então, definir:

Life Cycle Cost Analysis ou Análise do Custo do Ciclo de Vida é o termo aplicado aos procedimentos, critérios e métodos analíticos e/ou simulatórios usados nos cálculos dos custos efetivados e relacionados com o ciclo operacional de um sistema permitindo sua gestão operacional, de manutenção e financeira mais precisa à toda organização.

A metodologia LCCA reúne conceitos fundamentais à sua aplicação. Dentre as disciplinas envolvidas para o seu desenvolvimento destacam-se:

– Engenharia Econômica:

- Matemática Financeira;
- Gestão de Investimentos.

– Engenharia da Confiabilidade:

- Análise de Dados de Vida;
- Análise de Confiabilidade de Sistemas;
- Análise da Confiabilidade, Manutenibilidade, Disponibilidade.

3.2.3 MATEMÁTICA FINANCEIRA

É importante aceitarmos que assim como a confiabilidade de um sistema varia no tempo pois no melhor das hipóteses ele desgasta durante esse tempo, o dinheiro também sofre depreciação resultante das variáveis macro-econômicas do mercado financeiro.

- Inflação (desvalorização da moeda);

- Risco (desconhecimento futuro);
- Liquidez (conversão em espécie);

Entender esse processo e mapear, matematicamente, os índices financeiros que produzem tal efeito, é responsabilidade da Matemática Financeira.

3.2.4 INDICADORES ECONÔMICOS

Na Matemática Financeira existem várias métricas utilizadas na gestão financeira das organizações pois permitem avaliar as alternativas, analisar os investimentos, ou mesmo monitorar o Fluxo de Caixa (*Cash Flow*) previsto durante a vida útil de um projeto ou toda a empresa (ReliaSoft).

Abaixo alguns indicadores econômicos financeiros avaliados durante a avaliação do ciclo de vida de qualquer investimento.

- **Valor Presente**
- **Valor Futuro**
- **Taxa de Juros:**
 - Simples
 - Composta
- ***Payback***
 - Simples
 - Descontado
- **Valor Presente Líquido**
- **Valor Anual Equivalente**
 - Custo Anual Equivalente

Conhecendo os indicadores econômicos e dentro da necessidade de avaliação de custo de vida, estaremos esclarecendo abaixo cada um indicador.

Valor Presente: é o valor na data zero ou início do fluxo de caixa. Representa o investimento (capital) inicial ou a aplicação financeira atual (inicial) e que pode sofrer variação, em espécie, em um período futuro segundo o custo do capital (juros) corrente nesse período. É o valor atual, ou seja, no período atual!

Valor Futuro: é o valor equivalente após a data zero quando incididos do juro a ser aplicado ao valor presente (atual) ocorrido no prazo de interesse.

Taxa de Juros: é a razão entre o juro pago (resgatado ao final do período), o capital inicial (valor presente) e o tipo de capitalização estabelecida, podendo ser de

cálculo simples ou composta dependendo da avaliação a ser realizada. Juro é a remuneração que o capital inicial sofre durante um período segundo um acordo imposto entre as partes envolvidas ou, uma adequação à desvalorização que o capital sofreu no período avaliado.

Existem 3 classificações usuais para a taxa de juros: taxa de juros nominal, taxa de juros efetiva; taxa de juros real.

Payback: é o período de tempo necessário para que uma série de recebimentos iguais ou variáveis do fluxo de caixa garanta a recuperação total do valor inicial, ou seja, do investimento. São divididos em 2 tipos: *Payback* Simples (O período de tempo necessário para se recuperar o investimento, ignorando a taxa de juros) e *Payback* Descontado (O período de tempo necessário para se recuperar o investimento, considerando a taxa de juros);

Um item de grande importância na análise de investimento é a Taxa mínima de atratividade (TMA).

O TMA é a taxa de juros que representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou o máximo que uma pessoa se propõe a pagar quando faz um financiamento.

A TMA é única e individual a cada investidor e não existe fórmula matemática para calculá-la, pois, inclusive, ela pode variar com o tempo e é definida, basicamente, segundo as variáveis abaixo:

- Custo de Oportunidade do Negócio;
- Risco do Negócio;
- Liquidez do Negócio;

4 DESENVOLVIMENTO DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE E AVALIAÇÃO DE CUSTOS DE MANUTENÇÃO / IMPLANTAÇÃO DE NOVO SISTEMA

4.1 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO EQUIPAMENTO DE OSCILAÇÃO

Para avaliação da confiabilidade atual dos componentes do sistema de oscilação, foi realizado o levantamento de dados de falhas acontecidos desde o

início de operação do equipamento de oscilação da máquina de lingotamento contínuo.

Inicialmente o levantamento de falhas foi realizado em cima somente dos equipamentos mecânicos, pois neles eram encontradas as principais falhas de equipamento e concentrado os grandes tempos de reparo. Porém ao discutir o assunto junto a equipe de manutenção elétrica da máquina de lingotamento, foi identificado que existia uma certa degradação dos equipamentos elétricos e que a avaliação do sistema completo era necessária.

4.2 ANÁLISE DE VIDA DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO

Para melhor avaliarmos todas as influências de manutenção para o sistema oscilador, é necessário a análise de dados de vidas do sistema, desde o início de operação.

Realizado o levantamento de todas as paradas da máquina de lingotamento e realizados a expurga de paradas do sistema de oscilação para a avaliação.

Abaixo temos a tabela de vida entre falhas em horas de produção, desconsiderando o de outras paradas e aumento / redução de ritmo de produção.

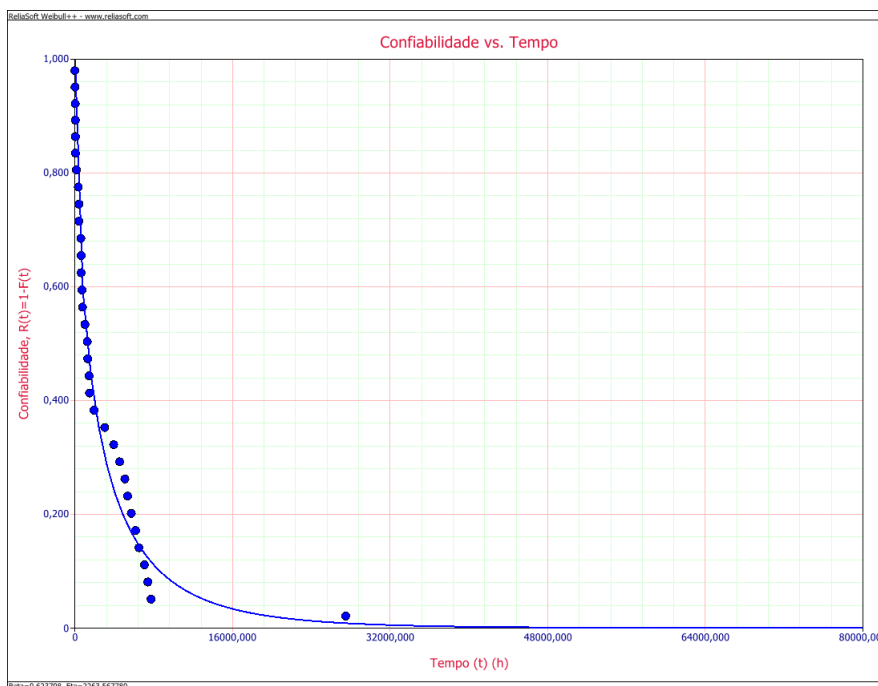
Tabela 1 – Levantamento de tempo entre falhas do sistema de oscilação

Condição de Parada (F= Falha; S= Equipamento em operação)	Tempo em Horas de operação	Responsabilidade da Falha
F	5368,65	Elétrica
F	1449,1	Elétrica
F	50,12	Elétrica
F	432,97	Elétrica
F	59,67	Elétrica
F	48,57	Elétrica
F	3043	Elétrica
F	24,47	Elétrica
F	643,9	Elétrica
F	5089,93	Elétrica
F	27498,37	Elétrica
F	3954,3	Elétrica
F	7748,32	Elétrica
F	0,32	Elétrica
F	644,37	Mecânico
F	7064,98	Mecânico
F	6516,02	Elétrica
F	1027,3	Elétrica
F	7412,88	Mecânico
F	6177,57	Elétrica
F	4558,32	Elétrica
F	73,33	Elétrica
F	735,52	Elétrica
F	5737,63	Mecânico
F	1320	Mecânico
F	1957,87	Elétrica
F	357,75	Elétrica
F	622,85	Elétrica
F	779,28	Mecânico
F	1498,1	Elétrica
F	1266,73	Elétrica
F	168,33	Elétrica
F	432,45	Elétrica
S	342,42	Em operação

Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

A partir dos dados levantados, identificamos a curva estatística de confiabilidade para o sistema de oscilação da máquina de lingotamento contínuo (Distribuição Weibull 2 parâmetros) conforme figura 10 e o gráfico de probabilidade de falha – Weibull conforme Figura 11. A análise dos dados realizada através do programa Weibull ++ da Reliasoft.

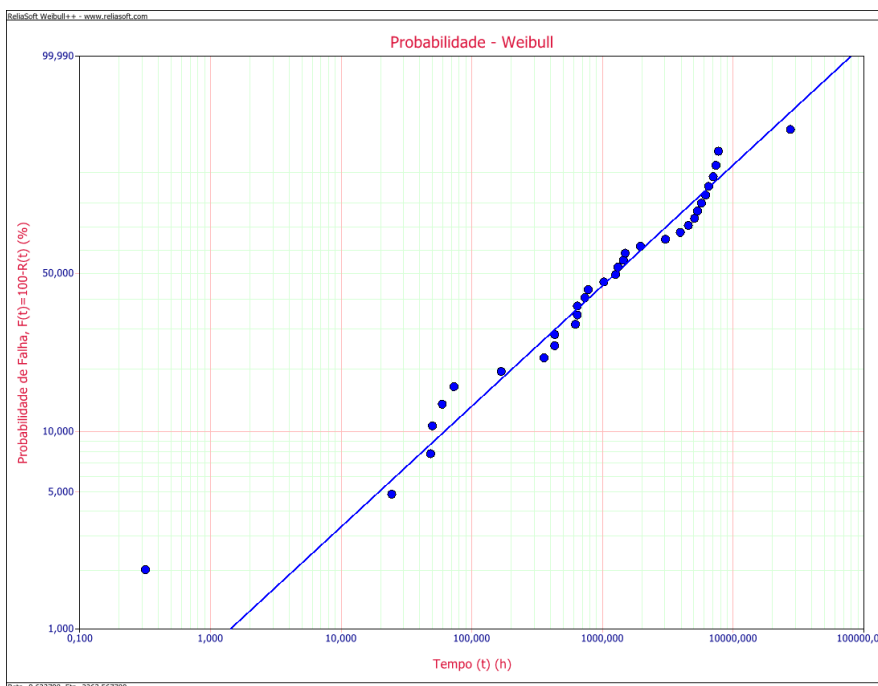
Figura 10 - Curva estatística de confiabilidade para o sistema de oscilação



Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

A seguir visualizamos a curva distribuição de Weibull para probabilidade de falha do sistema de oscilação.

Figura 11 - Gráfico de probabilidade de falha – Weibull

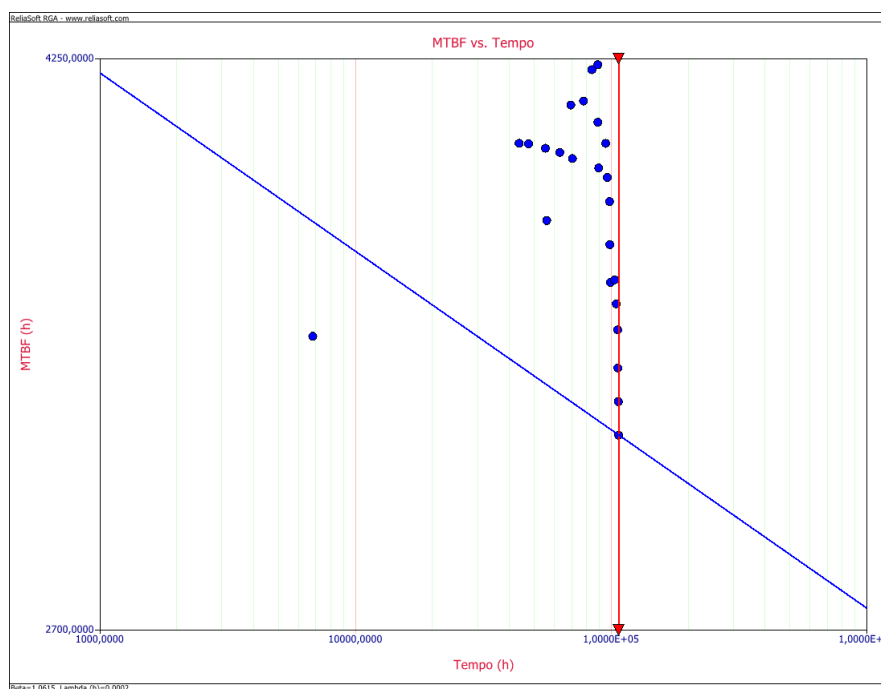


Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

A partir dos dados, é possível identificar o MTBF para o sistema de 3243,55 horas de funcionamento. Esta avaliação comprova que o tempo entre paradas preventivas que atualmente é adotado para a máquina de lingotamento de média de 1440 horas é suficiente para que possamos tratar os modos de falhas, realizar as manutenções preventivas e realizar as inspeções necessárias para o sistema considerando uma confiabilidade para este período de preventiva de 0,4703.

Realizando uma análise de crescimento da confiabilidade, identificamos que o equipamento encontra-se degradando ($\beta > 1$), conforme indica na figura 12 que indica de decréscimo do MTBF ao longo do tempo.

Figura 12 – Decréscimo da confiabilidade do sistema de oscilação



Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

Analisando o decréscimo da confiabilidade tanto da manutenção elétrica (taxa de crescimento -1,9448) quanto da manutenção mecânica (taxa de crescimento -3,449), comprovando que a confiabilidade para o equipamento em questão está a cada dia menor.

Para a avaliação devemos considerar os principais equipamentos do sistema de oscilação como:

1. Cilindro Oscilador

2.Mesa Osciladora

3.Sistema de controle de Oscilação

4.3 ANÁLISE DE VIDA DO CILINDRO OSCILADOR

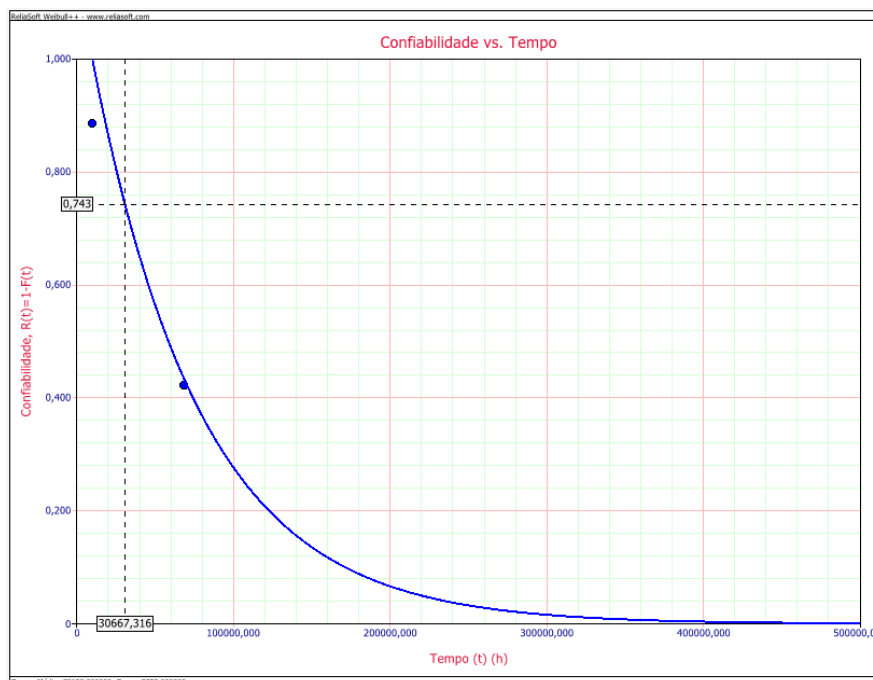
O cilindro oscilador é o principal equipamento mecânico para o sistema de oscilação, e o item com menor MTBF dos equipamentos mecânicos dentro os principais Conforme Figura F. Avaliando os dados estatísticos de confiabilidade do cilindro de oscilação evidenciamos uma distribuição exponencial de 2 parâmetros, onde a MTBF é igual a 79944 horas de operação (9,12 anos). Dados de levantados de vida para a realização da análise conforme tabela S, demonstradas pelo Figura 13. Do levantamento realizado, somente em duas ocasiões os cilindros saíram em falhas total, ou seja, sem desempenhar a função do equipamento.

Tabela 2 – Tempo entre falhas do cilindro oscilador

Condição de Parada (F= Falha; S= Equipamento em operação)	Tempo em Horas de operação
S	36144
F	68376
F	9792
S	47208
S	17208
S	3864
S	26256

Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

Figura 13 – Curva estatística de confiabilidade cilindro oscilador



Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

Considerando uma distribuição exponencial de 2 parâmetros com tempo médio (h) 70.152 e Gama (h) 9.792 e avaliando a recomendação do fabricante de troca do componente de 2,5 a 3,5 anos, temos uma confiabilidade variando de 0,7427 a 0,8414 conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3 – Confiabilidade do cilindro oscilador recomendação troca do fabricante

Vida Cilindro Oscilador indicado pelo fabricante (95% confiança)		
	2,5 anos	3,5 anos
Confiabilidade Superior	0,9554	0,9244
Confiabilidade	0,8414	0,7427
Confiabilidade Inferior	0,5204	0,3244

Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

Considerando que o recomendado pelo fabricante do equipamento a confiabilidade do equipamento está satisfatório para o tempo de utilização do cilindro, conforme mostrado na Figura R e também identificamos que o intervalo de

troca é suficiente para uma boa confiabilidade e bem abaixo do MTBF (9,12 anos) estimado para o equipamento em questão.

4.4 ANÁLISE DE VIDA DO SISTEMA DE CONTROLE DO OSCILADOR

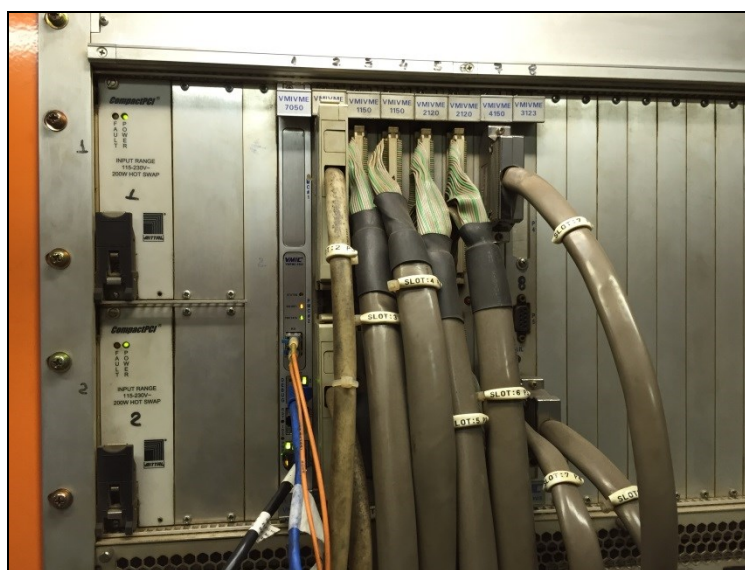
Sistema de Controle de Oscilação consiste em painel de controle, estação de operação na cabine central exclusiva, PC de manutenção (Sistema de controle da manutenção *iba analyse*) e equipamentos na área (servo motor e sensores de posição).

O Controlador Logico Programavel (PLC) está conectado ao nível 1 através de comunicação ethernet industrial e outros sinais Interligados fisicamente. O sistema de controle do oscilador está conectado ao PLC via ethernet e o painel de controle ao toque está ligada ao PLC por meio da rede profibus.

O sistema de controle do oscilador, o painel de controle ao toque e o PC de manutenção são conectados via fibra ótica.

O sistema de controle do oscilador - SBC (Single Board Computer) utilizado é o GE Fanuc VME-Bus com CPU VMIVME-7050-210300 e diversos cartões de interface.

Figura 14 – Estrutura física do controlador do oscilador



Fonte: Romero Velasco Spinasse (2018).

Devido obsolescência do sistema, não é possível adquirir peças reservas. Porém, temos sobressalente desse controlador visto que ele é classificado como Y00 no sistema de sobressalentes da empresa (Item estratégico).

Em 2016, realizamos um estudo em conjunto com a engenharia visando identificar a melhor estratégia para garantir o funcionamento do sistema considerando essa obsolescência.

Nesse estudo, foram envolvidos o fornecedor do sistema de oscilação (SPCO) e também o fabricante do controlador (GE Fanuc / Abaco).

A Abaco, fabricante do controlador, informou que nosso sistema está obsoleto e que o novo modelo do controlador não é compatível com o nosso software sendo necessária uma conversão ou novo desenvolvimento do software para se adequar à nova unidade de processamento (sem garantia de funcionamento).

A SPCO recomendou o upgrade do sistema de controle do oscilador do molde migrando do sistema GE Fanuc para o sistema Melsec Mitsubishi.

Assim sendo, concluímos que seria necessário fazer a migração para o novo sistema de controle. Também avaliamos que o upgrade poderia ser realizado num outro momento visto que temos um conjunto completo de sobressalente desse controlador.

Figura 15 – Placa eletrônica de controle – Painel central



Fonte: Romero Velasco Spinasse (2018).

Todas as falhas de 2018 e 2019 tiveram o mesmo comportamento e estão relacionadas a falha de comunicação com a CPU VMIVME-7050 do SBC.

Trata-se de uma falha intermitente, de curta duração e de difícil diagnóstico.

Estamos trabalhando em conjunto com a engenharia e com o fornecedor SPCO, porém ainda não conseguimos identificar a causa raiz dessa ocorrência.

Analisando a curva estatística de confiabilidade para o sistema identificamos que existe uma degradação da confiabilidade e justificando ainda mais a troca do sistema de controle.

4.5 ANÁLISE DE PERDAS E PRODUÇÃO DURANTE AS FALHAS E PERDAS DE PRODUÇÃO DURANTE CORREÇÃO DAS FALHAS

4.5.1 Perdas de produção no lingotamento contínuo

As máquina de lingotamento contínuo, produz em grande parte do dia de forma contínua placas de aço, conforme demonstrado na tabela K, onde foi desconsiderado a produção dos anos de 2013 e 2014 devido a hibernação da máquina, em função do momento específico vivido na produção mundial de aço no mundo que necessitou da grande parte deste período uma produção em parte do tempo e não condizendo com a produtividade nominal e real realizada pelo equipamento.

Tabela 4 – Produtividade e Produção da Máquina de Lingotamento Contínuo

Produtividade e Produção Máquina de Lingotamento			
Ano	Produção anual (toneladas)	Toneladas / Hora	Média Acumulada
2008	1.965.781	466,04	466,04
2009	1.520.322	348,33	407,19
2010	1.876.110	353,37	389,25
2011	1.731.513	402,22	392,49
2012	1.361.975	349,89	383,97
2013	505.002	Máquina Hibernada - Dados Inválidos para análise	
2014	1.196.514	Máquina Hibernada - Dados Inválidos para análise	
2015	2.176.691	359,34	379,87
2016	2.305.407	351,95	375,88
2017	2.504.089	354,05	373,15
2018	2.326.862	350,11	370,59
2019 até 03/04	583.487	350,86	368,62

Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

Para a análise de perdas de produtividade e produção durante as falhas ou redução de produção devido algum problema específico na máquina, utilizaremos a

produtividade média da máquina nos últimos 3 anos, pois neste período estávamos em condição de alta produção e demanda de aço.

Perda de Produção = (Produtividade em Toneladas por Hora x tempo de parada de máquina em Horas)

Em paralelo, em diversas oportunidades, temos perdas de produção que são geradas quando algum equipamento fica fora de operação e por demanda operacional, colocamos a máquina de lingotamento em operação com capacidade de produção reduzida, enquanto é realizada a correção do problema. Esta redução de produção sempre é calculada para lançamento no controle de produção em cima da produção visada por horas dividido pela produção realizada. Este fator resultante é multiplicado por 1 hora, o qual é gerado um fator de perda em minutos para cada hora de produção.

Todas as informações usadas neste capítulo serão utilizadas para os cálculos das perdas e impactos no custo durante a análise LCCA.

4.6 ANÁLISE DE CUSTO DO CICLO DE VIDA

4.6.1 Manutenção e Troca do Cilindro de Oscilação

Conforme informado no capítulo 4.3, visualizamos a necessidade de troca do cilindro oscilador a cada 3,5 anos conforme orientação do fabricante e fornecedor do equipamento. Apesar que as trocas realizadas do equipamento foram sempre fora da expectativa do cilindro e que a análise de dados de vida indicada para o componente é de 9,12 anos (dados estes que foram retirados de vidas realizadas considerando falhas e trocas preventivas), estaremos utilizando a recomendação do fabricante para a análise de custos para troca e manutenção do cilindro oscilador.

O custo de manutenção do último cilindro enviado para reparo para o Japão, considerando os valores de frete, mão de obra e materiais é de R\$850.000,00.

Para os custos de troca do cilindro, foi considerando a última troca realizada em 2019 com o custo de R\$150.000,00.

O tempo de troca do cilindro de oscilação é de aproximadamente de 72 horas. Durante as análises de custos com perda de produção para a troca do cilindro oscilador não será considerada a perda de produção para a troca do cilindro, devido

a atividade ser realizada em oportunidade de equipamento parado por 5 dias todos os anos (parada de alto forno com redução de produção da usina).

4.6.2 Manutenção e Troca da Mesa de Oscilação

Para a avaliação dos custos de troca e manutenção da mesa osciladora, levaremos em conta a experiência dos engenheiros e técnicos de confiabilidade da máquina de lingotamento contínuo, bem como a expectativa de vida para a troca do componente especificada pelo manual do fabricante e consultorias técnicas realizadas pela SPCO para a avaliação preditiva de folgas existentes nos rolamentos da mesa, pois o equipamento até então ainda não teve sua troca ou manutenção do equipamento realizada até os dias atuais.

O fabricante recomenda a troca do conjunto de mesa de oscilação de um veio de produção em 10 anos de operação com capacidade de produção máxima da máquina de lingotamento.

Em 2018 foi realizada o levantamento pela equipe de suprimentos para a aquisição de conjunto sobressalente de mesa osciladora no valor total de R\$5.200.000,00.

Para a custos de manutenção baseados com serviços similares de manutenção realizados no lingotamento contínuo a equipe de manutenção prevê um custo para a mão de obra, ferramental e recursos para a troca no valor de R\$2.000.000,00.

Os custos de reparo da mesa de oscilação considerando os materiais aplicados e custo de mão de obra, avaliando os custos de equipamentos similares de R\$100.000,00

Por orientação do fabricante, o tempo de troca deste equipamento para um veio é de 240 horas de parada. Considerando que anualmente temos uma parada de 5 dias (parada de alto forno com redução da produção da usina), será considerado somente a perda de produção equivalente a 5 dias de produção. Para esta perda de produção para a troca será considerado um custo de R\$13.504.128,00.

Por orientação da alta direção, será avaliado na análise LCCA, a aquisição de 2 conjuntos sobressalentes completos e tempos de paradas respectivos para a

troca simultânea dos dois veios de produção afim de se reduzir o tempo total de troca e conseqüente menor perda de produção para a troca das mesas de oscilação de ambos veios de produção.

4.6.3 Troca do sistema de controle por obsolescência

Conforme indicado no capítulo 4.4, verificamos a condição atual do sistema de controle e a necessidade de substituição do sistema atual.

Os custos atrelados a substituição do sistema de controle conforme cotação realizada em 2019 no valor de R\$1.428.000,00.

4.6.4 Limpeza do sistema de oscilação

O sistema de oscilador atual, possui uma necessidade de limpeza das partes móveis da mesa de oscilação e braços de transmissão que gera uma demanda de parada de 4 horas para a realização desta limpeza.

Para avaliação das perdas de produção referentes a limpeza do sistema de oscilação, que atualmente é planejado a limpeza mensal, será considerado a realização da limpeza das partes móveis a cada 3 meses, pois nem toda parada realizada para limpeza temos a condição de perda de produção, ou seja, a limpeza é realizada dentro de uma oportunidade de baixa produção. Para a avaliação será sempre considerado o tempo necessário para limpeza de 4 horas.

Os custos com perdas de produção para cada parada de limpeza de considerando as premissas de cálculo para perda de produção é de R\$450.137,60.

Para os cálculos de ganhos com produção, foi adotado as seguintes premissas:

1. Margem de contribuição da Máquina de lingotamento 2020 a 2022 – USD 50,00
2. Margem de contribuição da Máquina de lingotamento 2020 a 2022 – USD 80,00
3. Valor de cotação do dólar em 28/05/2019 – R\$ 4,00
4. Produtividade média da máquina de lingotamento – 351,67 ton/h
5. Tempo de Limpeza planejado – 4 horas

4.6.5 Novo Projeto de Oscilação – Troca Completa do Sistema de Oscilação

Durante avaliações das perdas resultantes para o sistema de oscilação atualmente instalado na máquina de lingotamento contínuo, os especialistas de confiabilidade identificaram que existe no mercado, tecnologia mais adequada e com a confiabilidade similar ou melhor que a tecnologia atualmente instalada, que avaliando a possibilidade de troca e implantação da nova tecnologia, mesmo que com altos custos de implantação, os ganhos financeiros podem ser significativamente expressivos e compensatórios.

Foi considerado a alteração da tecnologia para sistema similar ao utilizados em diversas máquinas de lingotamento contínuo no Brasil e no mundo, onde os custos de manutenção são bem inferiores ao atualmente praticados, bem como o tempo de troca do conjunto de mesa de oscilação, reduzindo consideravelmente os impactos de perda de produção, além de eliminar a necessidade de limpeza das partes móveis do oscilador, pois estas são realizadas durante a troca do conjunto.

As trocas dos conjuntos do novo projeto, são realizadas em manutenções preventivas de rotina e já consideradas no plano de produção da empresa. Portanto, não impactando em perdas de produção para a troca do conjunto.

O novo sistema de oscilação será contemplado a troca do das mesas de oscilação, disponibilização de sobressalentes reservas para ciclo de troca, e modificações necessárias para a troca. Será considerado uma previsão orçamentária enviada por um fornecedor do sistema, além dos custos de engenharia e mão de obra para a implantação. Para a implantação deste item, o custo previsto para a implantação é de R\$11.312.500,00.

As manutenções são realizadas com os equipamentos sobressalentes, que na alteração do projeto, já serão contempladas na aquisição. Os custos de manutenção para o novo sistema de oscilação a ser considerado para os cálculos é de R\$200.000,00.

O custo de mão de obra e ferramental para a substituição do sistema de oscilação novo proposto é de R\$10.000,00. Este custo está considerando a atividade de troca com tempo total de execução de 6 horas de serviço com 2 mecânicos e 1 soldador.

4.7 CENÁRIOS POSSÍVEIS PARA A SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE OSCILAÇÃO

4.7.1 Cenário 1 – Troca das mesas de oscilação conforme planejamento estratégico

O planejamento estratégico da empresa foi definido a troca das mesas de oscilação nos anos de 2020 e 2021, ou seja, uma troca de mesa de oscilação de 1 veio de produção por ano.

Para da troca das mesas de oscilação nesta configuração realizaríamos a compra do par de sobressalentes de mesa de oscilação para então ser planejada a troca das mesas do veio 5 no ano de 2020 e a troca das mesas do veio 6 no ano de 2021. Os custos de manutenção e troca do conjunto estão contemplados no capítulo 4.6.1.2.

Considerando os valores atuais dos levantamentos de custos para a realização das manutenções, perda de produção e aquisições de equipamentos e para anos seguintes considerando uma taxa inflação anual de 7%.

Portanto teremos a seguinte distribuição de custos ao longo do ciclo de vida do equipamento, conforme Quadro A.

Quadro A – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 1.

Troca da mesa oscilador do Veio 5 com 1 conjunto sobressalente reserva para 1 veio.												
Sistema	Item	Investimento Inicial 2020	ANO 2021	ANO 2022	ANO 2023	ANO 2024	ANO 2025	ANO 2026	ANO 2027	ANO 2028	ANO 2029	ANO 2030
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Atual	Conjunto de Mesa de Oscilação Veio 5	-R\$5.200.000,00										
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 5 (material e Mão de obra)		-R\$214.000,00									
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 5 (Mão de obra, equipamentos)	-R\$2.000.000,00										
	Conjunto de Mesa de Oscilação Veio 6											
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 6	-R\$200.000,00										-R\$393.430,27
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 6 (Mão de obra, equipamentos)		-R\$2.140.000,00									
	Custo Limpeza Mesa Osciladora dos Veios 5 e 6		-R\$1.204.118,08	-R\$1.288.406,35	-R\$2.205.751,66	-R\$2.360.154,28	-R\$2.525.365,08	-R\$2.702.140,64	-R\$2.891.290,48	-R\$3.093.680,81	-R\$3.310.238,47	-R\$3.541.955,16
	Perda de Produção durante troca (considerando que já existe parada de 5 dias no ano na máquina)	-R\$8.440.080,00	-R\$9.030.885,60									
	Manutenção Cilindro Oscilador Veio 5		-R\$909.500,00			-R\$1.114.176,61			-R\$1.364.914,26			-R\$1.672.078,65
	Custo Troca do Cilindro Oscilador Veio 5		-R\$160.500,00			-R\$196.619,40			-R\$240.867,22			-R\$296.072,70
	Manutenção Cilindro Oscilador Veio 6			-R\$973.165,00			-R\$1.192.168,97			-R\$1.460.458,25		
	Custo Troca do Cilindro Oscilador Veio 6			-R\$171.735,00			-R\$210.382,76			-R\$257.727,93		
	Atualização sistema de controle do oscilador	-R\$1.000.000,00										
	Total ano a ano	-R\$16.840.080,00	-R\$13.659.003,68	-R\$2.493.306,35	-R\$2.205.751,66	-R\$3.670.950,29	-R\$3.927.916,81	-R\$2.702.140,64	-R\$4.497.071,96	-R\$4.811.866,99	-R\$3.310.238,47	-R\$5.902.536,79
	Total acumulado	-R\$16.840.080,00	-R\$30.499.083,68	-R\$32.992.390,03	-R\$35.138.141,69	-R\$38.809.091,98	-R\$42.737.008,79	-R\$45.439.149,43	-R\$49.936.221,39	-R\$54.748.088,37	-R\$58.058.326,84	-R\$63.960.863,64

Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

4.7.2 Cenário 2 – Troca das mesas de oscilação em parada única com aquisição de 1 sobressalente reserva para 1 veio.

O planejamento estratégico da empresa foi definido a troca das mesas de oscilação nos anos de 2020 e 2021, ou seja, uma troca de mesa de oscilação de 1 veio de produção por ano.

Porém para os estudos alternativos de troca da mesa de oscilação, avaliamos a possibilidade de manter a compra de 1 sobressalente e realizar a troca dos conjuntos de mesas de oscilação em uma única parada com o tempo mais prolongado. O tempo total para a troca de mesa de um veio, envio da mesa para a oficina para a manutenção e retornando para a troca do segundo veio.

Nesta configuração, temos o tempo de manutenção bem maior pois o tempo de manutenção da mesa seria incluso no tempo total de troca das mesas.

Inicialmente avaliando o tempo de execução, foi avaliado pelo especialistas e técnicos de confiabilidade que este tempo total de troca com a manutenção da mesa na oficina em 20 dia, eliminando a parada do ano seguinte. Os custos de manutenção e troca do conjunto estão contemplados no capítulo 4.6.1.2.

Considerando os valores atuais dos levantamentos de custos para a realização das manutenções, perda de produção e aquisições de equipamentos e para anos seguintes considerando uma taxa inflação anual de 7%.

Portanto teremos a seguinte distribuição de custos ao longo do ciclo de vida do equipamento, conforme Quadro B.

Quadro B – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 2.

Troca da mesa oscilador do Veio 5 e 6 com 1 conjunto sobressalente reserva para 1 veio.												
Sistema	Item	Investimento Inicial 2020	ANO 2021	ANO 2022	ANO 2023	ANO 2024	ANO 2025	ANO 2026	ANO 2027	ANO 2028	ANO 2029	ANO 2030
Atual	Conjunto de Mesa de Oscilação Veio 5	-R\$5.200.000,00	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 5 (material e Mão de obra)	-R\$200.000,00										
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 5 (Mão de obra, equipamentos)	-R\$2.000.000,00										
	Conjunto de Mesa de Oscilação Veio 6											
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 6											-R\$393.430,27
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 6 (Mão de obra, equipamentos)	-R\$1.000.000,00										
	Custo Limpeza Mesa Osciladora dos Veios 5 e 6		-R\$1.204.118,08	-R\$1.288.406,35	-R\$2.205.751,66	-R\$2.360.154,28	-R\$2.525.365,08	-R\$2.702.140,64	-R\$2.891.290,48	-R\$3.093.680,81	-R\$3.310.238,47	-R\$3.541.955,16
	Perda de Produção durante troca (considerando que já existe parada de 5 dias no ano na máquina)	-R\$16.880.160,00										
	Manutenção Cilindro Oscilador Veio 5		-R\$909.500,00			-R\$1.114.176,61			-R\$1.364.914,26			-R\$1.672.078,65
	Custo Troca do Cilindro Oscilador Veio 5		-R\$160.500,00			-R\$196.619,40			-R\$240.867,22			-R\$295.072,70
	Manutenção Cilindro Oscilador Veio 6			-R\$973.165,00			-R\$1.192.168,97			-R\$1.460.458,25		
	Custo Troca do Cilindro Oscilador Veio 6			-R\$171.735,00			-R\$210.382,76			-R\$257.727,93		
	Atualização sistema de controle do oscilador	-R\$1.000.000,00										
	Total ano a ano	-R\$26.280.160,00	-R\$2.274.118,08	-R\$2.433.306,35	-R\$2.205.751,66	-R\$3.670.950,20	-R\$3.927.916,81	-R\$2.702.140,64	-R\$4.497.071,96	-R\$4.811.866,99	-R\$3.310.238,47	-R\$5.902.536,79
	Total acumulado	-R\$26.280.160,00	-R\$28.554.278,08	-R\$30.987.584,43	-R\$33.193.336,09	-R\$36.864.286,38	-R\$40.792.203,19	-R\$43.494.343,83	-R\$47.991.415,78	-R\$52.803.282,77	-R\$56.113.521,24	-R\$62.016.058,04

Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

4.7.3 Cenário 3 – Troca das mesas de oscilação em parada única com aquisição de 2 sobressalente reserva para 2 veios.

O planejamento estratégico da empresa foi definido a troca das mesas de oscilação nos anos de 2020 e 2021, ou seja, uma troca de mesa de oscilação de 1 veio de produção por ano.

Porém para os estudos alternativos de troca da mesa de oscilação, avaliamos a possibilidade de manter a compra de 2 sobressalente e realizar a troca dos conjuntos de mesas de oscilação em uma única parada com o tempo mais prolongado. O tempo total para a troca de mesa dos 2 veio simultaneamente.

Nesta configuração, temos o tempo de implantação bem maior que o tempo previsto para a troca do conjunto original.

Inicialmente avaliando o tempo de implantação, foi avaliado pelo especialistas e técnicos de confiabilidade que este tempo total para a troca completa da mesa, comissionamento e testes.

Considerando os valores atuais dos levantamentos de custos para a realização das manutenções, perda de produção e aquisições de equipamentos e para anos seguintes considerando uma taxa inflação anual de 7%.

Portanto teremos a seguinte distribuição de custos ao longo do ciclo de vida do equipamento, conforme Quadro C.

Quadro C – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 3.

Troca da mesa oscilador do Veio 5 e 6 com 2 conjuntos sobressalentes reserva para 2 veios.												
Sistema	Item	Investimento inicial 2020	ANO 2021	ANO 2022	ANO 2023	ANO 2024	ANO 2025	ANO 2026	ANO 2027	ANO 2028	ANO 2029	ANO 2030
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Atual	Conjunto de Mesa de Oscilação Veio 5	-R\$5.200.000,00										
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 5 (material e Mão de obra)											-R\$393.430,27
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 5 (Mão de obra, equipamentos)	-R\$2.000.000,00										
	Conjunto de Mesa de Oscilação Veio 6	-R\$5.200.000,00										
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 6											-R\$393.430,27
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 6 (Mão de obra, equipamentos)	-R\$1.000.000,00										
	Custo Limpeza Mesa Osciladora dos Veios 5 e 6		-R\$1.204.118,08	-R\$1.288.406,35	-R\$2.205.751,66	-R\$2.360.154,28	-R\$2.525.365,08	-R\$2.702.140,64	-R\$2.891.290,48	-R\$3.093.680,81	-R\$3.310.238,47	-R\$3.541.955,16
	Perda de Produção durante troca (considerando que já existe parada de 5 dias no ano na máquina)	-R\$14.348.136,00										
	Manutenção Conjunto Oscilador Veio 5		-R\$909.500,00			-R\$1.114.176,61			-R\$1.364.914,26			-R\$1.672.078,65
	Custo Troca do Cilindro Oscilador Veio 5		-R\$160.500,00			-R\$196.619,40			-R\$240.867,22			-R\$295.072,70
	Manutenção Conjunto Oscilador Veio 6			-R\$973.165,00			-R\$1.192.168,97			-R\$1.460.458,25		
	Custo Troca do Cilindro Oscilador Veio 6			-R\$171.735,00			-R\$210.382,76			-R\$257.727,93		
	Atualização sistema de controle do oscilador	-R\$1.000.000,00										
	Total ano a ano	-R\$28.748.136,00	-R\$2.274.118,08	-R\$2.433.306,35	-R\$2.205.751,66	-R\$3.670.950,29	-R\$3.927.916,81	-R\$2.702.140,64	-R\$4.497.071,96	-R\$4.811.866,99	-R\$3.310.238,47	-R\$6.295.967,06
	Total acumulado	-R\$28.748.136,00	-R\$31.022.254,08	-R\$33.455.560,43	-R\$35.661.312,09	-R\$39.332.262,38	-R\$43.260.179,19	-R\$45.962.319,83	-R\$50.459.391,78	-R\$55.271.258,77	-R\$58.581.497,24	-R\$64.877.464,31

Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

4.7.4 Cenário 4 – Troca do sistema completo de oscilação considerando implantação com parada específica para a instalação.

Nesse cenário, avaliamos a troca completa do sistema de oscilação por um sistema de mais fácil manutenção e custos de manutenção menor que o atual.

Existem outros sistemas de oscilação que proporcionam um tempo bem inferior de manutenção e sem necessidade de grandes paradas para a realização de manutenção. Estes sistemas possuem grande confiabilidade e necessitam de manutenções específicas de baixa complexidade que geram um baixo custo de manutenção e perda de produção.

Nesta configuração, será necessária uma parada para a implantação do novo sistema que após implantado não demandará em momento algum um tempo grande de parada para a manutenção. Todo tipo de manutenção a ser realizado deverá ser feito durante as manutenções preventivas que são atualmente realizadas de 60 em 60 dias.

Inicialmente avaliando o tempo de execução, foi avaliado pelo especialistas e técnicos de confiabilidade que este tempo total de troca com a manutenção da mesa na oficina em 17 dias, eliminando a parada do ano seguinte. Os custos de manutenção e troca do conjunto estão contemplados no capítulo 4.6.1.5.

Considerando os valores atuais dos levantamentos de custos para a realização das manutenções, perda de produção e aquisições de equipamentos e para anos seguintes considerando uma taxa inflação anual de 7%.

Portanto teremos a seguinte distribuição de custos ao longo do ciclo de vida do equipamento, conforme Quadro D.

Quadro D – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 4.

Troca do Sistema completo oscilador do Veio 5 e 6 (sem considerar atualização tecnológica de 2023)												
Sistema	Item	Investimento Inicial 2020	ANO 2021	ANO 2022	ANO 2023	ANO 2024	ANO 2025	ANO 2026	ANO 2027	ANO 2028	ANO 2029	ANO 2030
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Novo	Novo projeto de oscilação para MLC#3	-R\$7.312.500,00										
	Engenharia, Mão de obra e implantação	-R\$4.000.000,00										
	Perda de produção para implantação Novo Sistema Oscilação (17 dias)	-R\$21.944.208,00										
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 5 (material e Mão de obra)			-R\$228.980,00		-R\$262.159,20		-R\$300.146,07		-R\$343.637,24		-R\$393.430,27
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 5 (Mão de obra, equipamentos)			-R\$11.449,00		-R\$13.107,96		-R\$15.007,30		-R\$17.181,86		-R\$19.671,51
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 6 (material e Mão de obra)			-R\$228.980,00		-R\$262.159,20		-R\$300.146,07		-R\$343.637,24		-R\$393.430,27
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 6 (Mão de obra, equipamentos)			-R\$11.449,00		-R\$13.107,96		-R\$15.007,30		-R\$17.181,86		-R\$19.671,51
	Total ano a ano	-R\$33.256.708,00	R\$0,00	-R\$480.858,00	R\$0,00	-R\$550.534,32	R\$0,00	-R\$630.306,75	R\$0,00	-R\$721.638,20	R\$0,00	-R\$826.203,57
	Total acumulado	-R\$33.256.708,00	-R\$33.256.708,00	-R\$33.737.566,00	-R\$33.737.566,00	-R\$34.288.100,32	-R\$34.288.100,32	-R\$34.918.407,07	-R\$34.918.407,07	-R\$35.640.045,27	-R\$35.640.045,27	-R\$36.466.248,84

Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

4.7.5 Cenário 5 – Troca do sistema completo de oscilação considerando implantação durante atualização tecnológica prevista no plano estratégico da empresa em 2023.

Nesse cenário, avaliamos a troca completa do sistema de oscilação por um sistema de mais fácil manutenção e custos de manutenção menor que o atual, sendo esta implantação realizada durante a atualização tecnológica que tem previsão de execução em 2023, então desta forma, não impactando na produção da máquina.

Considerando os valores atuais dos levantamentos de custos para a realização das manutenções, perda de produção e aquisições de equipamentos e para anos seguintes considerando uma taxa inflação anual de 7%.

Portanto teremos a seguinte distribuição de custos ao longo do ciclo de vida do equipamento, conforme Quadro E.

Quadro E – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 5.

Troca do Sistema completo oscilador do Veio 5 e 6 (Considerando Atualização tecnológica de 2023)												
Sistema	Item	Investimento Inicial 2023	ANO 2024	ANO 2025	ANO 2026	ANO 2027	ANO 2028	ANO 2029	ANO 2030	ANO 2031	ANO 2032	ANO 2033
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Novo	Novo projeto de oscilação para MLC#3	-R\$7.212.500,00										
	Engenharia, Mão de obra e implantação	-R\$4.000.000,00										
	Perda de produção para implantação Novo Sistema Oscilação (17 dias)	R\$0,00										
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 5 (material e Mão de obra)			-R\$228.980,00		-R\$262.159,20		-R\$300.146,07		-R\$343.637,24		-R\$393.430,27
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 5 (Mão de obra, equipamentos)			-R\$11.449,00		-R\$13.107,96		-R\$15.007,30		-R\$17.181,86		-R\$19.671,51
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 6 (material e Mão de obra)			-R\$228.980,00		-R\$262.159,20		-R\$300.146,07		-R\$343.637,24		-R\$393.430,27
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 6 (Mão de obra, equipamentos)			-R\$11.449,00		-R\$13.107,96		-R\$15.007,30		-R\$17.181,86		-R\$19.671,51
	Total ano a ano	-R\$11.312.500,00	R\$0,00	-R\$480.858,00	R\$0,00	-R\$550.534,32	R\$0,00	-R\$630.306,75	R\$0,00	-R\$721.638,20	R\$0,00	-R\$826.203,57
	Total acumulado	-R\$11.312.500,00	-R\$11.312.500,00	-R\$11.793.358,00	-R\$11.793.358,00	-R\$12.343.892,32	-R\$12.343.892,32	-R\$12.974.199,07	-R\$12.974.199,07	-R\$13.695.837,27	-R\$13.695.837,27	-R\$14.522.040,84

Fonte: Fernando Milagres de Aguiar, Weibull ++ (2019).

4.7.6 Cenário 6 – Troca das mesas de oscilação em parada única sem aquisição de sobressalente reserva e realizando a retirada dos conjuntos para reparo e remontagem durante a atualização tecnológica de 2023.

O planejamento estratégico da empresa foi definido a troca das mesas de oscilação nos anos de 2020 e 2021, ou seja, uma troca de mesa de oscilação de 1 veio de produção por ano.

Atualmente existe um plano de inspeção preditiva para acompanhamento das folgas dos rolamentos da mesa de oscilação, que vem apresentando uma folga máxima de 0,03 mm para um aceitável de 0,10 mm conforme recomendado pelo fabricante. Este levantamento nos indica que desde a último levantamento

realizando em 2014, mantendo a mesma folga, indicando que o equipamento tem uma sobrevida e que atualmente com o levantamento não é necessário a troca da mesa no próximo ano. Com esta condição, identificamos a possibilidade de postergar a troca da mesa para realizar conjuntamente com a parada de máquina para atualização tecnológica a ser realizada em 2023 conforme planejamento estratégico.

Para a troca em 2023, não teríamos a perda de produção, pois toda a desmontagem das mesas de oscilação, manutenção na oficina e montagem dos conjuntos recuperados seriam realizadas dentro do período de atualização tecnológica.

Os custos de manutenção e troca do conjunto estão contemplados no capítulo 4.6.1.2.

Considerando os valores atuais dos levantamentos de custos para a realização das manutenções, perda de produção e aquisições de equipamentos e para anos seguintes considerando uma taxa inflação anual de 7%.

Portanto teremos a seguinte distribuição de custos ao longo do ciclo de vida do equipamento, conforme Quadro F.

Quadro F – Demonstrativo de custos anuais para o Cenário 6.

Troca da mesa oscilador do Veio 5 e 6 sem conjunto sobressalente reserva - Atualização tecnológica de 2023).												
Sistema	Item	Investimento Inicial 2023	ANO 2024	ANO 2025	ANO 2026	ANO 2027	ANO 2028	ANO 2029	ANO 2030	ANO 2031	ANO 2032	ANO 2033
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Atual	Conjunto de Mesa de Oscilação Veio 5											
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 5 (material e Mão de obra)	-R\$200.000,00										
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 5 (Mão de obra, equipamentos)	-R\$2.000.000,00										
	Conjunto de Mesa de Oscilação Veio 6											
	Manutenção Mesa de oscilação Veio 6	-R\$200.000,00										-R\$393.430,27
	Custo Troca Mesa Oscilação Veio 6 (Mão de obra, equipamentos)	-R\$1.000.000,00										
	Custo Limpeza Mesa Osciladora dos Veios 5 e 6		-R\$1.926.588,93	-R\$2.061.450,15	-R\$2.205.751,66	-R\$2.360.154,28	-R\$2.525.365,08	-R\$2.702.140,64	-R\$2.891.290,48	-R\$3.093.680,81	-R\$3.310.238,47	-R\$3.541.955,16
	Manutenção Cilindro Oscilador Veio 5		-R\$909.500,00			-R\$1.114.176,61			-R\$1.364.914,26			-R\$1.672.078,65
	Custo Troca do Cilindro Oscilador Veio 5		-R\$160.500,00			-R\$196.619,40			-R\$240.867,22			-R\$295.072,70
	Manutenção Cilindro Oscilador Veio 6			-R\$973.165,00			-R\$1.192.168,97			-R\$1.460.458,25		
	Custo Troca do Cilindro Oscilador Veio 6			-R\$171.735,00			-R\$210.382,76			-R\$257.727,93		
	Total ano a ano	-R\$3.400.000,00	-R\$2.996.588,93	-R\$3.206.350,15	-R\$2.205.751,66	-R\$3.670.950,28	-R\$3.927.916,81	-R\$2.702.140,64	-R\$4.497.071,96	-R\$4.811.866,99	-R\$3.310.238,47	-R\$5.902.536,79
	Total acumulado	-R\$3.400.000,00	-R\$6.396.588,93	-R\$9.602.939,08	-R\$11.808.690,74	-R\$15.479.641,03	-R\$19.407.557,85	-R\$22.109.698,48	-R\$26.606.770,44	-R\$31.418.637,43	-R\$34.728.875,90	-R\$40.631.412,69

Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

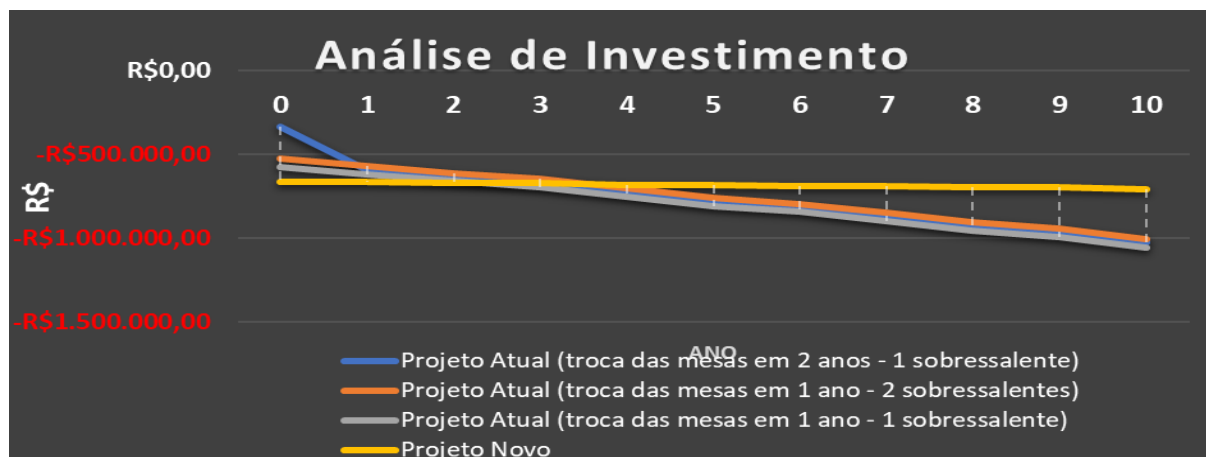
4.8 AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE E ANÁLISE DE CUSTOS DE VIDA

4.8.1 Avaliação de custos com manutenção / implantação de todos os cenários possíveis com inclusão de paradas exclusivas para a manutenção e troca.

Para esta avaliação, serão realizadas as avaliações com a inclusão dos cenários 1, 2, 3 e 4.

Conforme figura T observamos o comportamento de custos ao longo da vida da mesa osciladora (10 anos – orientação do fornecedor do equipamento).

Gráfico 1 – Gráfico de custos de vida estimada pela mesa osciladora



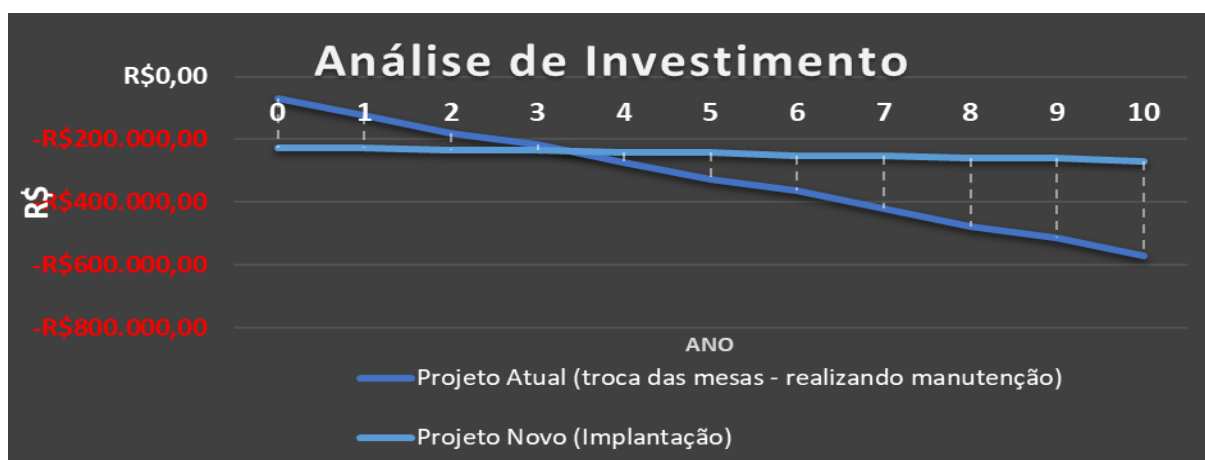
Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

4.8.2 Avaliação de custos com manutenção / implantação dos cenários possíveis aproveitando a parada de máquina para atualização tecnológica prevista para 2023.

Para esta avaliação, serão realizadas as avaliações com a inclusão dos cenários 5 e 6.

Os cenários foram considerados as condições atuais dos conjuntos de mesas de oscilação de ambos os veios de produção, considerando todo acompanhamento de folgas existentes nos rolamentos realizados nos acompanhamentos de inspeção sensitiva e preditiva. A figura R demonstrará os custos ao longo da vida do oscilador bem como todas as perdas de produção atreladas as manutenções e limpezas necessárias para o perfeito funcionamento do sistema.

Gráfico 2 - Gráfico de custos de vida estimada pela mesa osciladora considerando as manutenções e implantação em 2023.



Fonte: Fernando Milagre de Aguiar, Weibull ++ (2019).

5 CONCLUSÃO

5.1 CONCLUSÃO INICIAL

Com as análises realizadas, identificamos que atualmente temos um sistema de oscilação com grande confiabilidade e que vem se degradando aos longos dos 11 anos de operação.

O equipamento que vem demonstrando alguns comportamentos de decréscimo de confiabilidade é o do sistema de controle de oscilação. Por se tratar de equipamento fora de linha (obsoleto), e que as suas falhas são ocultas e em grande parte das vezes não é identificada a causa raiz do problema (sistema eletrônico), que dificulta na análise do problema e a ausência de sobressalentes para aquisição, o projeto vem ficando com sua deficiência ainda mais evidente ao longo dos anos.

Nas análises LDA realizadas para o cilindro de oscilação hidráulico, foi verificado que o plano de manutenção aplicado no sistema após a implantação do RCM está um pouco deficiente, pois o tempo de vida projetado pela análise realizada é bem superior a adotada pela manutenção e informada pelo fabricante. Outro ponto que foi percebido durante os estudos e levantamentos foram que os dados de vida, está com tempo em dias de operação, que não considera algumas

possíveis paradas de equipamentos ou ociosidades em função da demanda do mercado de aço.

Para a análise de LCCA realizada, foi identificado que o projeto atual apesar de ser de grande confiabilidade, apresenta altos custos de manutenção e operação, com grandes perdas de produção, que acaba elevando exponencialmente os custos diretos do equipamento, ainda que não é considerado os tempos de perda de produtividade em caso de falhas.

Estes altos custos de manutenção nos indicou uma avaliação mais detalhada de formas de manutenção e de equipamentos similares utilizados atualmente em diversas máquinas de lingotamento contínuo no Brasil e no mundo, que possuem a mesma ou maior confiabilidade do sistema atualmente utilizado.

Para as análises de custos de vida, foram avaliadas duas condições básicas para os cálculos:

- Previsão de troca pelo planejamento estratégico da Planta para manutenção das mesas nos anos de 2020 e 2021. Sendo que estas paradas impactarão diretamente nas perdas de produção e gerando altos custos para esta troca.
- Previsão de atualização tecnológica prevista no plano estratégico para 2023. Para esta condição, a troca das mesas de oscilação serão realizadas sem perda de produção.

Analisando estas condições, verificamos que existiam duas oportunidades para a realização da troca das mesas de oscilação, uma delas dentro das datas planejadas para a troca em 2020 e 2021 (inicialmente planejada conforme vida estimada do conjunto pelo fabricante) e outra oportunidade na parada para atualização tecnológica de 2023, porém a segunda opção, precisaríamos garantir que o equipamento está em condições de funcionar sem falhas até a data prevista para esta atualização tecnológica. Atualmente temos a condição de avaliação preditiva dos rolamentos da mesa de oscilação com as medições periódicas de folgas conforme procedimento de checagem solicitado pelo fabricante.

Esta condição de folga avaliada durante as manutenções tem mostrado um limite de folga bem abaixo do limite especificado pelo equipamento e sua evolução não existiu nos últimos 3 anos, mantendo a condição e nos indicando que será possível esta postergação da troca do equipamento para o ano de 2023.

Outro ponto avaliado é a possibilidade de implantação de tecnologia mais atual e de fácil manutenção e com custos bem inferiores ao atualmente praticado. Esta alteração também foi considerada para os custos de vida do sistema e que será considerado na conclusão final.

Todas as possibilidades foram consideradas para a manutenção da mesa de oscilação atual e a troca dos conjuntos tanto com paradas específicas para estas manutenções e implantações, quanto a inclusão da manutenção / implantação durante a atualização tecnológica.

As comparações foram divididas considerando as seguintes condições:

- Manutenção ou investimento entre 2020 e 2022 (gerando perda de produção).
 - Substituição das mesas de oscilação em duas paradas distintas em anos sequentes e com 1 sobressalente reserva.
 - Substituição das mesas de oscilação em uma parada, com aquisição de 1 sobressalente reserva.
 - Substituição das mesas de oscilação em uma parada, com aquisição de 2 sobressalentes reservas.
 - Alteração do sistema completo de oscilação por tecnologia mais atual e de menor custo de manutenção.

- Manutenção ou investimento em 2023 (sem perda de produção).
 - Substituição das mesas de oscilação durante a parada, sem necessidade de aquisição de sobressalente reserva.
 - Alteração do sistema completo de oscilação por tecnologia mais atual e de menor custo de manutenção.

Comparando as condições possíveis de manutenção e implantação dentro das condições atuais dos equipamentos instalados, verificamos a que possui maior retorno de investimento TIR é a implantação do novo sistema de oscilação durante a atualização tecnológica de 2023, mantendo os acompanhamentos conforme plano de manutenção atual.

Para finalização completa desta avaliação deverá ser realizado uma visita técnica nas empresas que utilizam o equipamento de oscilação atual, para verificar os pontos de perda de produção atualmente praticados nas demais plantas e

verificar se existe possibilidade de realizar alguma modificação a fim de se evitar a perda de produção com as limpezas periódicas, que fundamentalmente são responsáveis pelo alto custo avaliado durante a análise LCCA.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Baseados nos estudos realizado com a pesquisa desenvolvida por este trabalho, será realizado uma avaliação completa dos demais equipamentos de alta complexidade na planta do lingotamento, para avaliar possibilidades de ganhos e melhora na condição de manutenção dos equipamentos.

O trabalho será apresentado a alta diretoria da empresa para validação e apreciação de inclusão nos estudos *CAPEX* identificados pela empresa.

REFERÊNCIAS

ABREU, José C. Matemática Financeira. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2011.

BARRINGER, H.Paul; WEBER, David P. Life cycle cost tutorial. Houston, Estados Unidos: Gulf Publishing Company, 1996.

Manual SPCO – Máquina de lingotamento contínuo 3 – 2007

IBS Revista, 1980

CHEVRAND, L. J. S. (Coord), REIS, G. O. N. dos (Coord) Lingotamento Contínuo de Billets. Curso Associação Brasileira de Metais – ABM. São Paulo, 1989.

MENEZES, R. A. et al. Estudo Técnico-Econômico sobre Lingotamento Contínuo. Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS, Agosto – 1973.

ARAÚJO, L. A. de Manual de Siderurgia. São Paulo: Editora Arte & Ciência, 2005.

KOMMA, G., RUGER, B. Designing slab casting machines for high productivity. Iron and Steel International, Dezembro 1978, vol. 51, nº 6, p. 373.

CHEVRAND, L. J. S. (Coord), REIS, G. O. N. dos (Coord) Lingotamento Contínuo de Billets. Curso Associação Brasileira de Metais – ABM. São Paulo, 1989.

Manual de Manutenção do Lingotamento 3 – ArcelorMittal Tubarão (2007).

Adaptado de Meng, 2003

Johnson, Norman L.; Kotz, Samuel; Balakrishnan, N. - Continuous univariate distributions. Vol. 1, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics: Applied Probability and Statistics (2nd ed) (1994).

Davis Langdon Management Consulting. "Life Cycle Costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology". 2007.