



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA E GESTÃO
INDUSTRIAL

**ESTUDO DE INTEGRIDADE DA CONDUTA PARA TRANSPORTE DE
ÁGUA PARA O ARREFECIMENTO DE LINGOTES NA SALA DE
MOLDAGEM (CASTHOUSE)**

Discente:

Fáuzia Solange Amós Nhaca

Supervisor (s)

Eng. Roberto Luciano David

Eng. João Mendonça

Julho de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA E GESTÃO
INDUSTRIAL

**ESTUDO DE INTEGRIDADE DA CONDUTA PARA TRANSPORTE DE
ÁGUA PARA O ARREFECIMENTO DE LINGOTES NA SALA DE
MOLDAGEM (CASTHOUSE)**

Discente:

Fáuzia Solange Amós Nhaca

Supervisor (s)

Supervisor da Faculdade

Eng. Roberto Luciano David

Supervisor da empresa

Eng. João Mendonça

Julho de 2022



Estudo de integridade do tubo de fornecimento de água para a Casthouse

Fauzia Solange Amós Nhaca

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	III
ÍNDICE DE TABELAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VII
LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS	VIII
RESUMO	IX
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução	1
1.2 Problemática	2
1.3 Problema	2
1.4 Objetivo geral	3
1.5 Objetivos específicos	3
1.6 Hipótese/proposições	3
1.7 Perguntas da investigação	3
1.8 A importância ou razões que motivam o estudo:	4
1.9 Estrutura do trabalho	4
CAPÍTULO 2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Definição de bauxite	5
2.1.1 Conceitos básicos	5
2.1.2 Teorias principais	5
2.1.3 Evolução histórica do objecto	8
2.1.3.1 História da Invenção e Inovação da Produção de Alumínio	8
2.1.3.2 A invenção do ânodo de Söderberg em 1919	10
2.1.3.3 Introdução ao controle por computador de pote	12
2.1.3.4 Redução da alumina	13
2.1.3.5 Processo de cloreto de alumínio	13
2.1.3.6 A fundição	14
2.1.3.7 Fundição por moldes permanentes por gravidade	15
2.1.3.8 Lingotes	16
2.1.3.9 A corrosão	16
2.1.3.10. Causas de corrosão	16
2.1.3.11. Corrosão de Ferro	16
CAPÍTULO 3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO	17
3.1 Localização Geográfica da Mozal	17
3.2 Processo de Obtenção de Alumínio	17
3.3 Mineração	18
3.4 Refinaria	19
3.5 Redução	19
3.6 Estudo do problema e justificativa	21
3.7 Processo de arrefecimento de água na Casthouse	22
3.8 Significado de <i>Asset Integrity</i>	23
CAPÍTULO 4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL	25

A metodologia de avaliação de integridade estrutural se divide basicamente em 3 etapas:	25
4.1 Etapa de Planejamento para o estudo de integridade de uma estrutura metálica 26	
4.2 Etapa de Inspeção	27
4.3 Etapa de análise dos resultados	28
4.4 Análise dimensional por ultrassom no tubo de transporte de água	28
4.4.1 Calibração de um aparelho ultrassónico de medição de espessura	30
4.4.2 Definição de corrosão	34
4.4.3 Corrosão no cordão de soldadura	35
CAPÍTULO 5 APRESENTAÇÃO ANÁLISE DE RESULTADOS	37
5.1 Cálculos para a determinação do tempo de vida útil da conduta.....	37
5.3 Cálculo da Longevidade considerando somente o efeito da corrosão.....	38
5.4 Cálculo da taxa de corrosão na calculadora Inventor autodesk.....	39
5.4.1 Condições de funcionamento.....	40
5.4.1.2 Faces selecionadas	40
5.4.1.3Resumo de resultados	40
5.4.2.4 Cálculos de flexão	43
5.4.2.5 Objetivo geral e configurações:.....	44
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES E RECOMENDACÕES	46
6.1 Conclusões.....	46
6.2 Recomendações	46
6.3 Limitações da pesquisa.....	47
6.4 Sugestões para futuros trabalhos	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	51

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me abençoado até ao dia de hoje, agradeço ao meu pai Amosse Joel Nhaca e Felizarda Joaquim por terem me ensinado o valor da escola, a importância de fazer a faculdade.

Agradeço a Mozal pela oportunidade de estágio, agradeço ao departamento de Engenharia da Mozal e todos que contribuíram com o processo de aprendizagem durante o estágio, agradeço ao supervisor de estágio pela Mozal Eng. João Mendonça e ao supervisor de estágio pela faculdade Eng. Roberto David.

Agradeço a minha família pelo suporte imensurável para que pudesse terminar os meus estudos.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Fázia Solange Amós Nhaca declaro por minha honra que o presente Projecto Final do Curso é exclusivamente de minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Assinatura: _____

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Lista de países maiores produtores de bauxita de 2007, baseada principalmente nos dados do Serviço Geológico Britânico de setembro de 2010.

Tabela 2 Fontes de energia para mineração de bauxita e transporte até o ponto de embarque.

Tabela 3 Parâmetros técnicos do aparelho de medição de espessura usado.

Tabela 4 Instrução de calibração usada para a calibração de aparelho de medição de espessura.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Contexto do SAMP dentro da Estrutura do Documento de Gerenciamento de Ativos.

Figura 2 Esquema de produção de alumínio.

Figura 3 Exemplo de uma sala de fornos de redução.

Figura 4 Exemplo de um diagrama de redução.

Figura 5 Esquema do sistema de arrefecimento de água para a Casthouse.

Figura 6 Foto do aparelho ultrassónico de medição de espessura.

Figura 7 Cabeçote padrão.

Figura 8 Exemplo de uma corrosão interna uniforme por Pitting.

Figura 9 Foto de corrosão na zona da solda no tubo de transporte de água para a Casthouse.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Gráfico das leituras realizadas.

LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS

SAMP	Plano estratégico de gestão de ativos;
AIM	Asset integrity management;
CSM	Monitoramento de condição e integridade estrutural;
RBI	Realizar inspeção baseada em risco;
GTC	Centros de tratamento de gases;
PTMs	Introdução de máquinas de tratamento de vasos polivalentes;
VS	Pino vertical;
PWA	Média ponderada de produção;
EUA	Estados Unidos da America;
PAH	aromáticos policíclicos hidrocarbonetos;
PFC	Perfluoro carbonos;
PLC	Controladores Lógicos Programáveis;
ARP	Advanced Reactor Process;
AIM	Asset Integrity Management;
AP3XLE	Tecnologia usada na Mozal para produção do alumínio;
RBI	Realizar inspeção baseada em risco

RESUMO

Quando se trata de estudo de integridade de um activo de extrema importância como o conduta de transporte de água para a *Casthouse*, é importante que seja feito um estudo minucioso, justamente porque qualquer falha que possa ocorrer no funcionamento do mesmo pode resultar em grandes perdas monetárias para a fábrica, pode significar a paragem na produção do alumínio por várias horas o que pode incrementar o custo de produção de cada lingote.

Por isso este estudo deve garantir uma operação segura durante o tempo de vida útil do mesmo.

Um dos dados que permite estimar a integridade de uma conduta de transporte de água é o nível de perda da espessura que tem ocorrido durante os anos de funcionamento a qual se pode obter de diversas formas, dentre elas a medição de espessura ao longo dos anos, para o nosso caso que não possuímos as taxas de perdas de espessura durante os anos de funcionamento que são os níveis de perdas de espessura que o conduta foi perdendo anualmente, iremos nos cingir em estimar o tempo de vida útil através de cálculos da capacidade e resistência da conduta com a espessura actual.

Também faremos o cálculo das forças que actuam no tubo de acordo com as actuais condições de funcionamento.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

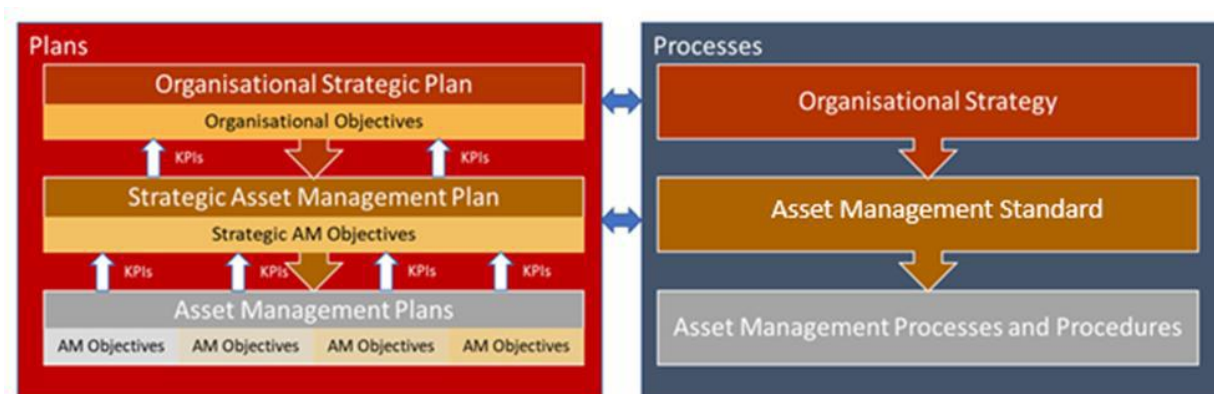
1.1 Introdução

A técnica de avaliação de integridade estrutural é o resultado de vários procedimentos multidisciplinares que permitem estabelecer o estágio de dano em que uma estrutura se encontra, com a finalidade de prever seu comportamento futuro. Desse jeito, pode-se ampliar o período de funcionamento seguro (vida residual) de uma unidade de transporte de água. Nos últimos anos a extensão de vida útil de uma estrutura metálica tem se mostrado extremamente importante e interessante não só pelos custos que pode significar a troca efectiva de urgência de um determinado ativo assim como na facilidade na planificação da manutenção.

A gestão de ativos é a atividade coordenada de uma organização para obter valor de seus ativos, gestão de ativos compreende um conjunto coordenado de atividades voltadas para extrair valor dos ativos da empresa. Isso inclui o balanceamento de custos, oportunidades e riscos frente à performance que se espera desses activos para que sejam alcançados os objetivos da organização. A Mozal possui um plano estratégico de gestão de ativos (SAMP) que define explicitamente quais iniciativas estratégicas.

Figura 1

Contexto do SAMP dentro da Estrutura do Documento de Gerenciamento de Ativos.



Fonte: (Mozal SAMP Strategic Asset Management Plan)

Com a evolução das leis que protegem o meio ambiente e o envelhecimento das estruturas, equipamentos condutas que compõem uma indústria, tornou-se necessário garantir sua integridade, evitando-se acidentes com prejuízos econômicos e ambientais. Para assegurar a

Estudo de integridade da conduta de transporte de água para o arrefecimento de lingotes

continuidade operacional dessas linhas com razoável nível de segurança, foram desenvolvidos métodos para avaliação estrutural dos mesmos baseados nos tipos de defeitos.

1.2 Problemática

Para o funcionamento de uma indústria transformadora é necessário que vários activos que condicionam o seu pleno funcionamento estejam a funcionar devidamente para que se possa evitar perdas de matéria-prima, prejuízos avultados devido a uma paragem não prevista dos equipamentos, que normalmente acarretam custos de reposição.

1.3 Problema

O objectivo da avaliação de integridade estrutural é garantir uma operação confiável e segura além de minimizar os danos ao meio ambiente evitando acidentes com prejuízos económicos. Seu custo, entretanto, deve ser minimizado, já que o mesmo está em torno de 2% do valor da fábrica industrial. Um programa de extensão de vida útil, por sua vez, custa de 20 a 30% do valor de construção de uma fábrica nova. Os benefícios indiretos de uma avaliação de integridade são mais difíceis de serem quantificados e comparados com as despesas históricas, mas, costumam ser maiores que os benefícios diretos, tais como (ABRAM NA, RJ 1997):

- Eliminação de paragens não programadas e seus custos,
- Redução de estoques de peças e materiais sobressalentes,
- Redução na contratação de seguros,
- Redução do risco de acidentes com vítimas e contaminação ambiental e
- Aumento do intervalo entre paradas programadas de manutenção.

Os pontos determinantes para a tomada de decisão de se realizar uma avaliação de integridade são:

A estrutura atinge um tempo de vida em que uma avaliação de integridade se faz necessária:

Seja por recomendações do fabricante;

- Por norma na qual o projeto se baseou;
- Ocorrência de um acidente em uma estrutura similar;

- Constatação do surgimento de trincas a partir de inspeções periódicas e aumento dos custos de manutenção;
- Mudanças nos níveis de solicitações, tipos de atividades e redirecionamento de uso da estrutura;
- Mudança nos riscos envolvidos com a operação, por exemplo, a ocorrência de crescimento populacional em torno da unidade; (ABRAM NA, RJ 1997):

1.4 Objetivo geral

Avaliação da integridade estrutural da conduta de transporte de água para o arrefecimento de lingotes na Casthouse.

1.5 Objetivos específicos

- Determinar a pressão interna na conduta.
- Determinar Tensão máxima de flexão que a conduta está sujeita entre os suportes.
- Determinar a espessura mínima devido a pressão interna.
- Estimar o tempo de vida útil da conduta.

1.6 Hipótese/proposições

Trata-se uma conduta de transporte de água que esta a funcionar por mais de 20 anos, o que indica que pode estar na fase da sua substituição ou fase de uma manutenção mais profunda, dependendo dos resultados que serão obtidos nesta investigação, as recomendações poderão variar de substituição de alguns troços que estejam em estado crítico ou a sua substituição completa.

1.7 Perguntas da investigação

- 1) Quantos anos de funcionamento tem o activo em estudo?
- 2) Quais são as condições de funcionamento do activo ?
- 3) Já houve alguma avaria ou paragem do activo?

1.8 A importância ou razões que motivam o estudo:

As razões que motivam o estudo deste activo é a grande importância que ele tem para o funcionamento da fábrica, a sua importância e imprescindível para produção de lingotes.

1.9 Estrutura do trabalho

O presente trabalho subdividido em cinco capítulos no qual o primeiro capítulo será a parte introdutória fazendo uma breve apresentação do que vai ser o tema em desenvolvimento e quais os resultados esperados após o término da pesquisa, farão parte também da parte introdutória a apresentação do problema os objectivos gerais e específicos da investigação.

O segundo capítulo irá se dedicar em apresentar parte da bibliografia que foi usada durante o desenvolvimento do tema.

O terceiro capítulo se fará a contextualização do elemento que se pretende investigar e quais as motivações para este elemento ser investigado.

No quarto capítulo será feito e dedicado a apresentação, da metodologia que foi usada para a o desenvolvimento do trabalho e uma explicação do que tipo de investigação está a ser desenvolvida os métodos a serem usados na investigação, procedimento que será usado para a recolha dos dados e o procedimento que foi usado para os cálculos.

No quinto capítulos dedica-se aos cálculos da estimativa da vida útil da conduta, apresentação dos resultados alcançados com a pesquisa, análise dos dados.

Por fim o sexto capítulo dedica-se-a conclusões e recomendações.

CAPÍTULO 2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Definição de bauxite

É uma rocha com a aparência de argila, mas sem plasticidade, constituída de hidróxidos de alumínio e óxidos de alumínio hidratados, e contendo impurezas, como sílica em estado livre, lodo, hidróxido de ferro e minerais argilosos [Formada em climas tropicais e subtropicais por intemperismo sobre rochas aluminosas através da lixiviação da sílica, é principal fonte de alumínio e matéria-prima para a fabricação de sulfato de alumínio, cimento aluminoso e refratários aluminosos. (Monte, M. B. M. E Adamian, R. (1994)).

O alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre (mais de 7% em peso) e o terceiro elemento mais abundante de todos os elementos (depois do oxigênio e do silício), com reservas economicamente disponíveis para abastecer pelo menos mais 300anos de demanda actual. No entanto, devido à sua química reatividade é encontrado principalmente em sua forma oxidada (aprox. 250 existem diferentes minerais) e quase nunca ocorre no estado elementar. O grupo mais proeminente de alumínio contendo minerais são os silicatos, e os produtos de seu intemperismo, as argilas. No que diz respeito à produção de alumínio, são os hidróxidos de alumínio que representam os compostos importantes. Os hidróxidos e os minerais bauxite gibbsita, boemista e diásporo são a matéria-prima básica para produção de alumínio primário. Ocorrem como intemperismo produto da base rochosa de baixo teor de ferro e sílica em clima tropical condições. (Fourth Sustainable Bauxite Mining Report2008).

2.1.1 Conceitos básicos

2.1.2 Teorias principais

2.1.2.1 Produção de bauxite

Em 2012 as reservas mundiais de bauxita somaram 25,8 bilhões de toneladas. O país que mais detém reservas é a Guiné com 7,4 bilhões de toneladas, seguida da Austrália com 6 bilhões de toneladas, pelo Vietnã com 2,1 bilhões de toneladas, Jamaica com 2 bilhões de toneladas e Indonésia com 1 bilhão de toneladas. No caso do Brasil, as reservas lavráveis são da ordem de 590 milhões de toneladas, localizadas principalmente no Estado do Pará. A produção mundial de bauxita atingiu em 2012 cerca de 260 Mt, sendo o Brasil responsável pela produção de 33 Mt ou 12,7% da produção mundial, o que demonstra estabilidade da produção ante 2011. O

maior produtor mundial continua sendo a Austrália, tendo produzido em 2012 cerca de 73 Mt ou 28% da produção mundial, em seguida aparece a China com 18,4%, a Indonésia com 11,5%, Índia e Guiné, com 7,7% e 7,3%, respectivamente, completam a lista de maiores produtores mundiais (DNPM/DIPLAM; USGS- Mineral Commodity Summaries–2013).

Tabela 1

Reserva e produção mundial de bauxite

Discriminação Países	Reservas ^{(1) (2)} (10 ⁶ t) 2012 ^(p)	Produção (10 ³ t)		
		2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Brasil	590	33.694	33.260	12,7
Austrália	6.000	67.000	73.000	28,0
China	830	46.000	48.000	18,4
Indonésia	1.000	37.100	30.000	11,5
Índia	900	20.000	20.000	7,7
Guiné	7.400	18.000	19.000	7,3
Jamaica	2.000	10.200	10.300	3,9
Rússia	200	5.800	6.100	2,3
Cazaquistão	160	5.400	5.300	2,0
Venezuela	320	4.500	4.500	1,7
Suriname	580	5.000	4.200	1,6
Grécia	600	2.100	2.000	0,8
Guiana	850	2.000	1.850	0,7
Vietnã	2.100	80	300	0,1
Outros países	2.280	4.300	3.100	1,2
TOTAL	25.810	261.174	260.910	100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS- Mineral Commodity Summaries–2013; International Aluminium Institute

2.1.2.2 Propriedades da bauxite

A espessura média dos depósitos de bauxite varia de 2-20m com uma média ponderada de produção de 5m. Uma média de 2m de camada de sobrecarga teve que ser removida antes os depósitos de bauxite poderiam ser extraídos. A sobrecarga espessura variou de 0,4-12m e a bauxite extraída tinha um teor médio de alumina disponível de 41% que variou de 31-52%. (Sutar S, Munde 2015).

2.1.2.3 Processamento de bauxite

Ao contrário de outros minérios de metais básicos, a bauxite não requer processamento complexo, pois a maior parte da bauxite extraída é de um grau aceitável ou pode ser melhorado (beneficiado) por um processo relativamente simples, mas não barato, de remoção de argila. Em muitos tipos de bauxite, a argila é removida por algumas combinações de lavagem, peneiramento húmido, ciclonagem e Ordenação. Beneficiar o minério também reduz a quantidade de material que precisa ser transportado e processado na refinaria. No entanto, os benefícios do beneficiamento precisam ser pesados contra a quantidade de energia e água utilizada no processo e os impactos ambientais dos resíduos finos produzidos e armazenados em tanques de rejeitos. Em 2006, três das 14 fábricas beneficiou a bauxite em uma lavadora local e duas operações secaram sua bauxite antes do embarque. Após a mineração, a bauxite é refinada em alumina usando o Processo Bayer (refinação). A maior parte da alumina é então transformado em alumínio usando o eletrolítico Hall/Heroult processo (fusão). No entanto, parte da alumina é usada em aplicações não metalúrgicas. Duas a três toneladas de bauxite são necessários para produzir uma tonelada de alumina e quatro a seis toneladas de bauxite para a produção de uma tonelada de metálico de alumínio. (Sutar S, Munde 2015).

2.1.2.4 Consumo de energia

A mineração de bauxite requer apenas uma pequena quantidade de energia comparado ao refino de bauxite e redução eletrolítica de alumina. O óleo diesel (69%) e o óleo combustível (24%) fornecem a maior parte da energia utilizada para minerar e transportar a bauxita. O consumo médio de energia foi de 153 MJ por seca tonelada de bauxite extraída (faixa: 40-470 MJ/tonelada). Sobre em média, cada tonelada de bauxite teve que ser transportada 54 km desde o ponto de extração até o ponto de embarque ou local estoque da refinaria (alcance: 11-240km). (Instituto Internacional do Alumínio, 2009 1% Combustível diesel Gás natural Carvão hidro Outros Óleo combustível).

Os operadores de minas adotaram uma série de estratégias para usar energia de forma mais eficiente e para reduzir as emissões. Essas estratégias incluem (RAMOS, Carlos R. 1982):

- Compra de mineração maior e mais eficiente em energia equipamentos e caminhões.

- Melhor manutenção de mineração e transporte maquinaria.
- Uso mais eficiente de equipamentos otimizando o ciclo do caminhão e reduzindo os tempos de inactividade e de espera.
- Redução das distâncias de transporte para armazenamento de sobrecarga.
- Uso de transportadores de correia de cabo regenerativos em declive para transporte de bauxite.
- Mudança para combustíveis de baixa emissão, como gás natural sempre que possível.

Tabela 2

Fontes de energia para mineração de bauxite e transporte até o ponto de embarque

Table 1: Bauxite properties	Minimum	Maximum
Average bauxite layer thickness	2 m	20 m
Average overburden thickness	0.4 m	12 m
Average available alumina content (Al ₂ O ₃)	31%	52%

Fonte: International Aluminium Institute, 2009

2.1.3 Evolução histórica do objecto

2.1.3.1 História da Invenção e Inovação da Produção de Alumínio

A produção industrial de alumínio começou em 1856 com o método químico desenvolvido por Henri Sainte-Claire Deville, que produzia 200 toneladas de alumínio até 1890 quando a fábrica em Salindres, França, fechou devido ao custo muito mais elevado de produção do que o recém-surgido processo Hall-Héroult. Em 1886, Charles Hall nos EUA e Paul Héroult na França inventaram a redução eletrolítica da alumina com carbono, que rapidamente se tornou o único método usado para produzir alumínio industrialmente até hoje, 133 anos após sua invenção. Em sua patente, Paul Héroult descreve o processo (Héroult PL-T (1886))

O processo que se deseja patentear para a preparação do alumínio consiste em decompor a alumina em dissolução em um banho de criolita fundida, usando uma corrente elétrica que chega ao banho, por um lado com um eléctrodo de carbono aglomerado em contato com o pote

contendo a criolita e, por outro lado, um segundo eléctrodo em carbono aglomerado semelhante ao primeiro um, mergulhou no banho. Esta combinação produz a decomposição da alumina usando uma corrente de baixa tensão. O oxigênio se acumula no ânodo, com o qual é queimado. O depósito de alumínio nas laterais do pote que constituem o cátodo e rapidamente afunilam para baixo para o fundo do pote. O banho permanece constante e pode ser reutilizado indefinidamente se alimentado com alumina. O eléctrodo positivo, ou seja, o ânodo, deve ser substituído após a combustão, mas isso a combustão evita a polarização.

Reclamamos a invenção de um método de produção de alumínio baseado na base eletrólise da alumina dissolvida em criolita fundida. A corrente pode através de qualquer tipo de eléctrodos - por exemplo, um ânodo de carbono submerso em um eletrólito fundido, enquanto o próprio recipiente eletrolítico serve como cátodo. O ânodo é incinerado pelo oxigênio que é liberado sobre ele, enquanto o metal desengatado no cátodo se acumula no fundo do cadinho. A criolita não é consumida no presente processo, sendo suficiente para substituir o alumínio que se decompõe durante a eletrólise para garantir a produção contínua de metal (Similarly, Hall's patent, granted in 1889 for his invention in 1886, described the process as follows):

Da mesma forma, a patente de Hall, concedida em 1889 por sua invenção em 1886, descreveu a processo da seguinte forma (Hall CM (1889):

A invenção aqui descrita refere-se à redução de alumínio de seu óxido por dissolver tal óxido em um banho contendo um sal de fluoreto de alumínio fundido e depois reduzindo o alumínio passando uma corrente elétrica através do banho; e em termos gerais a invenção consiste no eletrólise de uma solução de alumina em um sal de fluoreto fundido de alumínio, substancialmente como a seguir descrito e reivindicado de forma mais completa.

Pela ação da corrente elétrica, que preferencialmente tem uma força eletromotriz de cerca de quatro a seis volts, o oxigênio é liberado no eléctrodo positivo D e o alumínio é reduzido no eléctrodo negativo C, que, devido à afinidade do alumínio por outros metais, é formado de carbono quando se deseja produzir alumínio puro. O eléctrodo positivo D pode ser formado por carbono, cobre, platina ou outro material adequado. Quando formado de carbono, o eléctrodo C é consumido gradativamente e, portanto, deve ser renovado de tempos em tempos. tempo, mas quando formado de cobre um revestimento de óxido é formado sobre a superfície do eléctrodo de destruição adicional pela ação do oxigênio, mas não interfere materialmente com qualidades condutoras do eléctrodo. Devido à afinidade do alumínio por outros metais, e também a ação corrosiva dos materiais que formam o banho em materiais terrosos, prefiro formar o cadinho ou caldeirão A de metal – como ferro ou aço – e proteger o mesmo da ação do alumínio por um forro de carbono. (Hall CM (1889):

Ao mesmo tempo, os facilitadores da produção massiva e barata de alumínio foram desenvolvidos - grandes instalações de geração de eletricidade e processo Bayer para alumina produção. Bayer KJ (1888). Embora o processo Hall-Héroult tenha permanecido o mesmo, a tecnologia de produção mudou tremendamente desde sua invenção. Neste artigo, apresentamos as mais importantes inovações e invenções nos últimos 100 anos com o objetivo de aumentar:

- Invenção do ânodo de Søderberg em 1919,
- Introdução do controle por computador do pote na década de 1960,
- Alimentação pontual de alumina nas décadas de 1960 e 1970,
- Modelagem matemática de campos termoeletrônicos em potes e de magneto hidrodinâmica na década de 1970,
- Melhoria do ambiente com cobertura de panela e lavagem a seco a gás usando aluminatos centros de tratamento de gases (GTC) na década de 1970,
- Introdução de máquinas de tratamento de vasos polivalentes (PTMs), Indústria 4.0.
- Paralelamente a essa evolução, a pesquisa de processos alternativos que substituíssem processo Hall-Héroult estava ocorrendo. O mais notável, também descrito neste artigo são:
 - Ânodos inertes,
 - Cátodos molháveis,
 - Redução carbotérmica de alumina e
 - Processo de cloreto de alumínio.

2.1.3.2 A invenção do ânodo de Søderberg em 1919

Os ânodos são preparados a partir de coque de petróleo calcinado e pitch de alcatrão de carvão. Nos primeiros tempos, os ânodos eram pré-cozidos antes de serem colocados na panela e eles tiveram que ser substituídos quando consumidos. Este processo era caro e era continuamente interrompido por alterações anódicas. Na busca pelo baixo custo de produção do alumínio, O ânodo Søderberg de auto-cozimento contínuo foi visto como um grande avanço para as fundições de alumínio quando foi inventado por Karl W. Søderberg em 1919 [7]. O ânodo de Søderberg foi cozido e substituído continuamente no topo pela adição da pasta, enquanto era consumida no fundo. O ânodo de Søderberg trouxe várias vantagens. (Barber M, Tabereaux AT (2014):

- As economias de custo foram associadas à preparação do ânodo, incluindo capital reduzido custos para a planta de ânodo (não são necessárias instalações de formação, cozimento e haste), além de custos operacionais reduzidos.
- A planta de ânodo de Søderberg é muito mais simples de construir; portanto, uma fundição pode se reentrou em operação rapidamente.
- Não é necessário manusear e limpar as pontas de ânodo quentes.
- Não há necessidade de manusear grandes quantidades de material de crosta anódica ou preparar material de cobertura de ânodo.
- Ocorrem menos distúrbios no equilíbrio térmico do pote devido à mudança de ânodos. Ced As painéis de pré-cozimento Hall-Héroult eram difíceis de operar devido ao grande número de ânodos para trocar, até 65.
- Os potes Søderberg de pino vertical (VS) eram mais fáceis de aplicar saias de gás para coletar pote vapores em comparação com os primeiros potes pré-assados, que inicialmente não tinham cobertura de células.
- As desvantagens são: Barber M, Tabereaux AT (2014):
- Alto consumo específico de energia de 15 a 19 kWh/kg Al, que se tornou insuportável quando o custo da energia aumentou. A maioria das fábricas de Søderberg foram construídas quando os custos de energia eram baixos.
- Níveis de amperagem: Uma vez que os níveis de amperagem começaram a exceder 120–150 kA, MHDos efeitos tornaram-se muito fortes para serem adequadamente compensados pelo pote de ponta a ponta arranjo. Consequentemente, à medida que os potes de Søderberg se tornaram maiores, sua operação tornou-se mais difícil e insustentável.
- Risco para a saúde de câncer devido às emissões de vapores de alcatrão contendo aromáticos policíclicos hidrocarbonetos (PAH), alguns dos quais são cancerígenos.
- Meio Ambiente: Na década de 1990, a indústria do alumínio também tomou conhecimento do efeito nocivo dos perfluoro carbonos (PFC), que são potentes gases de efeito estufa que desenvolver durante os efeitos anódicos. Originalmente, as fundições de Søderberg operavam com um alto frequência do efeito anódico, tipicamente 1–2 AE/dia-vaz, devido à sua grande quebra lateral e operações de alimentação de alumina em intervalos de 2–4 h. Eventualmente, alguns potlines Søderberg, principalmente na Rússia, foram adaptados com tecnologia de alimentação de ponto para reduzir os efeitos anódicos e as emissões equivalentes de CO₂.

- Hoje, as fundições de Søderberg foram amplamente substituídas por ânodo pré-cozido fundições, em que os ânodos são feitos na unidade de produção de ânodos onde são formados a partir de coque de petróleo calcinado rigidamente controlado e piche de alcatrão de carvão e, em seguida, cozido em forno de ânodo em alta temperatura. O sistema de ânodo pré-cozido resulta em emissões muito mais baixas de flúor e PAH, que são capturadas e limpas em centros de tratamento de fumos de plantas de ânodo

2.1.3.3 Introdução ao controle por computador de pote

O controle por computador de painéis foi introduzido nas salas de cubas no início da década de 1960 (McMahon TK, Dirth GP (1966)). Isto foi aplicado pela primeira vez ao controle de resistência do pote registrando a tensão e a corrente do pote, calcular a resistência do pote e mover os ânodos para cima e para baixo com tomadas de ânodo acionadas por motores para manter constante a resistência do potenciômetro e a entrada de energia. Antes disso, a tensão do potenciômetro foi controlado manualmente pela leitura do voltímetro no potenciômetro quando ocasionalmente passando por. Inicialmente, a leitura de resistência era tipicamente uma vez por minuto, enquanto hoje é tipicamente 10-100 vezes por segundo para o mesmo propósito. Do controle de um grande número de potes por um computador mainframe, o controle é distribuído hoje para normalmente dois potes por um microcomputador. No entanto, pode haver configurações diferentes. Na Emirates Global Alumínio, o hardware do sistema de controle em DX+ e DX+ Ultra A tecnologia pote é baseada em Controladores Lógicos Programáveis (PLC) com um PLC controlando 10 potes (Reverdy M, Alzarooni A (2018)), mas cada Painel de Controle Integrado de Pote nas salas de potes para dois potenciômetros.

Logo após a introdução do controle por computador nos potes, a resistência do pote controle foi aplicado às estratégias de alimentação de alumina, descritas abaixo, para adições de flúor e para eventos especiais, como ajuste do ânodo, vazamento, instabilidade do pote controle e extinção do efeito anódico e prevenção. Hoje, o controle por computador é um sistema sofisticado que em muitas empresas também utiliza inteligência artificial para manter equilíbrio térmico do pote e estabilidade química e concentração de alumina em um estreito intervalo entre 1,5 e 3,5%. Esta é a condição para otimizar o desempenho do pote.

2.1.3.4 Redução da alumina

A pesquisa sobre o processo carbo térmico de redução de alumina começou há cerca de 60 anos atrás, mas nenhum método industrial comercialmente viável foi encontrado. O maior esforço nos primeiros anos da pesquisa carbo térmica foi feita por Pechiney na França, que foi realizando pesquisas de 1955 a 1967. De 1960 a 1967, operou um 6MW e um forno a arco de 2 MW no qual a alumina deveria ser reduzida a alumínio a 2400–2500 °C (Grunert E, Mercier J (1961)).

mas na prática eles produziam alumínio misturado com alumínio carboneto no nível de saturação (Bruno MJ (2003)). Os fornos foram desligados por causa da alta energia custo e alto consumo de alumina e carbono. (Bruno MJ (2003)). Em 2002–2005, a Alcoa desenvolveu um sistema que mais tarde, em cooperação com Elkem, foi para um grande reator piloto em Elkem, Noruega, chamado Advanced Reactor Process (ARP). A reação global para redução carbo térmica de alumina em Alcoa-Elkem ARP é [32–34] $Al_2O_3 + 3C = 2Al + 3CO(g)$. A reação ocorre em duas etapas: Em Fase 1, C livre é consumido para produzir carboneto de alumínio na reação: $2 Al_2O_3 + 9C = Al_4C_3 + 6CO(g)$. Carboneto de alumínio e alumina formam uma fase de escória. Na Fase 2, alumina e carboneto de alumínio reagem, pelo que o metal de alumínio é produzido: $Al_4C_3 + Al_2O_3 = 6Al + 3CO(g)$. O Al_2O gasoso também é formado em outra reação. O diagrama do processo é mostrado na Fig. O reator de recuperação de vapor é importante porque evita as perdas de alumínio. A planta ARP na Noruega foi fechada após alguns anos em operação por razões desconhecidas. O consumo específico de energia de A redução carbo térmica de alumina da Alcoa-Elkem foi estimada em 10–11 kWh/kg Al se o CO não for processado posteriormente para produção de energia e <9 kWh/kg Al se o CO for usado para geração de energia (White CV, Mikkelsen Ø, Roha D (2012)). A pesquisa sobre a redução carbo térmica da alumina continua em vários novos direções (Ikram-ul-Haq M, Khanna R, Mukherjee PS, Sahajwalla V (2018)).

2.1.3.5 Processo de cloreto de alumínio

Na rota do cloreto, o processo baseado no eletrólise do $AlCl_3$ foi o que mais se aproximou implantação industrial. Pesquisas e testes foram feitos na Nippon Light Metals no Japão, mas o maior esforço foi da Alcoa, que em sua fase final teve uma grande planta de demonstração na Palestina, Condado de Anderson, Texas, que produziu bem acima 13 toneladas de alumínio

por dia. A planta estava operando de 1976 a 1982 e foi definitivamente fechado em dezembro de 1985 (Ikram-ul-Haq M, Khanna R, Mukherjee PS, Sahajwalla V (2018)).

O diagrama de processo da Alcoa é mostrado na Fig. 9. Na primeira etapa, o AlCl_3 é produzido em um reator de alumina e carbono e no segundo estágio, AlCl_3 é eletrolisado em uma célula bipolar mostrada na Fig. Um exemplo de composição de banho é 53% NaCl , 40% LiCl , 5% AlCl_3 , e o resto são impurezas. Os elétrodos são inertes, feitos de grafite, mas há algum desgaste no cátodo, que pode ser retardado com aditivos para grafite. O alumínio é produzido pela reação $2\text{AlCl}_3 = 2\text{Al} + 3\text{Cl}_2$ a 700°C . A distância interpolar na célula foi de 1 a 2 cm. O eletrólito foi circulado entre os elétrodos. Consumo de energia na célula de eletrólise da Alcoa foi $<9,5$ kWh/kg Al. (Ikram-ul-Haq M, Khanna R, Mukherjee PS, Sahajwalla V (2018)).

2.1.3.6 A fundição

É um processo de fabricação que permite a obtenção de peças com formas simples ou complexas por meio da fusão da matéria-prima, onde o metal líquido é despejado em um molde no qual sua cavidade terá a forma de uma peça ou objeto desejado. Esse processo é considerado um dos mais versáteis processos de fabricação e aplica-se a diversos tipos de metais, tais como aços, zinco, magnésio, cobre, alumínio, ferros fundidos e entre outros.

Esse método milenar que evoluiu com a humanidade permite a fabricação de peças únicas ou em série em diversos tamanhos e nas mais variadas formas, e tem o relevante fato de que é o método mais econômico de se produzir uma vasta gama de componentes metálicos, podendo dar origem a peças no seu estado final ou não, precisando passar por alguns processos de conformação mecânica. (BALDAM; VIEIRA, 2014).

As transformações dos metais e ligas em peças para utilização em elementos e conjuntos mecânicos são inúmeras e variadas, é evidente que a fundição é acompanhada por diversos processos e etapas onde a escolha adequada de cada passo depende da geometria da peça, do tipo de liga a ser fundida, do número de peças a ser produzida e da qualidade superficial desejada. (BALDAM; VIEIRA, 2014).

E para Baldam e Vieira (2014) os principais processos da fundição são:

- Fundição em molde de areia;
- Fundição de precisão (cera perdida);
- Fundição de moldes permanentes por gravidade;

- Fundição sob pressão.
- Fundição centrífuga.
- Fundição contínua ou lingotamento contínuo;
- Fundição no estado semissólido – tixoconformação;

Classificação dos principais processos de fundição, adaptado (Shey 2000).

Fonte: Baldam e Vieira (2014, p. 29)

2.1.3.7 Fundição por moldes permanentes por gravidade

Neste processo como o nome já diz utiliza-se moldes permanentes e seu preenchimento não precisa de força de injeção ou centrífuga, apenas a força da gravidade. O molde permanente nesse processo é fabricado de aço, ferro fundido, bronze ou grafite, podendo ser utilizado até mesmo 250.000 vezes, onde são compostos por duas ou mais partes que são projetadas para abertura e fechamento simples e preciso, tendo também a função de conter os canais de vazamento e massalote. (KIMINAME; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

Dentre as matérias que podem ser fundindo nos moldes permanentes estão, alumínio, magnésio, ligas à base de cobre e ferro fundido. No entanto o ferro fundido requer uma temperatura muito elevada de vazamento, podendo danificar os moldes e diminuindo sua vida útil. Há depender do tipo da peça e do seu formato, utilizam-se machos, onde dará formas nas superfícies interna das peças. (GROOVER, 2014). Ainda assim citado por Groover (2014), os machos podem ser confeccionados de metal, mas devem ser mecanicamente colapsáveis, permitindo a sua retirada, caso seja difícil ou impossível, devem ser confeccionados de areia endurecida por aglomerantes e neste caso, o processo é denominado como fundição em moldes semipermanentes.

No pensar de Baldam e Vieira (2014), esse processo por moldes permanentes é limitado a fabricação de peças pequenas, pois os valores dos moldes são mais substanciais, sendo assim mais viável quando a quantidade de peça a ser produzida for alta. Entretanto esse processo pode ser automatizado, permite a obtenção de peças bem acabadas, com taxa de produção de 5 a 100 conjuntos/hora, os podem conter cavidade para mais de uma peça, e com maior resistência mecânica.

Esse processo pode ser aplicado em diversos peças e conjuntos mecânicos tais como, pistões, engrenagens e cabeçote de cilindros. (KIMINAME; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

2.1.3.8 Lingotes

Os lingotes são produzidos num equipamento contínuo por meio de um processo simples, em que o metal líquido é adicionado a uma esteira de vazamento composta de 200 moldes metálicos. O metal se solidifica em contato com o molde, formando o lingote propriamente dito.

Cada lingote tem massa média de 22,5 kg e a máquina tem uma capacidade nominal de produção de 20 ton/h. O desenho característico do lingote está relacionado com a facilidade de empilhamento e evita que haja acúmulo de água entre os mesmos.

2.1.3.9 A corrosão

E quando um metal refinado é naturalmente convertido em uma forma mais estável, como seu estado de óxido, hidróxido ou sulfeto, levando à deterioração do material.

2.1.3.10. Causas de corrosão

O metal corrói quando reage com outra substância como oxigênio, hidrogênio, uma corrente elétrica ou mesmo sujeira e bactérias. A corrosão também pode acontecer quando metais como o aço são colocados sob muita tensão, fazendo com que o material rache.

2.1.3.11. Corrosão de Ferro

O tipo mais comum de corrosão do ferro ocorre quando ele é exposto ao oxigênio e à presença de água, o que cria um óxido de ferro vermelho comumente chamado de ferrugem. A ferrugem também pode afetar as ligas de ferro, como o aço. A ferrugem do ferro também pode ocorrer quando o ferro reage com o cloreto em um ambiente privado de oxigênio, enquanto a ferrugem verde, que é outro tipo de corrosão, pode ser formada diretamente a partir do ferro metálico ou hidróxido de ferro.

CAPÍTULO 3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

3.1 Localização Geográfica da Mozal

A Mozal Fundidora está localizada em Beluluane na Província de Maputo, Moçambique, aproximadamente 17 km a noroeste de Maputo. Inicialmente, as operações da fábrica da Mozal começaram com a tecnologia RTA AP30 com amperagem nominal de 300 kA, em 2000 no Potline 1 e em 2003 no Potline 2. Um primeiro *creeping* para AP35/36 foi implementado em 2005. Vários programas de capacidade *creep* foram executados para atingir o nível actual de 366 kA nas duas linhas de pote.

A Mozal investiu na tecnologia AP3XLE para permitir à Mozal otimizar o bloco de energia de 950 MW existente operando com menor consumo de energia e maior amperagem, aumentando assim a produção. As mudanças propostas aumentarm o rendimento da planta em mais 19.000 toneladas anuais, reduzindo o consumo específico de energia para 13,12 MWh por tonelada (DC) e usando o mesmo bloco de energia disponível (950 MWatts) para a operação da fundição.

A Mozal é uma operação madura que tem muitas práticas recomendadas em vigor e em bom uso. Um fator importante de contribuição é a força de trabalho altamente experiente, motivada e leal, desde a alta administração até os níveis operacionais. O desafio é manter o benefício dessa base de experiência e garantir a sustentabilidade.

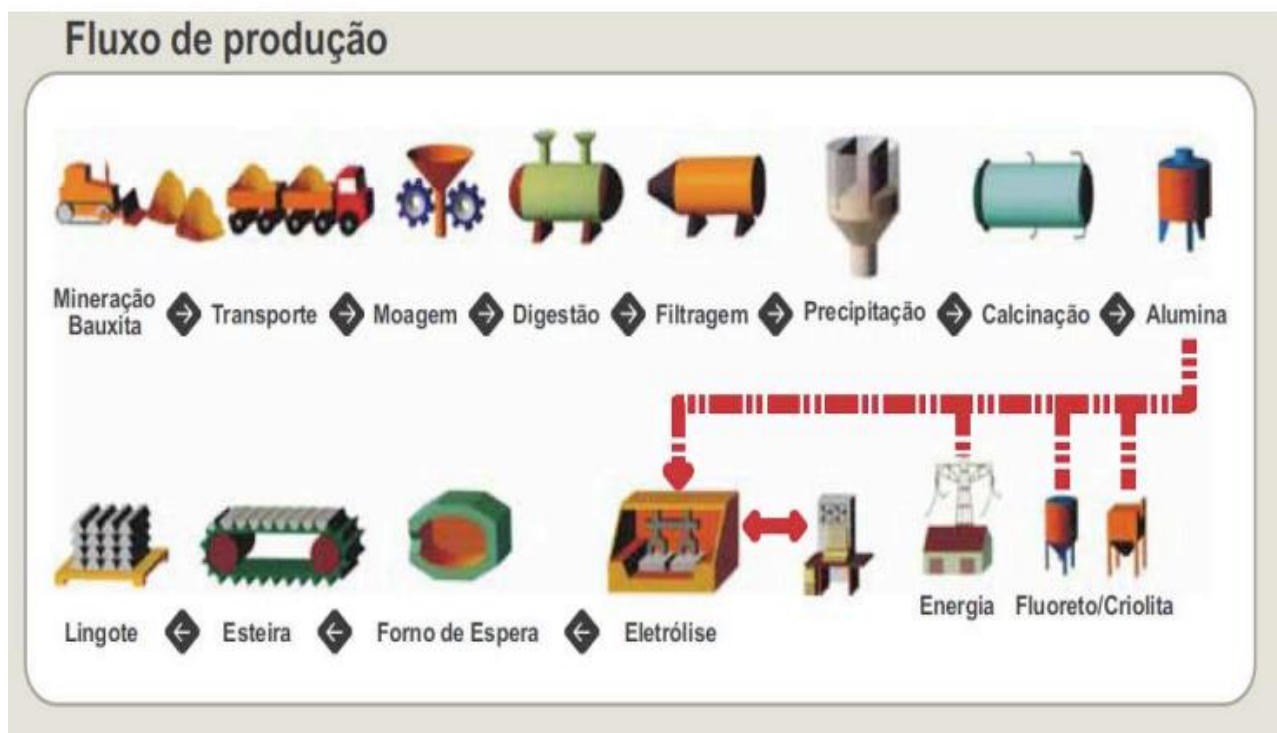
A Mozal, sendo uma operação JV e não detida a 100%, tem um planeamento empresarial eficaz. Isso abrange um número razoável de práticas e requisitos de gestão de activos. Grande parte desse processo, no entanto, é focado na produção e menos nos activos e infraestrutura que suportam a produção. A análise de demanda é feita profissionalmente, conforme ditado pelas flutuações do mercado tanto na oferta de matéria-prima quanto na demanda de produto acabado.

3.2 Processo de Obtenção de Alumínio

A obtenção do alumínio é feita a partir da mineral bauxite, em adição com o Coque processo se dá em três etapas: Mineração, Refinaria e Redução.

Figura2

Esquema de produção de alumínio



Fonte: Fonte: Mineração Rio do Norte S/A – MRN

3.3 Mineração

O alumínio não é encontrado em estado metálico na natureza, para a sua obtenção necessita de etapas de processamento até que se chegue até ao produto o alumínio. O processo da mineração da bauxite, que origina o alumínio, pode ser exemplificado da seguinte maneira:

- 1º) Remoção planejada da vegetação e do solo orgânico;
- 2º) Retirada das camadas superficiais do solo, ou seja, argilas e laterites;
- 3º) Beneficiamento: - Inicia-se na britagem, para que se reduza o tamanho; - Lavagem do minério com água para reduzir, se for necessário, o teor de sílica que está contida na parcela mais fina; - Secagem.

A bauxite e extraída do solo deve ser feita uma remoção planejada da bauxite do sub sol, retirada das camadas superficiais do solo, faz se a britagem para a redução de grãos o minério e levado para a lavagem para a eliminação de impurezas como a sílica. A bauxite contém de

35% a 55% de óxido de alumínio, este mineral é extraído da natureza e através dele se obtém a Alumina (produto intermediário que leva à produção de Alumínio). A Alumina possui fórmula Al_2O_3 . Os maiores produtores da Bauxite são Austrália, Brasil e China.

3.4 Refinaria

É uma fase de produção de alumínio em que a bauxite é transformada em alumina calcinada, o método mais utilizado para este processo e o processo Bayer as etapas que o constituem são:

- a) Dissolução da alumina em soda cáustica;
- b) Filtração da alumina para separar o material sólido;
- c) O filtrado é concentrado para a cristalização da alumina;
- d) Os cristais são secados e calcinados para eliminação da água;
- e) O pó branco de alumina pura é enviado à redução;
- f) Na redução, ocorre o processo conhecido como Hall-Heroult, por meio da eletrólise, para obtenção do alumínio.

Nesta etapa a alumina é dissolvida em soda cáustica e depois a filtração de alumina para separar o material sólido o material filtrado e concentrado para a cristalização da alumina e os cristais obtidos são secados e calcinados para eliminar a água. Um pó branco de alumina pura é obtido e enviado à Redução.

3.5 Redução

Redução é o processo de transformação da alumina em alumínio metálico:

- a) Dissolve-se a alumina em um banho de criolita fundida e fluoreto de alumínio em baixa tensão, decompondo-se em oxigênio;
- b) O oxigênio ao se combinar com o ânodo de carbono, desprende-se na forma de dióxido de carbono, e em alumínio líquido, o qual se precipita no fundo da cuba eletrolítica;
- c) Através de cadinhos, o metal líquido (já alumínio primário) é transferido para a refusão;

d) São produzidos os lingotes, as placas e os tarugos (alumínio primário). Mesmo que sejam necessários apenas 1,6 V para a eletrólise propriamente dita, a voltagem de cada uma das cubas, ligadas em série, varia de 4 V a 5 V. A diferença de voltagem é necessária para vencer resistências do circuito e gerar calor para manter o eletrólito em fusão.

Figura3

Exemplo de uma sala de fornos de redução



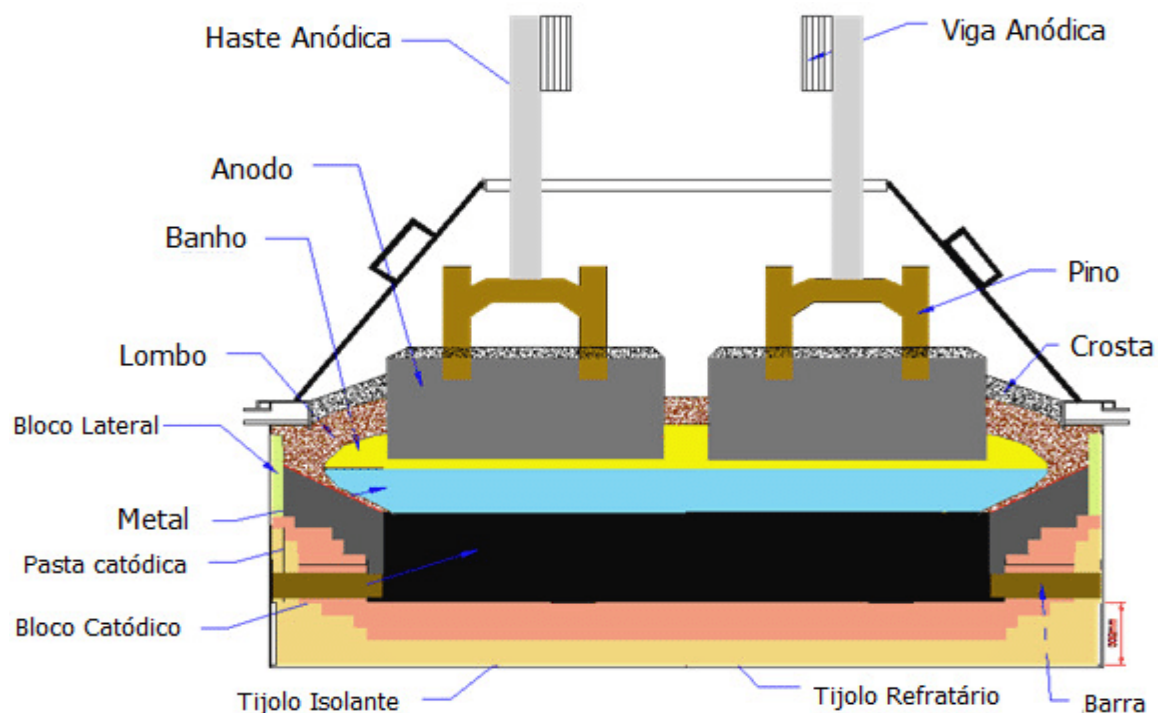
Fonte: Consórcio de Alumínio do Maranhão

Esta última etapa permite a obtenção de alumínio através de eletrólise. A passagem de corrente elétrica na célula eletrolítica promove a redução da alumina, decantando o alumínio metálico no fundo da célula e o oxigênio liberado reage com o ânodo de carbono, formando dióxido de carbono. Vejamos como ocorre a reação de oxirredução:

1. Alumina é colocada no estado fundido em um tanque de ferro revestido com carbono, esse tanque funciona como cátodo;
2. Os ânodos são constituídos de bastões de carbono mergulhados na Alumina fundida;
3. As reações de oxirredução promovidas por esse processo originam Alumínio puro no cátodo. Este, posteriormente, vai para o fundo da célula eletrolítica.

Figura 4

Exemplo de um diagrama de redução



Fonte: Grjotheim e Kvande, 1993 (adaptação).

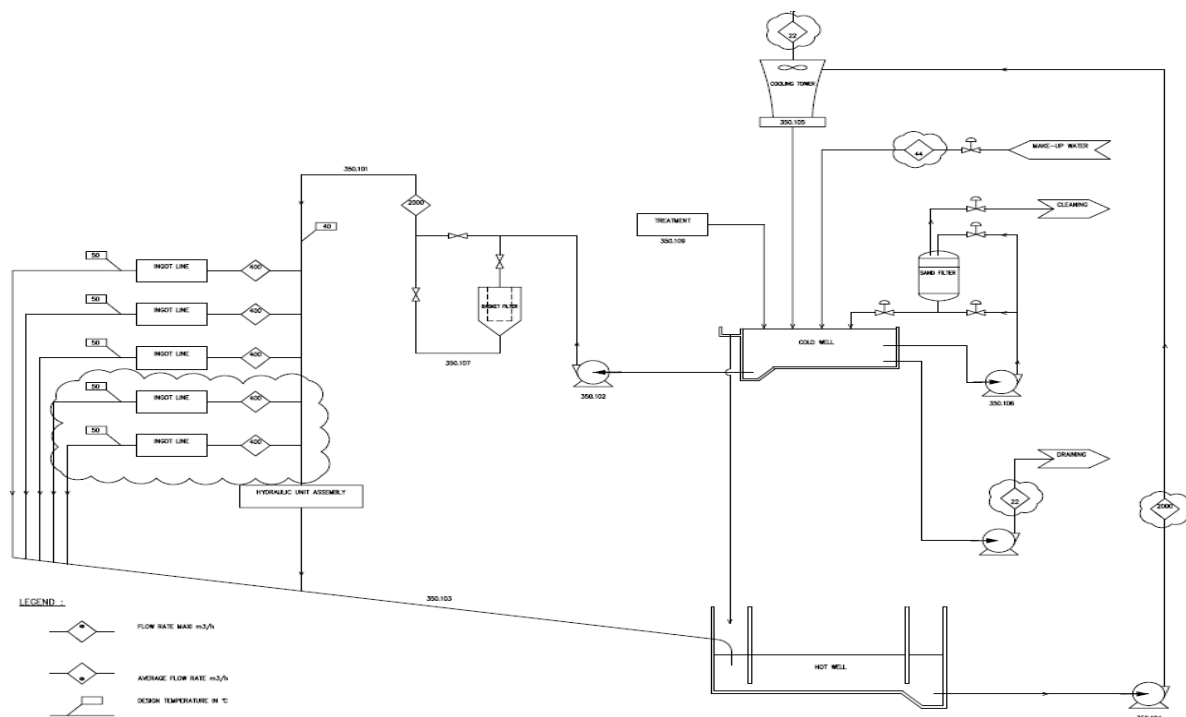
3.6 Estudo do problema e justificativa

No âmbito de controle dos activos várias fábricas a nível mundial estão a desenvolver o asset Integrity em suas indústrias quando os activos são gerenciados e mantidos adequadamente, isso não apenas ajuda a impulsionar seu desempenho sustentável, mas também reduz os custos de inspeção, manutenção e reparo, ao mesmo tempo em que melhora a confiabilidade da planta e a segurança operacional.

O fornecimento de água para o arrefecimento de lingotes na Casthouse é de extrema importância que é um activo que necessita de um estudo aprofundado do seu estado de integridade, uma falha deste activo pode obrigar a paragem da produção, o que em poucas horas pode-se somar prejuízos avultados. As tubulações conduzem fluidos que, a depender da condição de processo, podem causar corrosão, alteração mecânica ou alteração metalúrgica. A possível deterioração deve ser antecipada, através de pesquisas em literatura técnica e históricos de inspeções externas e internas.

Figura 5

Esquema do sistema de arrefecimento de água para a Casthouse



Fonte: Blue Room Departamento de engenharia

3.7 Processo de arrefecimento de água na Casthouse

O processo de arrefecimento de lingotes na Casthouse é feito através de combinação de vários mecanismos com a ajuda de válvulas, bombas e filtros. O processo tem o seu início no Hot well tanque onde acontece o wake up water através da água industrial disponível na fábrica, a cada uma hora são adicionados ao sistema de arrefecimento cerca de 35m³ de nova água proveniente dos reservatórios da fábrica.

Apos a adição da água industrial no Hot well tank a água é succionada com ajuda de bombas de sucção e transportada a uma temperatura de mais ou menos 40 graus centigrados para os cooling tower nos cooling tower a água continua a sofrer o arrefecimento, as torres de resfriamento são um tipo especial de trocador de calor que permite que a água e o ar entrem em contato um com o outro para diminuir a temperatura da água quente. Durante esse processo, pequenos volumes de água evaporam, diminuindo a temperatura da água que está circulando pela torre de resfriamento. Quando o ar e a água se juntam, um pequeno volume de

água evapora, criando uma ação de resfriamento, água mais fria é bombeada de volta ao processo, findo este processo a água e parte dela é descartada após receber um tratamento químico, parte da água que volta para o sistema recebe um tratamento químico nos filtros e depois é levada para a Casthouse para fazer o arrefecimento dos lingotes e dos óleos hidráulicos.

3.8 Significado de *Asset Integrity*

Asset Integrity Management (AIM) é um termo usado para descrever a prática de gerenciar um activo (usina de energia, plataforma de petróleo, refinaria, etc.) Estratégias AIM bem executadas garantem que as pessoas, sistemas, processos e recursos que permitem que um activo cumpra sua função estejam em vigor ao longo do ciclo de vida do ativo, mantendo simultaneamente a legislação de saúde e segurança e meio ambiente. O AIM se aplica a toda a operação de um activo, desde a fase de projecto até o de comissionamento e substituição (*Mozal SAMP Strategic Asset Management Plan*).

Asset Integrity é uma nova área que varias empresas grandes e pequenas estão a utilizar para a gestão de activos que mantem a empresa em bom estado de conservação e funcionamento.

A integridade dos equipamentos em uma planta industrial é importante sob duas perspectivas:

- A minimização dos riscos associados ao mau funcionamento do equipamento
- A otimização da eficácia geral do equipamento.

Um abrangente Sistema de Gestão de Integridade de Ativos (AIMS) deve ser adotado como uma prática escrita cobrindo todos os aspetos e pontos de controle em um sistema de gestão Plan-Do-Check-Act. Embora o detalhe técnico de execução é importante, eles normalmente são incluídos nas práticas de implementação específicas do site. A área que requer mais atenção é identificação de pontos de controle e protocolos essenciais em AIMS (*Mozal SAMP Strategic Asset Management Plan*).

Os engenheiros de integridade de activos se concentram em garantir que um activo desempenhe sua função desejada ao longo de seu ciclo de vida. Um desafio constante para os engenheiros da AIM é equilibrar o projecto, manutenção e substituição de activos ao longo de seu ciclo de vida, minimizando os custos para o negócio em termos de finanças, tempo e recursos.

Os engenheiros do AIM são obrigados a realizar muitas tarefas, incluindo:

- Implementar o monitoramento de condição e integridade estrutural (CSM),
- Certifique-se de que os intervalos de inspeção não sejam excedidos,
- Realizar inspeção baseada em risco (RBI),
- Realizar estudos de extensão de vida,
- Realizar revisões de adequação ao serviço,
- Realizar estudos de investigação de falhas,
- Monitorar e garantir que os procedimentos sejam mantidos e implementados,
- Participar na preparação de orçamentos de capital e operacionais para inspeção.

A técnica de avaliação de integridade estrutural iniciou-se na Europa e nos Estados Unidos na década de 1980, com o objectivo de avaliar e estender a vida remanescente das unidades petrolíferas e usinas de geração termelétricas. No entanto esta técnica se torna particularmente interessante em função da operação cíclica das plantas, elevada taxa de corrosão e o consequente desgaste prematuro das mesmas.

CAPÍTULO 4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL

A metodologia de avaliação de integridade estrutural se divide basicamente em 3 etapas:

- Planeamento
- Inspeção
- Análise de Resultados

A presente monografia vai se ringir no estudo de integridade da conduta de transporte de água que serve para arrefecer os lingotes de alumínio de uma temperatura de 900 graus centígrados, este estudo tem como objectivo fazer um estudo para que se tenha uma ideia clara do estado de conservação da conduta na parte interna e extrema fazendo a princípio uma avaliação visual externa sobre o estado de conservação e o estado de cobertura da pintura de proteção contra a corrosão.

Durante a visita de vistoria foram escolhidos alguns pontos de testagem da espessura o método usado para a escolha dos pontos de testagem foi um método visual, os pontos que pela parte exterior apresentavam um estado de deterioração da pintura exterior são os pontos que foram dados mais atenção para sua testagem, devido ao difícil acesso de algumas áreas da conduta que se encontra em locais impossíveis de aceder as escolhas de pontos de testagem foram aleatórias.

O teste digital foi realizado com um equipamento digital de leitura rápida de resultados, os dados foram retirados.

Apos o levantamento dos dados no terreno tornou-se possível fazer o levantamento de outras áreas tais como os desenhos finais de projecção da conduta de arrefecimento espessura da conduta o diâmetro de tubo, principais dados desta pesquisa e a espessura.

Para que possamos fazer um estudo aprofundado do estado de conservação da conduta faremos o estudo da estrutura que a suporta tais como: Cálculos de resistência a torção e a flexão, de acordo com o peso que lhe são atuantes e de acordo com a espessura que possuem da conduta após estes desgastes internos e externos.

Apos a realização dos cálculos faz-se as conclusões sobre os estados de conservação da conduta para evitar que a conduta sofra ruturas inesperadas e que coloquem em causa a paragem de funcionamento da Casthouse o que poderá ser de grande prejuízo para a fabrica

que poderá ter de interromper a sua produção pois o arrefecimento dos lingotes será inexistente.

4.1 Etapa de Planejamento para o estudo de integridade de uma estrutura metálica

Em função de limitações de tempo e recursos financeiros, não é possível inspecionar todos os equipamentos de uma planta industrial durante uma parada. Desta forma, é preciso selecionar os componentes mais críticos para inspeção. Esta seleção é feita com base:

- Nas condições operacionais: componentes que operam com maiores pressões, temperatura e ambiente corrosivo;
- No histórico de operação do componente: componentes que apresentaram falhas na unidade inspecionada ou em unidades similares no mundo são selecionados para inspeção;
- No tempo necessário para colocar o componente novamente em serviço em caso de falha;
- Nos riscos envolvidos no caso de falha do componente.

Nesta etapa, portanto, é fundamental um cuidadoso levantamento dos dados operacionais dos componentes, bem como dos relatórios de inspeções ou falhas anteriores.

Na etapa de planejamento há também que se selecionar os ensaios não destrutivos ou até mesmo destrutivos que serão realizados no componente. Esta seleção é feita com base nos mecanismos de falhas possíveis de ocorrerem no componente em função de suas condições operacionais e ambientais específicas.

O grau de abrangência de um estudo de avaliação de integridade leva em conta os seguintes pontos:

- Nível de documentação técnica do equipamento ou estrutura disponível.
- Custo de reposição do equipamento ou estrutura.
- Custo e o risco de acidentes.
- Custo de manutenção extemporânea ou prolongada.
- Custo do lucro cessante e da sua reação em cadeia.

Por esta razão, na avaliação de integridade estrutural, a etapa de planejamento é a mais importante e a que mais exige conhecimentos por parte do profissional responsável. Quantidades exageradas de ensaio implicam maiores custos de inspeção e tempo de parada. Por outro lado, a seleção equivocada do ensaio ou em quantidade aquém do necessário, põe em risco a validade do laudo de integridade do componente.

Para cada componente a ser inspecionado, o plano de avaliação deve conter um desenho esquemático do componente com a localização dos pontos de inspeção, tipo e quantidade de ensaios, selecionados.

Na etapa de inspeção, são realizados em campo os ensaios não destrutivos especificados na etapa de planejamento. Foi elaborado um “Risk Assessment” que é uma avaliação de risco que deve ser preenchido que ajuda a fazer a análise dos riscos que envolvem o processo de colheita de dados que se realizou, e reduzir as percentagens de ocorrência destes riscos durante o trabalho.

Para cada ensaio não destrutivo deve ser elaborado um relatório contendo condições de ensaio, componente e local da inspeção, os resultados do ensaio e laudo, com a assinatura do profissional executor (quando aplicável). Estes relatórios devem ser encaminhados para o profissional que fará a análise final dos resultados e o parecer sobre a integridade de cada componente avaliado.

4.2 Etapa de Inspeção

Na etapa de inspeção, são realizados em campo os ensaios não destrutivos especificados na etapa de planejamento ou a coleta de amostras para ensaios laboratoriais, quando for o caso. Para cada ensaio não destrutivo deve ser elaborado um relatório contendo condições de ensaio, componente e local da inspeção, os resultados do ensaio e laudo, com a assinatura do profissional executor (quando aplicável). Estes relatórios devem ser encaminhados para o profissional que fará a análise final dos resultados e o parecer sobre a integridade de cada componente avaliado.

Inspeção Visual externa

O resultado da inspeção visual externa, verificou se desgaste externos da conduta em que em algumas regiões de soldadura há indícios de uma corrosão a volta da região da solda e verificou se também que estes desgastes ocorrem na região exposta a condições de

temperaturas externas sobre acontecimentos com chuva, sol, e verifica se que em situações como estas as superfícies expostas desenvolvem mais rápido vários tipos de corrosão externa.

4.3 Etapa de análise dos resultados

Nesta etapa, a vida remanescente dos componentes é calculada com base em modelos matemáticos, que, na maioria das vezes são alimentados por dados obtidos nos sistemas de monitoramento da unidade. Os resultados são confrontados com as estimativas realizadas com base nos ensaios não destrutivos executados na etapa de inspeção. Desta análise são estabelecidas medidas a serem tomadas para garantir a integridade de cada componente que compõe a planta avaliada e o período máximo para uma nova inspeção.

A conclusão de uma avaliação de integridade estrutural deve conter:

- uma estimativa da vida residual da estrutura, caso as características operacionais continuem como até o presente momento;
- programas futuros de inspeção e monitoração do equipamento;
- as ações necessárias para a aplicação de um programa de extensão de vida residual, tais como:
 - recuperação,
 - reforço,
 - ré potencialização,
 - substituição de partes.

4.4 Análise dimensional por ultrassom na conduta de transporte de água

Para que se possa fazer a análise dimensional de uma conduta é necessário que se faça uma medição da espessura interna da conduta, assim fará se a medição das paredes da conduta para melhor se prever os níveis de corrosão (deformação, ovalização, deterioração de superfície) que poderão facilitar no cálculo da estimativa da vida útil da conduta.

Medição de espessura por ultrassom

O ensaio por ultrassom é caracterizado por não produzir danos no elemento a ser ensaiado, ou seja, é uma aplicação não destrutiva, cuja dinâmica é a introdução de um feixe sônico de frequência elevada no material, possibilitando a detecção de falhas internas e superficiais (SANTIN, 2003).

A ampla utilização desta técnica, apresentada na Figura 4, se deve ao fato de:

- Dispensar o acesso à parede oposta do equipamento ou tubulação para sua execução, permitindo a realização com o equipamento em operação e reduzindo a perda de produção devido às atividades de inspeção.
- Outros factores importantes são a simplicidade da execução, facilidade de treinamento de pessoal e rapidez na execução (SANTIN, 2003).

Figura 6

Foto do aparelho ultrassónico de medição de espessura



Fonte: Manual de instruções do fabricante de aparelho ultrassónico de medição de espessura

Conforme Santin (2003), o princípio físico do ensaio está relacionado com as características gerais das ondas ultrassônicas a propagação destas e a velocidade sônica. Sendo assim, definem-se as ondas ultrassônicas como ondas mecânicas, originadas a partir de oscilações de partículas atômicas ou moleculares em torno de uma posição de equilíbrio. Conforme a

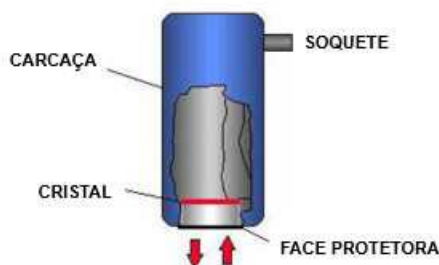
repetição destas vibrações em um certo período de tempo, pode-se determinar a frequência e classificar estas ondas em infrassom, som audível e ultrassom.

Os aparelhos utilizados para aplicação do ensaio de ultrassom monitoram as reflexões sônicas inseridas no material através de um cabeçote que é acoplado à peça para detetar discontinuidades, este mesmo princípio é utilizado na medição de espessuras.

Os cabeçotes são conectados no aparelho ultrassom por meio de cabos coaxiais e compostos de cristal piezelétrico (capaz de gerar vibrações mecânicas se excitado por uma diferença de potencial elétrico), bloco amortecedor, face protetora ou bloco de retardamento, conectores elétricos e carcaça. Para medição de espessuras os cabeçotes utilizados são do tipo duplo-cristal, apresentado na Figura abaixo, em que dois cristais, isolados elétrica e acusticamente, atuam de forma independente, um emitindo as ondas e outro recetando; e são seleccionados em função da faixa de espessuras a ser medida, do material e da temperatura da peça (SANTIN, 2003).

Figura 7

Cabeçote padrão



Fonte: (SANTIN,2003)

4.4.1 Calibração de um aparelho ultrassônico de medição de espessura

Um medidor ultrassônico lê a espessura de uma peça de teste cronometrando com muita precisão os ecos. Para transformar essas medições de tempo em medições de distância, instrumento deve ser programado com a velocidade do som no material de teste, bem como com qualquer deslocamento de zero necessário exigido pelo instrumento, tipo de transdutor ou forma de eco. Este processo é comumente chamado calibração do medidor. A precisão de

qualquer medição ultrassônica é tão boa quanto a precisão e os cuidados tomados durante a calibração. Uma calibração incorreta resultará em leituras imprecisas.

De acordo com Santin (2003), alguns factores relevantes na realização do ensaio, podendo influenciar nos resultados, são:

- Calibração do aparelho: requer cuidados como a utilização de um bloco de calibração adequado (material e espessura);
- Preparação de superfície: Condição imposta para evitar interferências no acoplamento do cabeçote e garantida pela remoção de tintas, carepas, óxido e outras impurezas;
- Execução do ensaio: Dependente de correta execução;
- Procedimento do ensaio
- Qualificação do pessoal: Necessidade de qualificação e certificação do inspetor.

Para os aparelhos indicados, de desempenho e características equivalentes, utilizou-se a resolução setada no aparelho de 0,1 mm com os valores de desvios e incertezas indicados na Tabela 1 a seguir, oriundos do respectivo certificado de calibração do aparelho e considerados na análise dos dados de espessuras propostos.

Tabela 3

Parâmetros técnicos do aparelho de medição de espessura usado

	WT100A	WT130A
Measuring range	1.00~225.0mm	1.00~300.0mm
Data storage	500	1500
Probe selection	×	√
Operation frequency	5MHz	5MHz/2.5MHz
Measurement error	± (0.5%H+0.05) mm	
Resolution	0.01mm(1.00 to 99.99mm) 0.1mm(100 to 225mm)	0.01mm(1.00 to 99.99mm) 0.1mm(100 to 300mm)
Lower limit of pipe measurement	Φ20x3mm (steel)	
Adjustment range of sound speed	1000~9999m/s	
Temperature range of operation	0~40°C	
Battery	3 Ni-MH rechargeable batteries of 1.2V	
USB charging	5V 1A	
Dimensions	65x146x30mm	
Weight	130G	

	WT100A	WT130A
Probe	Measurement parameters	Measurement parameters
5Md10	1.0~225.0mm	1.0~300.0mm
5Md6	×	1.0~50.0mm
2. 5M	×	1.2~300.0mm
High temperature	×	1.2~300.0mm

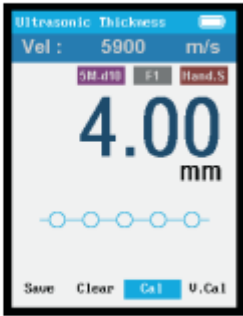
Fonte: Manual de instruções do fabricante para calibração de aparelho ultrassónico WT130A

Tabela 4

Instrução de calibração usada para a calibração de aparelho de medição de espessura

9、 Calibration instruction

- 9.1. Press ESC under measurement interface to enter into bottom menu. Select calibration item and press OK button.
- 9.2. The interface is displayed as shown on the right:
- 9.3. The sound speed in calibration is automatically set as 5900m/s during.
- 9.4. Press the probe on calibration sample to calibrate. 5 circles on the bottom of screen will be filled in turn.
- 9.5. After the calibration is completed, it will automatically return to measurement interface.



The screenshot shows the 'Ultrasonic Thickness' interface. At the top, it displays 'Vel : 5900 m/s'. Below that, there are three buttons: '5M.d10', 'F1', and 'Hand.S'. The main display shows a large '4.00 mm' reading. At the bottom, there are five circles in a row, with the first one filled. Below the circles are four buttons: 'Save', 'Clear', 'Cal', and 'U, Cal'.

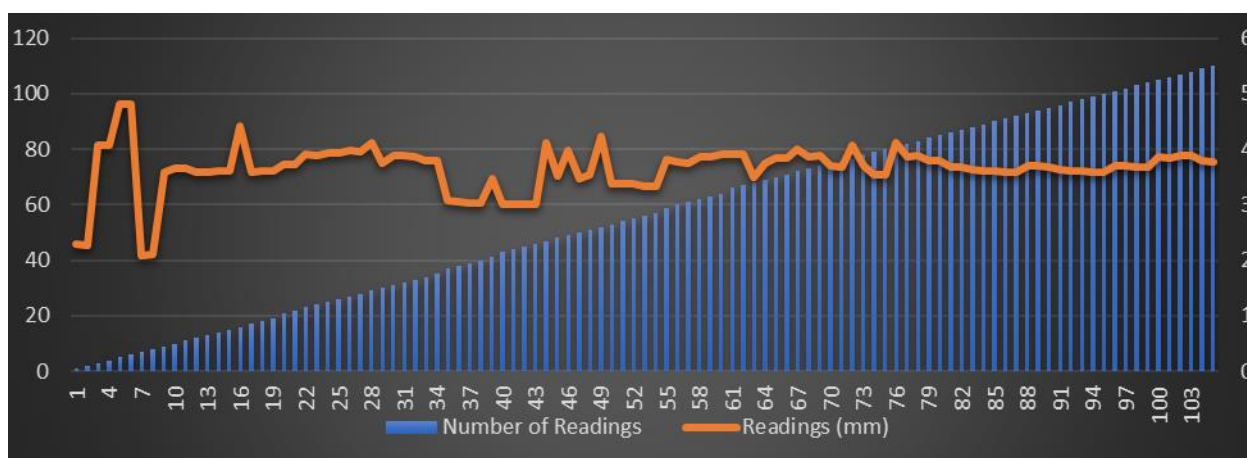
Fonte: Manual de instruções para calibração de aparelho ultrassónico WT130A

A partir das inspeções, foram feitas um total de 121 leituras de espessura.

- O valor máximo lido foi de 31 mm.
- O valor mínimo lido foi de 2,09 mm.

Gráfico 1

Gráfico das leituras realizadas.



Fonte: própria

A partir das leituras realizadas, pode-se observar que a maioria das leituras está abaixo de 4 mm, medindo em torno de 4 mm.

Como se pode ver no gráfico a conduta apresenta uma perda de 12.5% da sua espessura na parede interna da conduta. A oxidação interna é o processo de formação de óxido longe da superfície do material, através da difusão de oxigênio dentro do material. Geralmente ocorre em metais, ligas e compósitos. Este processo ocorre ao longo do tempo com as passagens de líquidos. Ainda segundo MAINIER et al. (2002).

4.4.2 Definição de corrosão

Segundo (GENTIL,2011) A corrosão pode ser definida com um processo químico ou eletroquímico de destruição total, parcial, superficial ou estrutural dos materiais suscetíveis a tal processo. Sendo, desta forma, um crescente e contínuo desafio ao ser humano, que busca aprimorar a tecnologia para proteger tais materiais e evitar a corrosão.

A corrosão afeta as taxas de fluxo e a eficiência, enfraquece da conduta e pode levar a paradas inesperadas e caras, o tipo de corrosão que ocorre nesta conduta é a corrosão uniforme por Pitting, não se teve acesso a superfície interna da conduta, mas de acordo com a variação de espessura em toda a sua extensão chega-se a conclusão de que a corrosão que afeta esta conduta seja a corrosão interna uniforme por Pitting como podemos observar na foto a seguir (GENTIL,2011):

Figura 8

Exemplo de uma corrosão interna uniforme por Pitting



Fonte: Imagens (GENTIL,2011)

Os efeitos e a gravidade da corrosão dentro de um sistema de tubulação em construções industriais a corrosão pode levar às seguintes questões:

A classificação da pressão diminui em função do desgaste das paredes das condutas. A velocidade do fluxo pode ser retardado exigindo mais das bombas.

A pureza do líquido pode ser contaminada à medida que as peças corroídas flutuam. Esta é uma preocupação significativa para aplicações com padrões de alta pureza (por exemplo, plantas semicondutoras). Corrosão que se processa em toda extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura. Esta terminologia é usada, por alguns, como corrosão generalizada, que, porém, não deve ser empregue apenas para corrosão uniforme, pois pode-se ter, também corrosão por pite ou alveolar generalizada, isto é, em toda extensão da superfície corroída. mais experientes perto de se aposentarem.

Corrosão por pite: Este Este tipo de corrosão faz com que pequenos furos (“*Pites*”) se formem ao longo do comprimento da conduta de metal, por isso o termo corrosão por *pitting*. Essa corrosão diminui a espessura da parede da conduta, reduzindo sua resistência e capacidades de transporte da pressão. *GENTIL, Vicente. Corrosão. In: Corrosão. Guanabara dois, 1982.*

4.4.3 Corrosão no cordão de soldadura

Este tipo de corrosão é causado por conta de elevação de temperatura durante a soldagem, formação de uma fina película de óxidos de ferro, Respingos e óxidos permaneceram e impediram a adequada aderência do revestimento na zona da solda. Este tipo de corrosão em um estado avançado e sem o seu devido tratamento chega a causar perfurações em alguns casos, estes tipos de corrosão são mais comuns em instalações industriais (GENTIL,2011).

Figura 9

Foto de corrosão na zona da solda na conduta de transporte de água para a Casthouse



Fonte: Propiá

CAPÍTULO 5 APRESENTAÇÃO ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 Cálculos para a determinação do tempo de vida útil da conduta

Espessura mínima que o tubo deve ter sem comprometer a tubagem:

$$T_c = P.R / (S.E - 0,6.P)$$

Sendo:

R=raio interno da tubagem=0,6 m;

P=Pressão interna máxima=Pressão de Projeto=2 bar=0,2Mpa;

S=Tensão Admissível Aço S275jr =360Mpa

E=eficiência de junta das soldas=1,0.

$$T_c = 0,2 \cdot 0,6 / (360 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,2) = 0,0003 \text{ mm}$$

Para reforçar a segurança usaremos $t_c=1\text{mm}$ tendo em conta que estamos a trabalhar com espessuras normalizadas apesar de estar subdimensionado.

5.2 Cálculo da perda de peso em total resultante da pressão;

$$W_t = (t_c - e) \cdot c \cdot (3,14 \cdot d) \cdot g$$

Onde:

c- Comprimento (2,444 m)

g- Densidade do aço S275jr= (7860 kg/m³);

d- Diâmetro (0,6 m)

e- Espessura (0,004)

t_c - espessura mínima (0,001)

$$W_t = 0,003 \cdot 2,444 \cdot (3,14 \cdot 0,6) \cdot 7860$$

$$W_t = 1.085,74 \text{ kg};$$

$$W_t = 1.1 \text{ ton}$$

Cálculo da perda de massa em relação ao diâmetro

$$W=Wt/c$$

$$W=1.085,74/2,444$$

$$W=444,24 \text{ kg}$$

5.3 Cálculo da Longevidade considerando somente o efeito da corrosão.

Antes de calcular e para ajudar na compreensão dos resultados, é importante sabermos que:

1 MPY (mil por ano) é igual a 0,0254 MM/Y (milímetro por ano), o que é igual a 25,4 MicroM/Y (micrômetros por ano).

O cálculo da taxa de corrosão dos metais, considera a seguinte equação:

$$\text{MM/Y} = 87,6 \times (W / g \times A \times T)$$

Conhecendo as siglas:

W – Perda de peso em miligramas resultante da pressão (1,085.74 kg);

g – Densidade do S275jr (7860 kg/m³)

A – área de amostra em m²,

T – Tempo de exposição da amostra de metal em horas (8766 horas/ano) 1 ano.

Cálculo da Área da tubagem

$$A=3,14.d.c$$

$$A=3,14.600.2444$$

$$A=4,6 \text{ m}^2$$

$$\text{MM/Y} = 87,6 \times (444,24 \text{ kg}/7860, \text{ kg/m}^3 \times 4,6 \text{ m}^2 \times 8766 \text{ ano})$$

$$MM/Y=0,33 \text{ mm/ano}$$

Com isso Podemos calcular o Número de anos (Tn) para que se atinja a espessura mínima.
(tc)

$$Tn=(e-tc) /MMY;$$

$$Tn= (4-1) /0,33;$$

$$Tn=9,01$$

O tempo é de aproximadamente 9anos.

Uma outra maneira de calcular a taxa de corrosão é utilizar a calculadora da “corrosion source Inventor Autodesk 2022” e inserir os dados nos campos correspondentes.

5.4 Cálculo da taxa de corrosão na calculadora Inventor autodesk

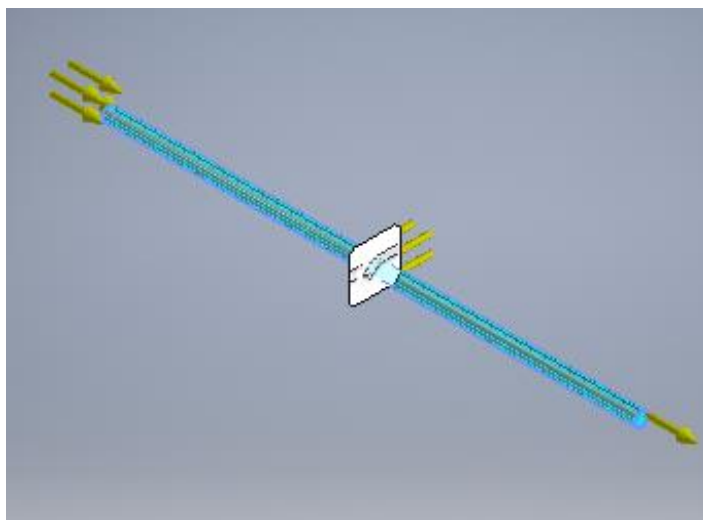
Nome	Aço ASTM S275jr	
Geral	Densidade de massa	7.87 g/cm ³
	Resistência à escoamento	978 MPa
	Resistência máxima à tração	1349 MPa
Tensão	Módulo de Young	207 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.33 s_m
	Módulo cortante	77.8195 GPa
Nome(s) de peça	Peça3	
Fluido escoado	Água (densidade 1000kg/m ³) (Aditivos não foram considerados)	

5.4.1 Condições de funcionamento

Pressão:1

Tipo de carga	Pressão
Magnitude	0.200 MPa

5.4.1.2 Faces selecionadas



5.4.1.3Resumo de resultados

Nome	Mínima	Máxima
Volume	532010000 mm ³	
Massa	4186.92 kg	
Tensão de Von Mises	0.0834182 MPa	0.40993 MPa

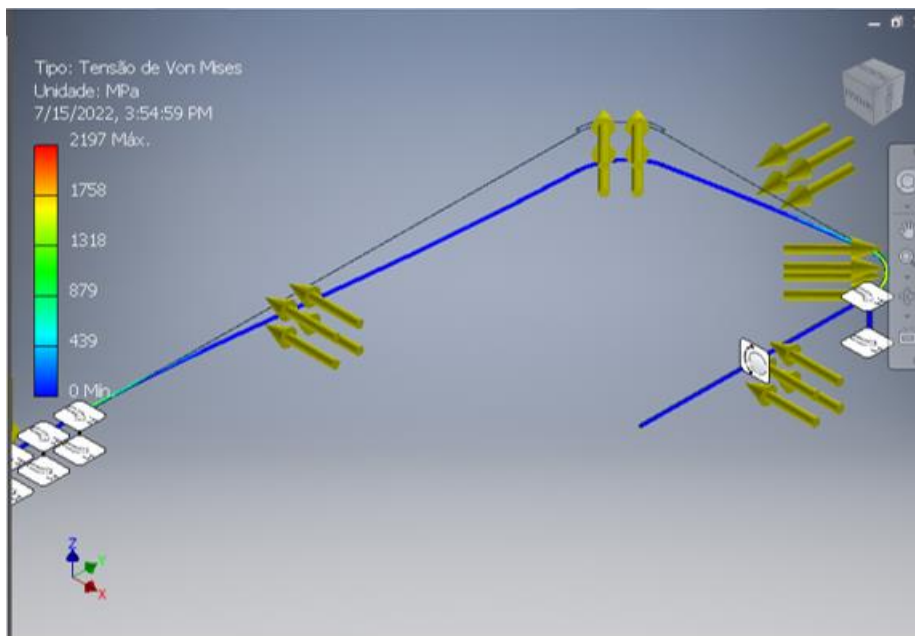
Estudo de integridade da conduta de transporte de água para o arrefecimento de lingotes

Nome	Mínima	Máxima
Primeira tensão principal	-0.108669 MPa	0.0984481 MPa
Terceira tensão principal	-0.403241 MPa	-0.163693 MPa
Deslocamento	0 mm	0.0000285236 mm
Fator de segurança	15 s_m	15 s_m
Tensão XX	-0.215126 MPa	-0.0726731 MPa
Tensão XY	-0.200801 MPa	0.209762 MPa
Tensão XZ	-0.0628265 MPa	0.0594483 MPa
Tensão YY	-0.122387 MPa	0.0548494 MPa
Tensão YZ	-0.0979813 MPa	0.159716 MPa
Tensão ZZ	-0.196306 MPa	-0.0381747 MPa
Deslocamento X	-0.0000113544 mm	0.0000106311 mm
Deslocamento Y	-0.0000021871 mm	0.000026165 mm
Deslocamento Z	-0.00000802535 mm	0.0000085599 mm
Deformação equivalente	0.000000436698 s_m	0.00000179003 s_m
Primeira deformação principal	-0.00000000110157 s_m	0.00000113669 s_m
Terceira deformação principal	-0.00000187463 s_m	-0.000000534839 s_m

Estudo de integridade da conduta de transporte de água para o arrefecimento de lingotes

Nome	Mínima	Máxima
Deformação XX	-0.000000983325 s_m	0.0000000801754 s_m
Deformação XY	-0.00000129017 s_m	0.00000134775 s_m
Deformação XZ	-0.000000403668 s_m	0.000000381963 s_m
Deformação YY	-0.000000101919 s_m	0.000000660796 s_m
Deformação YZ	-0.000000629542 s_m	0.0000010262 s_m
Deformação ZZ	-0.000000728796 s_m	0.0000000618081 s_m
Quantidade de massa perdida	850 kg	1.350,64 kg
Área Afectada	Toda interna do tubo (44,712,645.210 mm ² (Erro relativo = 0.000000%))	
Espessura perdida	3.3 mm	3.7 mm
Espessura que resta	0.9 mm	0.28 mm
Tempo de corrosão máxima	12 anos	16 anos
Taxa de corrosão	0.225	0.1821
Nível de corrosão	Severo com efeito eletroquímico (Meio aquoso sem elementos ou aditivos na água para a proteção do tubo e sem ânodos de sacrifícios anexados ao tubo)	

5.4.2.4 Cálculos de flexão



Massa	136865 kg
Área	905764000 mm ²
Volume	1.73927E+10 mm ³
Centro de gravidade	x=-8604.07mm y=22599.8mm z=3460.72 mm

5.4.2.5 Objetivo geral e configurações:

Objetivo do projeto	Ponto único
Tipo de estudo	Análise estática

Nome	Aço ASTM S275jr	
Geral	Densidade de massa	7.87 g/cm ³
	Resistência à escoamento	978 MPa
	Resistência máxima à tração	1349 MPa
Tensão	Módulo de Young	207 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.33 s _m
	Módulo cortante	77.8195 GPa
Nome(s) de peça	Peça3	

Nome	Genérico	
Geral	Densidade de massa	1 g/cm ³
	Resistência à escoamento	0 MPa
	Resistência máxima à tração	0 MPa
Tensão	Módulo de Young	0.0000001 GPa
	Coefficiente de Poisson	0 s _m
	Módulo cortante	0.00000005 GPa

Estudo de integridade da conduta de transporte de água para o arrefecimento de lingotes

Nome	Aço, suave	
Geral	Densidade de massa	7.85 g/cm ³
	Resistência à escoamento	207 MPa
	Resistência máxima à tração	345 MPa
Tensão	Módulo de Young	220 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.275 s _m
	Módulo cortante	86.2745 GPa

CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES E RECOMENDACÕES

6.1 Conclusões

Neste trabalho foi feito um estudo de integridade de uma conduta de transporte de água, para o arrefecimento de lingotes na Casthouse em que a princípio foi feita uma pesquisa de dados referentes a espessura durante os anos de funcionamento.

Por falta de existência destes dados avançou-se para a testagem da espessura da conduta por meio de um dispositivo de medição ultrassónica, foram colhidas as espessuras atuais da conduta e posterior avaliação do nível de perda de massa foi ligeiramente aceitável visto que a conduta na altura da sua instalação possuía uma espessura de 4mm e atualmente a espessura média do tubo é 3,6 mm e a mínima medida foi de 2.1 mm em certo troço da conduta.

Fez -se também o cálculo de espessura mínima que o tubo deve ter dada ao funcionamento de níveis de pressão interna de 13,23 Mpa e vazão de 400m³/hr chegou-se a conclusão de que o tubo está a funcionar dentro da espessura mínima requerida que foi calculada em 0.3mm para reforçar a segurança em termos normativos de segurança no funcionamento podemos admitir uma espessura mínima de 1mm para o funcionamento da conduta.

A taxa de perda de massa com relação a corrosão por ano será de 0.33 mm por ano, consequentemente a estimativa de número de anos para que atinja a espessura mínima será de 9 anos, a estiva de vida útil da conduta para um funcionamento seguro será de 9 anos dentro das condições de funcionamento acima descritas.

6.2 Recomendações

Recomenda-se que se faça uma proteção contra a corrosão ao longo da conduta de transporte de água e que se faça um plano de prevenção contra a corrosão de 5 em cinco anos que sigas as instruções do SOP da Mozal para a prevenção contra a corrosão em Estrutura metálica em condições ambientais, externa (aos edifícios) onde resistência à degradação da cor pela luz solar é importante:

Stage	Coating	Minimum Standard
Cleaning	Abrasive Blast Clean	Sa 2½
Primer	Zinc Rich Epoxy Primer	70 - 80 µm
Final Coat	Inorganic Top Coat	125 - 150 µm

Blast profile shall be 25 - 50 µm.

Total D.F.T. 195 - 230 µm

Tabela de especificações para proteção de metal

Fonte: Corrosion protection specification

Sendo corrosão um processo que ocorre naturalmente na natureza é difícil conter este processo químico, e também difícil de calcular a taxa de perda de espessura que a conduta poderá sofrer ao longo dos anos a menos que se tenha feito um controle de perda de espessura anual ao longo dos anos de funcionamento, sendo assim recomendo que se faça uma inspeção periódica de dois em dois anos e que se tenha uma base de dados para o registro destas perdas de espessura, que poderá facilitar prever com mais fiabilidade a estimativa da vida útil da conduta.

6.3 Limitações da pesquisa

A limitação da pesquisa foi a de não se possuir uma base de dados com registo de perdas de espessura que foram ocorrendo durante os 20 anos de funcionamento que dificultam a previsão da taxa de perda de espessura por.

6.4 Sugestões para futuros trabalhos

Como sugestão para futuros trabalhos, sugiro que ao fazer uma pesquisa sobre a estimativa da vida útil de uma conduta que esteja no processo de corrosão, que não se foque apenas nos cálculos da taxa de corrosão dão resultados não muito fiáveis, mas sim que se concentre nos cálculos das tensões que afectam a conduta de acordo com a espessura a pressão e os apoios que o tubo possui actualmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAM AN; Associação Brasileira de Manutenção; A Situação da Manutenção no Brasil - Documento Nacional; RJ; 1997;
2. Adolpho soares, abende - associação brasileira de ensaios não destrutivos, Ensaios não destrutivos. Disponível em:<<http://www.abende.org.br/index.php?w=1024&h=768> > Acesso em: 10 mar. 2012.
3. Arilson rodrigues da silva, José fransico de oliveira, Aplicações e limitações da técnica de ultra-som b-scan – uma experiência prática. Disponível em:
4. Asme Boiller and Pressure Vessel Code – Rules for Construction of Pressure Vessel. Atlas, 1985. 267 p.
5. *Avaliação de integridade e estimativa de vida útil de componentes de caldeiras em UTES - Grupo de trabalho de manutenção de usinas térmicas - GTMT/ABRAGE - Belo Horizonte, publicado em 23 de maio de 2013*
6. Barber M, Tabereaux AT (2014) The evolution of Soderberg Aluminum Cell Technology in
7. Bayer KJ (1888), Process of obtaining alumina. US patent 382505, filed on 18 Aug 1887,
8. Bruno MJ (2003) Aluminum carbothermic technology comparison to Hall-Hérout process. In:
9. Carlos Alberto Cavalcanti, Danilo delamare Elias ferreira, Egle de souza
10. control system—simple and flexible. Int Alumínio J 1–2:32, 34
11. corrosão em equipamentos. Tese (Mestrado em Estatística) – Instituto de granted on 7 Mar 1961 granted on 8 May 1888
12. DNPM/DIPLAM; USGS- Mineral Commodity Summaries–2013; International Aluminium Institute (IAI); Associação Brasileira do Alumínio (ABAL). (p) Dado preliminar, exceto Brasil; (r) revisado. (1) reserva lavrável de bauxita, para o Brasil; (2) reserva econômica de bauxita, para os demais países.
13. Grunert E, Mercier J (1961) Reduction of alumina. US patent 2,974,032, filed on 28 Feb 1960,
14. Hall CM (1889) Process of reducing aluminum by electrolysis. US patent 400766, filed on 9

15. Hérault PL-T (1886) French patent 175,711, filed on 23 Apr 1886 and granted on 1 Sept 1886
16. Ikram-ul-Haq M, Khanna R, Mukherjee PS, Sahajwalla V (2018) 2. Recent developments
17. in lower temperature carbothermic reduction of alumina as alternative routes for aluminum
18. In: International smelting technology symposium (incorporating the 6th advances in sulfide).
19. Interciência, 2003. 51 p.
20. July 1886, granted on Apr 1889
21. kiminame; castro; oliveira, 2013).(Quotation taken from reference<<http://www.aaende.org.ar/sitio/biblioteca/material/T-087.pdf>>. Acesso em: mar. 201218(3):317–319
22. Light metals, pp 395–400
23. Matemática, Estatística e Computação, UNICAMP, São Paulo, 1994. 116 p.
24. McMahan TK, Dirth GP (1966) Computer control of aluminum reduction cells. JOM
25. MEDEIROS, Metodologia para avaliação de integridade de equipamentos industriais em serviço.
26. MONTE, M. B. M. e ADAMIAN, R. (1994))
27. New York: ASME, 2015, 816 p.
28. North and South America. JOM 66(2):223–234
29. OTAKAR JONAS, LEE MACHEMER, Steam turbine corrosion and deposits problems and solutions. Disponível em: <http://turbolab.tamu.edu/uploads/files/papers/t37/T37-TUT06.pdf>>.
30. Paulo villane marques, Silvério ferreira da silva júnior, ensaios não destrutivos. disponível em: <http://www.demec.ufmg.br/site/cursos/arquivos/168pdf>
31. Peças Aeronáuticas. Rio de Janeiro: CEFET-RJ, 2012. 100 p. pp 81–88
32. production. Recent Res Dev Mat Sci 11:25–42
33. RAMOS, Carlos R. Perfil Analítico de Alumínio. Boletim nº 55 DNPM. – Brasília, 1982.
34. Relatório (Mestrado em Matemática), UBI. Portugal, 2012.
35. Reverdy M, Alzarooni A (2018) Emirates global aluminum state-of-the-art advanced pot.
36. RODRIGUES, S. C. A. Modelo de Regressão Linear e suas Aplicações. 94 p.

37. SANTIN, J. L. Ultrassom: Técnica e Aplicação. Curitiba: OPTAGRAF, 2003. 276 p.
38. SILVA, B.C.A. Estudo das Incertezas na Medição de Espessura por Ultrassom em
39. smelting symposium). TMS (The Minerals, Metals and Materials Society), San Antonio, TX,
40. Sutar S, Munde D. Review Paper on Bauxite Residue Characteristics, Disposal and Utilization. International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology. 2015; 2.
41. TELLES, P. C. S. Vasos de Pressão. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 302 p.
42. TELLES, P.C.S. Materiais para Equipamentos de Processo. Rio de Janeiro:
43. THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME Section VIII.
44. TOLEDO, G. L.; MARTINS G. A.; FONSECA J. S. Estatística Aplicada. São Paulo:
45. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte – 2009
46. VIVANCO, M. J. F. Análise de valores extremos no tratamento estatístico da
47. VUOLO, J. H. Fundamentos da teoria de erros. São Paulo: Ed. Blucher, 1996.
48. White CV, Mikkelsen Ø, Roha D (2012) Status of the Alcoa carbothermic aluminum project.
49. World Bureau of Metal Statistics, 2008.

ANEXOS

1. Fotos do tubo de transporte de água a Casthouse.
2. Desenho esquemático do arrefecimento de lingotes.

Estudo de integridade da conduta de transporte de água para o arrefecimento de lingotes



