



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

**ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO A VOLTA, NO TOPO E CORRIMÕES DE**  
**TANQUES ATMOSFÉRICOS DE ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEL DA**  
**PETROMOC- LÍNGAMO**

Discente:

**Francisco Armindo Ferreira**

Supervisor (s)

**Eng. Roberto David**

Julho, 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO A VOLTA, NO TOPO E CORRIMÕES DE  
TANQUES ATMOSFÉRICOS DE ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEL DA  
PETROMOC- LÍNGAMO**

Discente:

**Francisco Armindo Ferreira**

Supervisor (s)

**Eng. Roberto David**

**Julho, 2022**

## **V. DECLARAÇÃO DE HONRA**

Eu, Francisco Armindo Ferreira declaro por minha honra que o presente Projecto Final do Curso de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial 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: \_\_\_\_\_

#### **IV. DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todos colegas do curso de Engenharia e a todos profissionais que buscam solucionar os problemas corrosivos eminentes na indústria.

### **III. AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as minhas conquistas, ao supervisor Roberto por todo apoio, á minha parceira e aos meus pais, irmãos e amigos.

Endereço também um especial agradecimento aos professores e profissionais da Petromoc que sempre prontificaram-se a sacrificar parte de seu tempo para esclarecerem-me dúvidas. Este agradecimento vai especialmente aos docentes: Roberto David, Amílcar Ramos Domingos, Bernardo Viandro Andaque, Mocomoque Domingos, Pedro António Ashenga, Paulo João Conselho, Inácio Lhate, Tomás Salomão Massingue, Ivan Iatsyna, Justino Bernardo Mulima, Gerson Zango, Valí Issufo, Suleimane Cassamo Abdulremane, Vicente Chirime.

## **Resumo**

O presente trabalho traz uma bordagem de conteúdo relevante ao trabalho desenvolvido durante o estágio profissional na empresa petróleos de Moçambique, cujo objectivo é solucionar a corrosão visual nos tanques de armazenamento de combustível nos últimos anos. Com vista a repor o leito do sistema de protecção catódica actual e propor melhorias. Bem como, uma avaliação previa do impacto económico que a corrosão pode causar as instalações do Lígamo.

O trabalho encontra-se organizado em capítulos dos quais traz-se uma abordagem do contexto bibliográfico e posterior discussão de resultados.

**Palavras-chaves:** corrosão, protecção catódica de corrente impressa, ânodos de sacrifício, pinturas industriais.

## **ABSTRAT**

The present work brings an approach of relevant content to the work developed during the professional internship at the company petroleum of Mozambique, whose objective is to solve the visual corrosion of fuel storage tanks in recent years. In order to replace the bed of the current cathodic protection system and propose improvements. As well as a prior assessment of the economic impact that corrosion can cause on LÍngamo's installations.

The work is organized into chapters which bring an approach to the bibliographic context and subsequent discussion of results.

**Keywords:** corrosion, impressed current cathodic protection, sacrificial anodes, industrial paints.

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1. Ânodo Inertes para Sistemas de protecção por Corrente Impressa .....	15
Tabela 2: Espessura mínima de película de tinta anticorrosiva .....	20
Tabela 3: Medição do potencial catódico .....	28
Tabela 4: medição da corrente nos ânodos .....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tanques de armazenamento atmosféricos .....	8
Figura 2: Principais componentes de tanque de armazenamento .....	9
Figura 3: Influência da humidade relativa atmosférica na corrosão do ferro .....	10
Figura 4: Representação do eléctrodo de ferro. ....	11
Figura 5: Medição de potencial de eléctrodo padrão de um elemento .....	12
Figura 6: Esquema simplificado de um sistema de protecção catódica por corrente impressa. .....	14
Figura 7: Diagrama simplificado de potencial e pH para o sistema ferro puro imerso em água .....	16
Figura 8: corrosão uniforme .....	18
Figura 9: Formas de pites.....	18
Figura 10: Esquema de leito dos ânodos .....	26
Figura 11: Cabo de conexão dos ânodos .....	30
Figura 12: Ânodo de ferro-fundido.....	31
Figura 13: caixa de junção dos cabos .....	32

## ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Introdução .....	1
1.2 Problemática .....	1
1.3 Problema .....	2
1.4 Objecto .....	2
1.5 Objectivo .....	2
1.6 Hipótese/proposições .....	2
1.7 Perguntas da investigação .....	2
1.8 Justificativa .....	6
1.8.1 Importância de Desenvolver o Presente Relatório:.....	6
1.9 Estrutura do trabalho.....	6
CAPÍTULO 2 REVISÃO DE LITERATURA .....	8
2.1. Tanques de armazenamento).....	8
2.2. Conceitos básicos.....	9
2.3. Corrosão electroquímica .....	10
2.3.1 Mecanismo electroquímico .....	11
2.3.2. Pilhas electroquímicas .....	12
2.4. Protecção catódica .....	13
2.4.1. Necessidade de protecção catódica.....	13
2.4.2. Protecção catódica por corrente impressa.....	14
2.4.4. Diagrama de Pourbaix.....	16
2.4.5. Polarização.....	17
2.5. Formas de corrosão .....	17

2.5.2.1. Factores que proporcionam a corrosão localizada.....	19
2.6. Protecção contra corrosão .....	19
2.6.1. Revestimento Anticorrosivo/Pintura.....	19
2.7. Evolução histórica do objecto .....	20
CAPÍTULO 3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO .....	22
3.1.Contextualização.....	22
3.2.De que forma a empresa protege seu activo ao ataque corrosivo? .....	23
CAPÍTULO 4 METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA .....	24
4.1. Metodologia de resolução do problema.....	24
CAPÍTULO 5 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	25
5.1.Apresentação, análise de dados.....	25
5.2.Discussão dos resultados.....	29
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES E RECOMENDACÕES .....	33
6.1 Conclusões .....	33
6.2 Recomendações.....	33
6.3 Sugestões para futuros trabalhos.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

# CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Introdução

A Petromoc é uma empresa do ramo industrial que se dedica na comercialização de produtos petrolíferos, e é composta por uma vasta gama de tanques de armazenamento combustível. Para armazenamento do produto a empresa conta com tanques atmosféricos de tentos flutuantes e cónicos onde a corrosão na parte aérea do tanque é facilmente controlada com recurso a pintura industrial. Mas do mesmo modo não consegue-se proteger de forma eficiente o fundo do tanque em contacto com o solo compactado, havendo necessidade de uma protecção complementar de modo a minimizar ou estabilizar de forma desacelerada a corrosão.

E sendo a corrosão dos metais um processo que ocorre espontaneamente e com tendências a causar grandes prejuízos económicos, risco de vazamentos de materiais poluentes para o meio ambiente.

Os tanques de armazenamento são estruturas de extrema importância em unidades industriais e, como qualquer estrutura metálica, estão sujeitos a processos corrosivos.

A corrosão na parte aérea dos tanques é facilmente controlada por meio de pintura, porém em sua parte interna, quando estes armazenam produtos corrosivos, e em seu fundo, interno e externo, o controle dos processos corrosivos normalmente é feito pela associação de pintura com a instalação de um sistema de protecção catódica.

Com o propósito de minimizar tais riscos e desacelerar o ataque corrosivo, pretende-se recompor o sistema de protecção catódica de corrente impressa nos leitos cujo os ânodos apresentam baixos valores de potencial catódico.

## 1.2 Problemática

Nas bacias do LNP é notável a fraca protecção anticorrosiva nos tanques de combustível por estarem sujeitas ao ataque electroquímico devido ao teor salinidade presente no próprio solo.

No tecto, nas primeiras horas da manhã é possível observar a formação de pontos de orvalho na superfície das chapas, que aceleram a corrosão. A formação desses pontos, deve-se a diferença de temperatura entre a superfície de chapa e o ambiente.

As correntes de ar que assolam a zona portuária, carregam consigo teor de água salgada e outro grupo de impureza, que são depositadas na superfície das chapas metálica o que transforma-se em condensado nas primeiras horas da manhã. A atmosfera Marinha tem maior efeito corrosivo pois quando é transportado pelo vento, por meio de gotículas deposita-se na superfície de metal por gravidade o que influencia a aceleração corrosiva elevando a condutibilidade do electrólito.

### **1.3 Problema**

Degradação dos tanques de combustível causada pela corrosão

### **1.4 Objecto**

A corrosão nos tanques de armazenamento de combustível das bacias do LNP.

### **1.5 Objectivos**

#### **Objectivo Geral**

Análise da corrosão e a reposição do sistema anticorrosivo dos tanques de combustível da Petromoc.

#### **Objectivos Específicos**

- ✓ Identificar os motivos da corrosão no tecto e na superfície externa do tanque.
- ✓ Recompôr o sistema de protecção catódico actual.
- ✓ Propor uma solução para a protecção do tecto.
- ✓ Sugerir possíveis melhorias para construções e reparações futuras dos tanques de armazenamento de combustível.

### **1.6 Hipótese**

O sistema anticorrosivo da Petromoc pode ser melhorado pela instalação de protecção catódica no fundo dos tanques e o uso de revestimentos de pintura para o corpo e a sua superfície.

### **1.7 Perguntas de investigação**

**Quais são os métodos usados para evitar a corrosão?**

Como evitar o processo corrosivo?

- ✓ Protecção catódica. ...
- ✓ Protecção anódica. ...
- ✓ Inibidores de corrosão. ...
- ✓ Pintura Industrial. ...
- ✓ Metal de sacrifício. ...
- ✓ Ligas metálicas especiais. ...
- ✓ Revestimentos metálicos. ...
- ✓ Métodos de Galvanização.

**Quais são os processos mais empregados para prevenção da corrosão?**

Os processos mais empregados para a prevenção da corrosão são a protecção catódica e anódica, os revestimentos e os inibidores de corrosão.

**Como funciona a protecção catódica?**

A Protecção Catódica é uma técnica usada para controlar a corrosão de uma superfície metálica, tornando-a o cátodo de uma célula electroquímica. Um método simples de protecção conecta o metal a ser protegido a um "metal de sacrifício" mais facilmente corrosível para actuar como o ânodo.

**Como é feito o processo de galvanização?**

O processo de galvanização ocorre por meio de uma interacção metalúrgica entre o aço e o zinco, no qual uma camada especial de zinco é formada sobre o aço, impedindo o contacto do material com o ambiente.

**Como podemos evitar a corrosão de metais?**

Formas mais simples de prevenção de corrosão envolvem evitar que as junções de metal acumulem água, sirvam como barreira ao ar atmosférico ou permitam que a água esorra entre as placas. Se não for possível inibir totalmente a passagem de água, a sugestão é criar quebras nas conexões para drenagem.

### **Que método de prevenção da corrosão utiliza a modificação do potencial do sistema?**

Os dois principais métodos que agem sobre o potencial do metal são: protecção catódica e protecção anódica.

### **Como podemos minimizar os efeitos da corrosão?**

A protecção contra a corrosão do ferro e de outros metais pode ser feita por meio do revestimento da peça com tintas, esmaltes, óxidos e outros metais.

### **Como prevenir a corrosão por Pite?**

A corrosão por pites pode ser prevenida através das seguintes medidas:

- ✓ Selecção adequada de materiais com resistência conhecida para o ambiente de serviço.
- ✓ Controlo do pH, da concentração de íon cloreto (e outros) e da temperatura.
- ✓ Protecção catódica e/ou protecção anódica.

### **Como evitar a corrosão química?**

Aplicação de revestimentos metálicos: consiste em proteger as peças metálicas com outros metais de maior potencial de oxidação, ou seja, provocar a corrosão preferencial deste revestimento, método conhecido como protecção catódica. Isso pode ser feito de duas formas; por galvanização ou por metalização.

### **Quais são os tipos de corrosão?**

Os principais tipos de corrosão

- ✓ Química. Acontece quando um agente químico atua sobre determinado material (metálico ou não). ...
- ✓ Electroquímica. ...
- ✓ Electrolítica. ...
- ✓ Corrosão uniforme. ...
- ✓ Corrosão localizada. ...
- ✓ Corrosão alveolar. ...
- ✓ Corrosão por pites. ...

- ✓ Corrosão selectiva.

### **Como funciona uma pilha galvânica?**

Uma pilha galvânica consiste num dispositivo capaz de produzir eletricidade por meio de uma reação química. ... O metal mais ativo na tabela de potenciais de eléctrodo, ou o que ocupa posição mais elevada, é o que funciona como ânodo da pilha, isto é, cede electrões, sendo portanto corroído.

### **Como ocorre a corrosão eletroquímica?**

Esse processo se dá quando a camada protetora da superfície metálica apresenta uma falha e aos poucos começa a acumular soluções com agentes corrosivos. O metal sofre a oxidação e vai aos poucos aprofundando o pite.

### **1.8 Justificativa.**

Em sua abordagem Gentil (2007) defende a necessidade de estudar e analisar a corrosão, que é em geral, um processo espontâneo, que constantemente transforma os materiais metálicos de modo que a durabilidade e o desempenho dos mesmos deixam de atender o fim a que se destinam. Por consequência, são frequentes os problemas causados por corrosão nas mais variadas actividades, acarretando grandes perdas económicas não somente pela necessidade de substituição dos materiais, mas também pelas perdas indirectas, ocasionadas pelo mau funcionamento dos equipamentos corroídos e a consequência de acidentes por falha por corrosão, por exemplo.

A Petromoc, sendo uma empresa do ramo logístico de petróleo e derivados, os tanques de armazenamento do combustível constituem um dos principais equipamentos de suas unidades operacionais, justificando as acções que possibilitam a intensificação da sua protecção, aumentando a disponibilidade operacional e reduzindo os impactos de lucro cessante com a parada dos equipamentos para manutenção.

Os vazamentos nos tanques de armazenamento de combustíveis ocasionariam prejuízos ambientais, financeiros e de saúde pois os compostos presentes nos combustíveis são tóxicos, contaminam o ar e solo. Isso ocorre devido ao processo corrosivo entre o meio em que estão sujeitos os tanques e o metal. Embora o metal para os tanques é tratado, atendendo aos critérios de especificação de segurança e eficiência. Com o ataque corrosivo na superfície

externa e no tecto a intensificar-se motivo pelo qual os mesmos tanques sujeitam-se por ela do teor de humidade do meio, e sendo que os tanques atmosféricos apoiados directamente no solo geram diferença de potencial o que torna o solo um electrólito muito forte, para o fluxo de electrões.

De facto, a corrosão ela é severa em ambientes poluídos e com elevada humidade pela acção da água do mar por meio do fenómeno maresiano, que em contacto com os tanques faz uma ponte salina o que possibilita o fenómeno oxirredução entre do oxigénio do ar e os metais.

sendo que, com a reposição ou manutenção do sistema de protecção catódica elevará a efectividade de protecção dos tanque, mantendo o seu estado de conservação.

### **1.8.1 Importância de Desenvolver o Presente Relatório**

Viu-se a necessidade de elaboração deste projecto como forma de recompor a eficiência do SPCCI, e propor possíveis melhorias a empresa mesmo em projectos futuros.

- Evitar o desgaste precoce dos tanques;
- Reduzir os custos de manutenção devido a corrosão;
- Reduzir a poluição do meio ambiente pelo derramamento do combustível causado pela corrosão dos tanques;
- Evitar o declínio da empresa no estado de falência devido a falta do espaço de armazenamento de combustível.

### **1.9 Estrutura do trabalho**

O trabalho elaborado, foi organizado em capítulos conforme apresentado na estrutura abaixo:

Cap.1- dedica-se à introdução, na qual aborda a relevância do assunto estudado, a justificativa do trabalho desenvolvido, e os objectivos.

Cap.2- Revisão Bibliográfica – demonstra os resultados da busca realizada pelas publicações relacionadas ao tema abordado, bem como, o referencial teórico que traz conteúdos necessário para o entendimento do processo corrosivo em tanque de armazenamento do combustível.

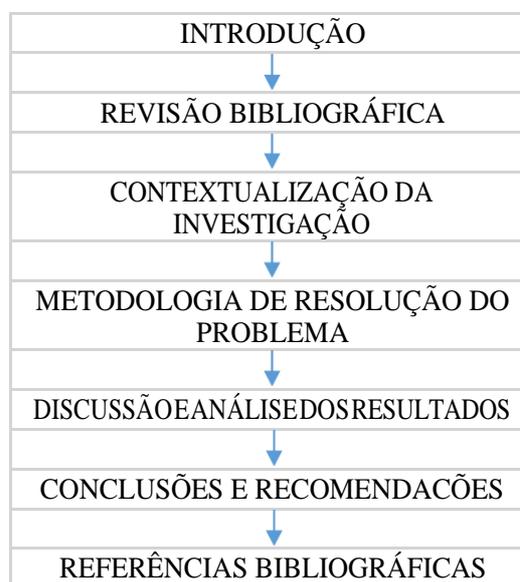
Cap.3- Contextualização, onde faz abordagem do estado actual da investigação.

Cap.4- metodologia, demonstra quais os meios ou métodos usados para a de resolução do problema.

Cap.5- Divide-se em dois subitens para abordar a análise de dados obtidos através da medição e a discussão destes resultados.

Cap.6- como forma do desfecho, apresentam-se as conclusões e recomendações.

Esquema: 1 Fluxograma do procedimento para elaboração do relatório Fonte: Elaborado pelo autor



## CAPÍTULO-2

### 2. REVISÃO DE LITERATURA

A pesquisa do tema foi realizada tendo sido seleccionados como fundamentais os conteúdos abaixo.

#### 2.1 Tanques de armazenamento

Segundo Nunes e Lobo (2012) os tanques metálicos de armazenamento apoiados sobre o solo são mais utilizados nas indústrias de petróleo e petroquímica.



Figura 1: Tanques de armazenamento atmosféricos Fonte: autor (2022)

Os tanques de armazenamento atmosféricos são usualmente classificados conforme o tipo de tecto que possui. Os tipos de tecto mais comuns são: tecto fixo e tecto flutuante.

Conforme Barros (2006) os tectos fixos são directamente ligados à parte superior de seus costados, podendo ser autoportantes (apoiados exclusivamente no costado) ou suportados por uma estrutura interna de perfis metálicos. Já os tectos flutuantes ficam directamente apoiados na superfície do líquido armazenado, acompanhando a movimentação do nível de líquido no esvaziamento e no enchimento.

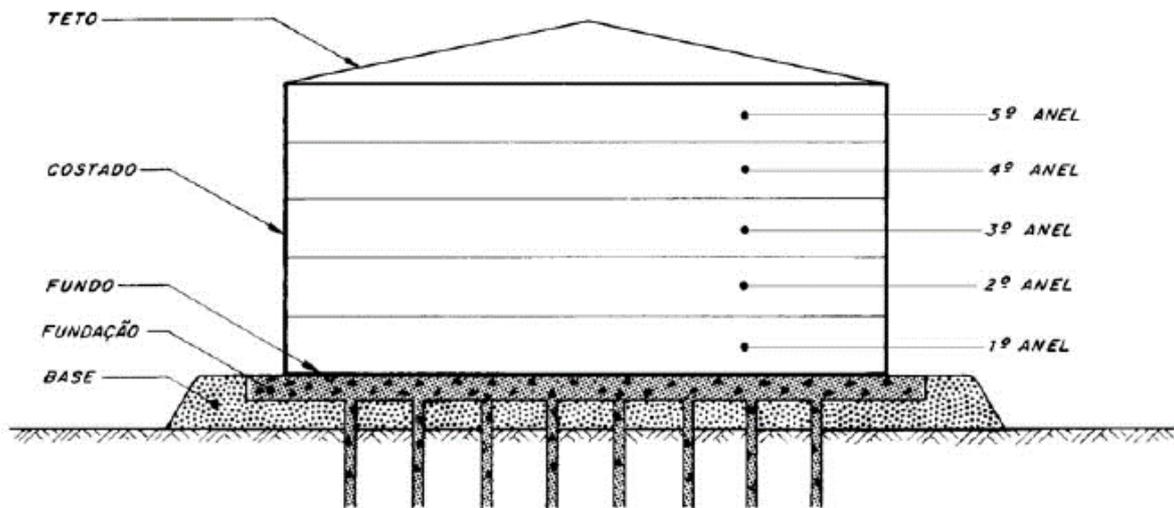


Figura 2: Principais componentes de tanque de armazenamento Fonte: Barros (2016)

## 2.2. Conceitos básicos

Segundo (American Petroleum Institute) ,Petróleo é um recurso natural, abundante, porém sua pesquisa envolve elevados custos e complexidade de estudos. É também actualmente a principal fonte de energia. E Serve como base para fabricação dos mais variados produtos, dentre os quais destacam-se: benzinas, óleo diesel, gasolina, alcatrão, polímeros, plásticos e até mesmo medicamentos.

Segundo Gentil (2007, p. 1) “pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por acção química ou electroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos”. Ou seja, “é o inverso do processo siderúrgico, cujo objectivo principal é a extracção do metal a partir de seus minérios ou de outros compostos, ao passo que a corrosão tende a oxidar o metal”.

Segundo Telles (2003), Revie (2008), a corrosão pode ser definida como sendo a deterioração e a perda de material devido a acção química ou electroquímica do meio ambiente, aliado ou não a esforços mecânico.

Segundo Demoz e Friesen (2005, p. 2), “a corrosão é uma das causas mais comuns de vazamentos em tanques de armazenamento”. Sendo que, a corrosão se apresenta tanto interna como externamente nestes equipamentos. A melhoria das características químicas das tintas aplicadas internamente reduziu a incidência da corrosão interna, possibilitando aumento das campanhas operacionais.

### 2.3. Corrosão electroquímica

A diferença entre os mecanismos da corrosão electroquímica e da corrosão química é abordada por Gentil (2007), que cita que no mecanismo electroquímico ocorrem reacções químicas com transferência de carga ou electrões através de um electrólito, enquanto no mecanismo químico ocorrem reacções químicas directas entre o material metálico e o meio corrosivo.

Okokoyo (2005) citam que “a corrosão externa nos tanques de combustível é resultado de um processo electroquímico, pois envolve o transporte de electrões de uma fonte (ânodo) para um receptor (cátodo) através de um caminho eléctrico criado por um meio condutor (eletrólito)”.

Conforme Telles (2003, p. 53) “as diversas formas de corrosão electroquímicas ocorrem necessariamente em meios húmidos, com presença de água ou humidade”.

Segundo Gentil (2006) cita que, em atmosfera de baixa humidade relativa, o ferro praticamente não sofre corrosão, de forma que, em atmosfera com humidade relativa próxima de 60% a corrosão é lenta, mas acima de 70% ela é acelerada, sendo chamado de humidade crítica o valor da humidade relativa acima do qual verifica-se uma rápida aceleração do processo corrosivo. Caso haja, além da humidade, a presença de outras substâncias poluentes, a velocidade de corrosão é acelerada.

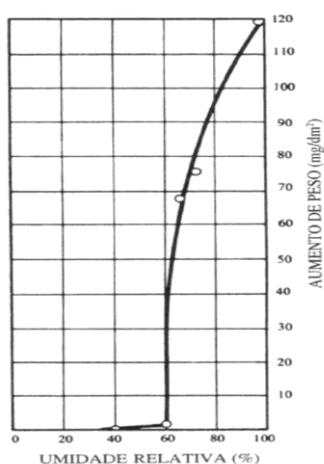


Figura 3: Influência da humidade relativa atmosférica na corrosão do ferro

Fonte: Gentil (2007, p. 56)

Segundo Zayed et al. (2005, p. 6), “a humidade relativa crítica é a humidade abaixo da qual a água não se formará em superfície de metal limpa e, portanto, a corrosão electroquímica ou húmida também não ocorre. A espessura e a composição química do filme de água são importantes”.

### 2.3.1 Mecanismo electroquímico

#### Potencial de eléctrodo

Quando um metal é imerso em uma solução electrolítica ocorre uma diferença de potencial entre o metal e a solução. Esta diferença de potencial é de natureza eléctrica e química, simultaneamente, e por esta razão é denominada diferença de potencial electroquímico. O eléctrodo é o sistema formado pelo metal e pela solução electrolítica vizinha ao metal. (GENTIL 2007, p. 16)

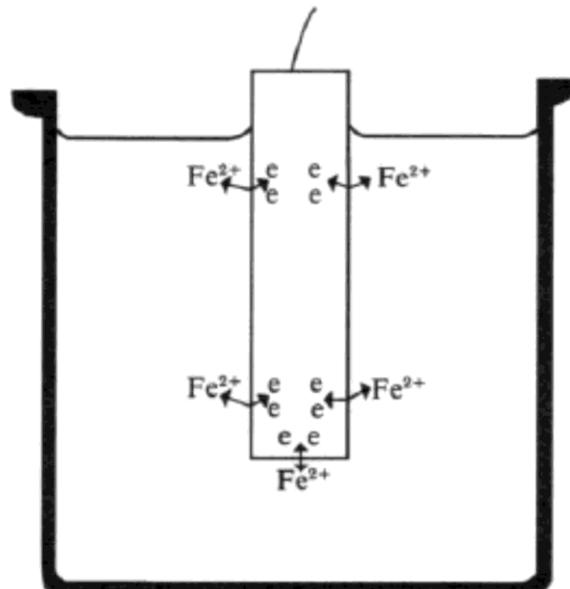


Figura 4: Representação do eléctrodo de ferro. Fonte: Gentil (2007, p. 16)

Segundo Gentil (2007), a medição do potencial de eléctrodo, em que ocorre o equilíbrio, não pode ser realizada sem um valor de referência ou de um potencial padrão. Segundo o mesmo autor pode-se medir o potencial de um eléctrodo ligando-o a um voltímetro e considerando um segundo eléctrodo como referência.

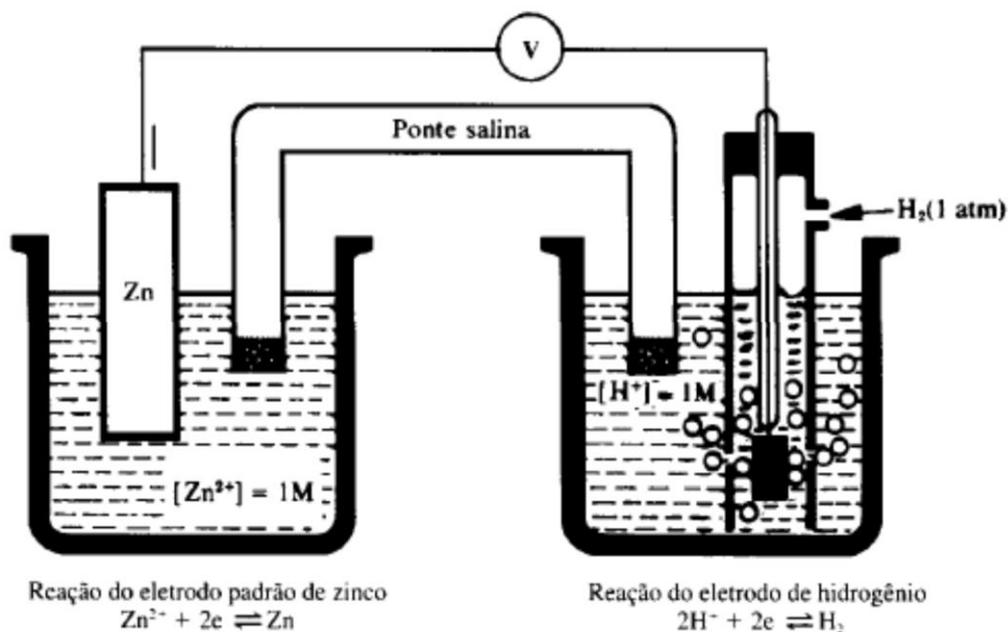


Figura 5: Medição de potencial de eléctrodo padrão de um elemento. Fonte: Gentil (2017, p. 18)

### 2.3.2. Pilhas electroquímicas

Segundo Gentil (2007) uma pilha electroquímica é constituída por: ânodo, cátodo, electrólito e o circuito metálico. A retirada de qualquer um desses componentes elimina a pilha, e consequentemente, reduz a possibilidade de corrosão electroquímica.

A pilha é caracterizada pela diferença de potencial entre seus eléctrodos (ânodo e cátodo) em circuito aberto, sendo esta a sua força electromotriz.

Segundo Telles (2003) as irregularidades microscópicas no próprio material metálico são as causas mais comuns de diferenças de potencial.

A falta de homogeneidade no electrólito também propicia a formação de potenciais diferentes no metal, formando a pilha.

Segundo Gentil (2007) a pilha constituída de um único material metálico em contacto com um mesmo electrólito que apresenta regiões com diferentes teores de gases dissolvidos é chamada pilha de aeração diferencial. Esta pilha ocorre com mais frequência em regiões diferentemente aeradas, como frestas por exemplo, sendo o eléctrodo mais aerado o cátodo e o menos aerado o ânodo.

## **2.4. Protecção catódica**

A protecção catódica é um método de controlo de corrosão que consiste em transformar em cátodo de uma célula electrolítica ou electroquímica a estrutura que se deseja proteger. Em função da necessidade de um electrólito contínuo para que a protecção catódica seja actuante, a mesma não pode ser utilizada em estruturas aéreas, podendo ser utilizada em estruturas enterradas ou submersas.

Segundo Parker e Peattie (1984), existem dois processos pelos quais se pode aplicar protecção catódica, ambos com base na injeção de uma corrente eléctrica na estrutura, através do electrólito. Sendo que para o relatório interessa trazer abordagem da protecção catódica por corrente impressa que é a protecção amplamente utilizada nas instalações do Lingamo.

Segundo Dutra e Nunes (2006) a superfície metálica protegida catodicamente é polarizada a um nível tal que toda sua área se torna catódica, e em uma superfície catódica só ocorrem reacções de redução, por esta razão, não ocorre a reacção de dissolução do metal. Devido às reacções de redução na superfície catódica, há uma elevação do pH próximo ao cátodo, o que favorece a não ocorrência de corrosão do metal.

### **2.4.1. Necessidade de protecção catódica**

A princípio todo tanque de armazenamento com base apoiada ou enterrado necessita de uma protecção catódica. Para se instalar uma protecção catódica para tanques em fase de construção ou em operação somente pode ser tomada após uma análise cuidadosa do projecto de construção e do local de instalação do tanque.

Para tanques com base apoiada e tanques enterrados somente podemos afirmar que a protecção catódica não é necessária se as cinco condições abaixo não forem atendidas:

- Tanques construídos em local com resistividade eléctrica do solo elevado superior a 100.000 ohm.cm;
- Ausência de par galvânico aço/cobre, ou seja, tanque não aterrado electricamente com hastes e cabos de cobre nu;
- Ausência de correntes de fuga ou correntes de interferência;
- Garantia de vedação permanente entre a base do tanque e a chapa do fundo, de modo a não permitir a entrada de água e poluentes;
- Tanque instalado sobre uma laje de concreto de grandes dimensões, com altura superior a um metro.

## I. Influência do Aterramento Eléctrico:

Os sistemas de aterramento eléctrico, são necessários por questões de segurança construídos com cabos e hastes de cobre, introduzindo um par galvânico aço/cobre, onde, o aço se corrói em benefício do cobre. Os aterramentos eléctricos causam também corrosão severa nas tubulações de aço enterradas dentro da planta industrial (rede de incêndio, tubulações de gás, água potável, ar comprimido e produtos diversos). Em todos esses casos a única solução capaz de resolver o problema de corrosão é na instalação de protecção catódica.

## II. Influência das Correntes de Fuga ou Correntes de Interferência:

As correntes de fuga ou correntes de interferência quando presentes causam sérios problemas de corrosão electrolítica nos tanques e tubulações enterradas de uma planta industrial. As mais comuns e potencialmente mais prejudiciais são as correntes geradas por sistemas de energia eléctrica em corrente contínua, as correntes oriundas de ferrovias electrificadas como os trens urbanos e os metrôs, as correntes provenientes da utilização de máquinas de solda

### 2.4.2. Protecção catódica por corrente impressa

Para Dutra e Nunes (2006), a corrente eléctrica que é fornecida ao SPC provém de um rectificador de corrente contínua que gera força electromotriz utilizando um conjunto dispersor de corrente no electrólito, feito de ânodos inertes chamado leito de ânodos.

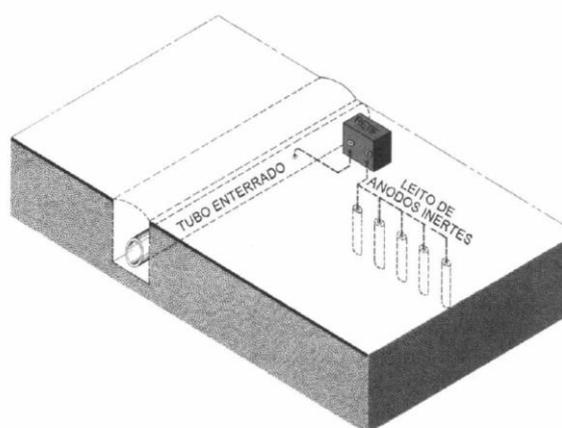


Figura 6: Esquema simplificado de um sistema de protecção catódica por corrente impressa.

Fonte: Dutra e Nunes (2006, p. 69)

Para tanques de armazenamento de combustível, conforme Kroon e Urbas (1992), para melhor distribuir a corrente de protecção catódica, os ânodos do sistema de protecção catódica por corrente impressa podem ser instalados de formas variadas, como: horizontal ou verticalmente ao redor do tanque.

### 2.4.3. Ânodos Inertes

Os ânodos usados em sistemas por corrente impressa diferem fundamentalmente dos ânodos galvânicos pelo fato de serem inertes, apresentando um desgaste bastante baixo e possuindo vida mais longa.

Nos últimos anos foram desenvolvidos ânodos não metálicos, à base de polímeros especiais. Para os diversos tipos e características dos ânodos inertes, construídos de materiais apropriados, os ânodos, ao liberarem corrente para o solo em direcção à estrutura que se encontra ligada ao negativo do rectificador, sofrem desgaste suave, que depende do material utilizado e da densidade de corrente (a/m<sup>2</sup>) aplicada nas suas superfícies.

Os ânodos são instalados na posição vertical ou horizontal, sendo comum o uso de enchimento condutor de coque metalúrgico moído. Quando o coque é convenientemente compactado em torno do ânodo, obtém-se menor resistência de saída da corrente para o solo, além da diminuição do consumo do ânodo, uma vez que boa parte da corrente é descarregada por intermédio do coque metalúrgico.

Tabela 1. Ânodo Inertes para Sistemas de protecção por Corrente Impressa

Ânodo	Densidade de corrente recomendada (a/m <sup>2</sup> )	Desgaste médio (kg/A . ano)
<b>Grafite</b>	até 3	<b>0,20</b>
<b>Ferro/silício (Fe-Si)</b>	até 15	<b>0,35</b>
<b>Ferro/silício/cromo (Fe-Si-Cr)</b>	até 15	<b>0,35(2)</b>
<b>Chumbo/antimônio/prata (Pb-Sb-Ag)</b>	50/100	<b>0,10</b>
<b>Titânio platinizado (Ti-Pt)</b>	até 1.000	<b>Desprezível</b>
<b>Nióbio platinizado (Nb-Pt)</b>	até 700	<b>Desprezível</b>

<b>Tântalo platinizado (Ta-Pt)</b>	até 1.100	<b>Desprezível</b>
<b>Titânio oxidado</b>	até 1.100	<b>Desprezível</b>
<b>Magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)</b>	até 115	<b>0,04</b>
<b>Ferrita (0,4 MO . 0,6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	até 115	<b>0,0004(3)</b>
<b>Ferrita (0,1 Mo . 0,9 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>até 115</b>	<b>0,002(3)</b>

#### 2.4.4. Diagrama de Pourbaix

O entendimento sobre do diagrama de Pourbaix é de fundamental importância para a técnica de protecção catódica.

Para Gentil (2006) o diagrama de Pourbaix é um método gráfico que relaciona potencial de eléctrodo e pH, e apresenta uma possibilidade de prever as condições sob as quais á possibilidade de passivação do metal.

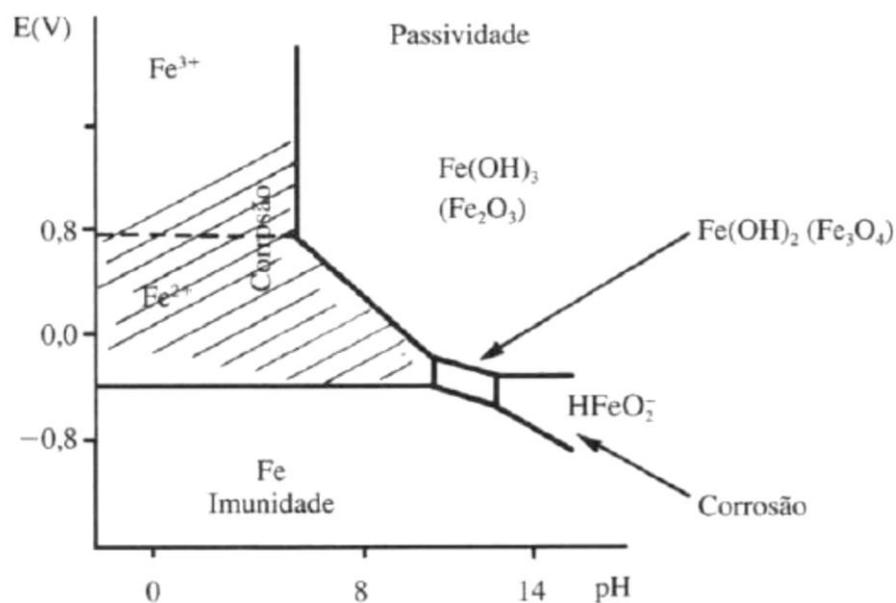


Figura 7: Diagrama simplificado de potencial e pH para o sistema ferro puro imerso em água pura. Fonte: Gentil (2006, p. 25)

Para Gentil (2006) a protecção catódica do ferro por ânodo de sacrifício ou por corrente impressa corresponde, do diagrama potencial e pH, a abaixar o potencial do metal para um valor em que ocorra a imunidade.

A utilização deste diagrama para este fim assegurará a protecção da estrutura contra a corrosão, bastando manter o potencial da estrutura dentro do domínio da imunidade.

#### **2.4.5. Polarização**

Conforme Dutra e Nunes (2006) denomina-se polarização a variação do potencial de um eléctrodo causada pela passagem de uma corrente eléctrica, sendo que se a variação do potencial for ao sentido positivo diz-se que a polarização é anódica, e se a variação for no sentido negativo diz-se que a polarização é catódica, sempre tomando como referência inicial o potencial de repouso do eléctrodo em causa.

O fenómeno da polarização é de grande importância na cinética dos processos de corrosão electroquímica e para a protecção catódica, a qual consiste essencialmente na polarização catódica da estrutura que se pretende proteger. ( Dutra Nunes, 2006)

### **2.5. Formas de corrosão**

A Corrosão electroquímica é resultado do fluxo de electrões, que deslocam-se de uma área da superfície metálica para a outra onde se verificam transformações de oxidação/redução com transferências dos electrões das regiões anódicas para as catódicas. Neste caso, corrosão electroquímica é provocada pelo aparecimento de uma ou mais pilhas de corrosão funcionando como um circuito, e pela diferença de temperatura, humidade, aeração, insolação ou iluminação na peça.

As bacias do LNP, que abargam um grande número de tanques atmosféricos, se sujeitam aos ataques corrosivos do meio envolvente. A caracterização segundo a morfologia da corrosão auxilia no esclarecimento do mecanismo e na definição das medidas adequadas de protecção, (Segundo Gentil 2006). Sendo que durante a inspecção visual, foram identificou-se nos tanques as formas de corrosão: corrosão uniforme, e a corrosão por pites.

#### **2.5.1 Corrosão uniforme**

Segundo Telles (2003) e Roberge (2000) a corrosão uniforme, também conhecida como corrosão generalizada, é uma forma de corrosão que ocorre aproximadamente por igual em toda a superfície da peça em contacto com o meio corrosivo, gerando uma redução mais ou menos constante de espessura. Embora seja a forma de corrosão que mais gera perda de material, não é a forma mais perigosa, pois pode ser prevista, controlada e facilmente medida.



Figura 8: corrosão uniforme

### 2.6.2. Corrosão localizada ou por pites

Segundo Telles (2003) a corrosão por pites consiste na formação de cavidades de pequeno diâmetro e maior profundidade na peça, podendo chegar a perfurar a peça, com pouca ou nenhuma perda de espessura do material, por esta razão, esta forma de corrosão é muito destrutiva e perigosa. Esta distribuição irregular do ataque corrosivo dificulta a estimativa de tempo de vida do material.

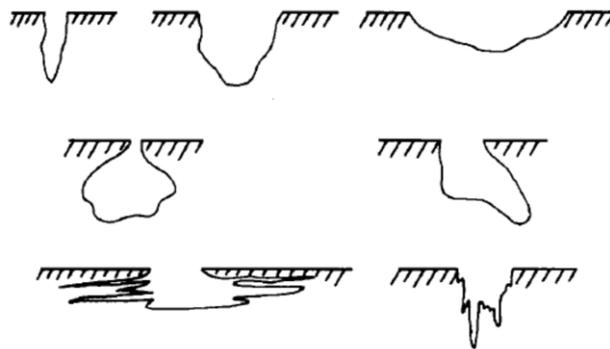


Figura 9: Formas de pites Fonte: Gentil (2006, p. 46)

Segundo Telles (2003) a corrosão alveolar é uma variante da corrosão por pites, na qual o diâmetro das cavidades é maior e a profundidade menor.

### **2.5.2.1. Factores que proporcionam a corrosão localizada.**

Segundo Gentil (2006), os factores mais frequentemente envolvidos em casos de corrosão localizada (como pites e alvéolos), em superfícies de chapas metálicas são:

- ✓ A relação entre áreas catódica e anódica;
- ✓ A composição química do meio corrosivo ou do material metálico podem influenciar significativamente no ataque por pites;
- ✓ Aeração diferencial;
- ✓ Variação de pH e produtos de corrosão presentes na superfície metálica ou formados durante o processo de corrosão.

Para Gentil (2006), a formação do pite inicialmente é lenta, mas após formado há um processo autocatalítico que produz condições para o contínuo crescimento do mesmo.

## **2.6. Protecção contra corrosão**

Segundo Dutra e Nunes (2006) os métodos utilizados para protecção contra corrosão electroquímica baseiam-se em impedir ou controlar o funcionamento das pilhas de corrosão. Com este objectivo, as acções podem ser no metal, no meio corrosivo, nos potenciais das pilhas e na interface metal/electrólito.

Dentre os possíveis métodos contra corrosão à serem utilizados na face externa das chapas de fundo de tanque de armazenamento, será dado foco na protecção catódica por corrente impressa, por ser o método actualmente mais utilizado para este fim.

### **2.6.1. Revestimento Anticorrosivo/Pintura**

Segundo Telles (2003), revestimentos protectores são películas aplicadas artificialmente sobre o metal, formando uma barreira para evitar o contacto do fluido corrosivo com o material metálico revestido.

### **2.6.2. Pintura**

Conforme Gentil (2006) a aplicação de pinturas é uma das técnicas de protecção anticorrosiva mais empregadas, sendo que, o desenvolvimento tecnológico neste sector tem

sido intenso, não apenas quanto a novos tipos de resinas e outras matérias-primas utilizadas na fabricação das tintas, mas também em relação aos métodos de aplicação das mesmas. Os avanços tecnológicos no segmento de endurecedores para resinas epoxídicas já possibilitam a disponibilidade no mercado de tintas líquidas isentas de solventes orgânicos.

A espessura mínima da película de tinta, para que seja eficaz e que cumpra sua finalidade na protecção anticorrosiva, em relação ao ambiente de exposição, admiti os seguintes valores. Gentil (2006)

Tabela 2: Espessura mínima de película de tinta anticorrosiva

<b>Atmosfera altamente agressiva</b>	<b>&gt; 250 <math>\mu\text{m}</math></b>
<b>Imersão permanente (em água salgada)</b>	<b>&gt; 300 <math>\mu\text{m}</math></b>
<b>Superfícies aquecidas</b>	<b>75 a 120 <math>\mu\text{m}</math></b>
<b>Atmosfera com agressividade média</b>	<b>&gt; 160 <math>\mu\text{m}</math></b>
<b>Atmosfera pouco agressiva</b>	<b>&gt; 120 <math>\mu\text{m}</math></b>

Fonte: Gentil (2006, p. 269), adaptada pelo autor

Deste modo, a eficiência da protecção depende da espessura do revestimento e da resistência das tintas ao meio corrosivo.

Segundo Nunes e Lobo (2012) a pintura de tanques de armazenamento apoiados sobre a superfície do solo é geralmente toda realizada em campo, sendo que a pintura externa dos tanques é realizada no costado, tecto e acessórios.

## 2.7. Evolução histórica do objecto

A perda da energia armazenada no metal surge através da corrosão, dos corpos sólidos sobre tudo metálico que ocorrem principalmente em três causas: Corrosão, Fadiga e Desgaste.

Embora a corrosão pode ser vista como uma forma de os materiais tenderem a retornarem ao seu estado estável termodinâmico através de oxidação ou redução (ferrugem e degradação) dos mesmos.

Para Chatterjee (2009) quando o sistema de pintura / revestimento para tanques de armazenamento é complementada por um sistema de protecção catódica adequadamente projectado, instalado e mantido, a possibilidade de ocorrência de vazamentos pode ser eliminada.

## CAPÍTULO-3

### 3.1. Contextualização

#### Apresentação da Empresa Petromoc



Figura. Logótipo da empresa

A Petróleos de Moçambique, S.A.R.L (Petromoc) resulta da transformação da Empresa Nacional Petróleos de Moçambique, empresa estatal criada a 1 de Maio de 1977 por nacionalização das empresas Sonarep Sonap e Sonap Marítima.

A Sonarep (sociedade nacional de refinação de petróleo) iniciou suas actividades de importadora e refinadora de crude no LÍngamo-Matola, no ano de 1959, operações que viriam a ser interrompidas em 1984, por falta de Técnicos capacitados após a expulsão dos Portugueses ( colono) que exploravam a refinaria.

A Petróleos de Moçambique, S.A.R.L Petromoc, sucedeu, por decreto nº 70 / 98, de 23 de Dezembro e Diploma Ministerial nº 77 / 99, de 7 de Junho, à Empresa Nacional Petróleos de Moçambique, E, herdando destas universalidade de direitos e obrigações estabelecidos pelos actos constitutivos de 1977 e suas alterações ocorridas em 1979, na sequência da estruturação do sector de carvão e hidrocarbonetos, Sendo a Petromoc líder nacional na distribuição de produtos petrolíferos possui a maior rede de revenda espalhada pelo País, constituída por 119 estações de serviços e Postos de Abastecimento e 118 posições consumidoras locais, hoje opera instalações de armazenagem e oleodutos (pipelines) em todos os portos moçambicanos.

O seu parque de armazenamento compreende 19 depósitos e instalações oceânicas com aproximadamente 500. 000 m<sup>3</sup> de capacidade.

A companhia comercializa combustíveis líquidos (gasóleo, gasolina, Jet A-1, petróleo de iluminação), lubrificantes (óleos e massa) e Gás de cozinha. Sendo a maior empresa fornecedora de combustível as principais industriais e empresas comerciais moçambicanas (Sector de pesca, transporte, energia e sectores sociais). Também fornece combustíveis a Países do Interland.

### **3.2. De que forma a empresa protege seu activo ao ataque corrosivo?**

Para a protecção dos tanques agrupados em bacias, a zona do LNP opera com um Sistema de Protecção Catódica por Corrente Impressa, instalado, composto basicamente pelos retificadores de anodos, drenagens eléctricas e pontos de teste.

Foi criada uma região anódica artificial, que torna a estrutura a ser protegida no cátodo formando-se então a pilha eletroquímica. A região anódica artificial criada é constituída por eletrodos inerte de ferro fundido de baixa taxa de desgaste, instalados no solo.

A corrente recebida da fonte externa (EDM) é transformada pelo retificador, que é um equipamento que baixa a tensão eléctrica alternada de fornecimento (220V) adequados à corrente necessária para a protecção dos tanques, retificando-a para CC através de diodos de silício. Eletroquimicamente, a corrente iónica da região anódica artificial rebaixa o potencial natural do mesmo para valores que o tornarão catodo, onde ocorre a reacção de redução.

A medição da corrente nos anodos é feito em pontos de teste que são dispositivos acessórios que tornam o ânodo enterrado acessível para medições eléctricas na superfície do solo. Estes dispositivos são constituídos por cabos eléctricos ligados ao ânodo e ao retificador de corrente ou caixa de derivação e instalados em caixas metálicas colocadas uma distâncias entre si de modo que possibilitem o conhecimento do nível do potencial eléctrico conferido à estrutura protegida, em toda a sua extensão.

## **CAPÍTULO-4**

### **4.1. Metodologia de resolução do problema**

Segundo Gil (2007), a pesquisa explicativa se preocupa em identificar os factores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenómenos, portanto, este tipo de pesquisa explica o porquê das coisas através dos resultados oferecidos. O estudo de caso visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico. Sendo assim, o trabalho apresenta características de pesquisa explicativa.

Por tanto o presente trabalho visa analisar o estado de corrosão e melhorar o sistema anticorrosivo da Petromoc de modo a elevar o sistema de protecção actual. Para a sua realização, foi feito trabalho de inspecção e recolha lha de dados dos potenciais catódicos dos tanques em causa.

Para recolha de dados fornecidos pelo SPC (ânodo de ferro fundido) foram testados os tanques em três bacias com rectificador ligado e desligado para o efeito, ligou-se o eléctrodo ao tanque que por sua vez este serviu de cátodo e a terra como ânodo.

## CAPÍTULO-5

### 5. Apresentação, análise e discussão dos resultados

#### 5.1. Apresentação, análise de dados.

Nos últimos anos, a importância do controlo adequado da corrosão em tanques de armazenamento vem aumentando consideravelmente à medida que se projectam tanques com maior capacidade, nos quais os custos de manutenção ou reparação são elevados.

Em virtude do problema descrito em 1.3, e para atender aos objectivos de forma genérica, identificou-se através de inspecção visual que os tanques estão sujeitos ao ataque de corrosão electroquímica assumindo diferentes formas como: uniforme, pites, alveolar. Tendo sido verificados esses aspectos de modo a trazer uma solução e garantir longevidade dos equipamentos desenvolveu-se o trabalho do campo com vista a encontrar as falhas do SPCCI, e por se estar ciente de que este é o mais indicado para protecção de instalações com tanques atmosféricos de grandes dimensões. Porém o SPC não tem-se demonstrado eficiente no tecto, nos corrimões e nas virolas superiores próximo ao tecto.

##### 5.1.1. Instrumentos e Materiais

- ✓ Multímetros
- ✓ Eléctrodo de Referência
- ✓ Instrumento para localização de cabos eléctricos enterrados
- ✓ Ânodos inerte de ferro-fundido
- ✓ Rectificadores de corrente
- ✓ Pó de coque
- ✓ Cabos Eléctricos
- ✓ Conectores

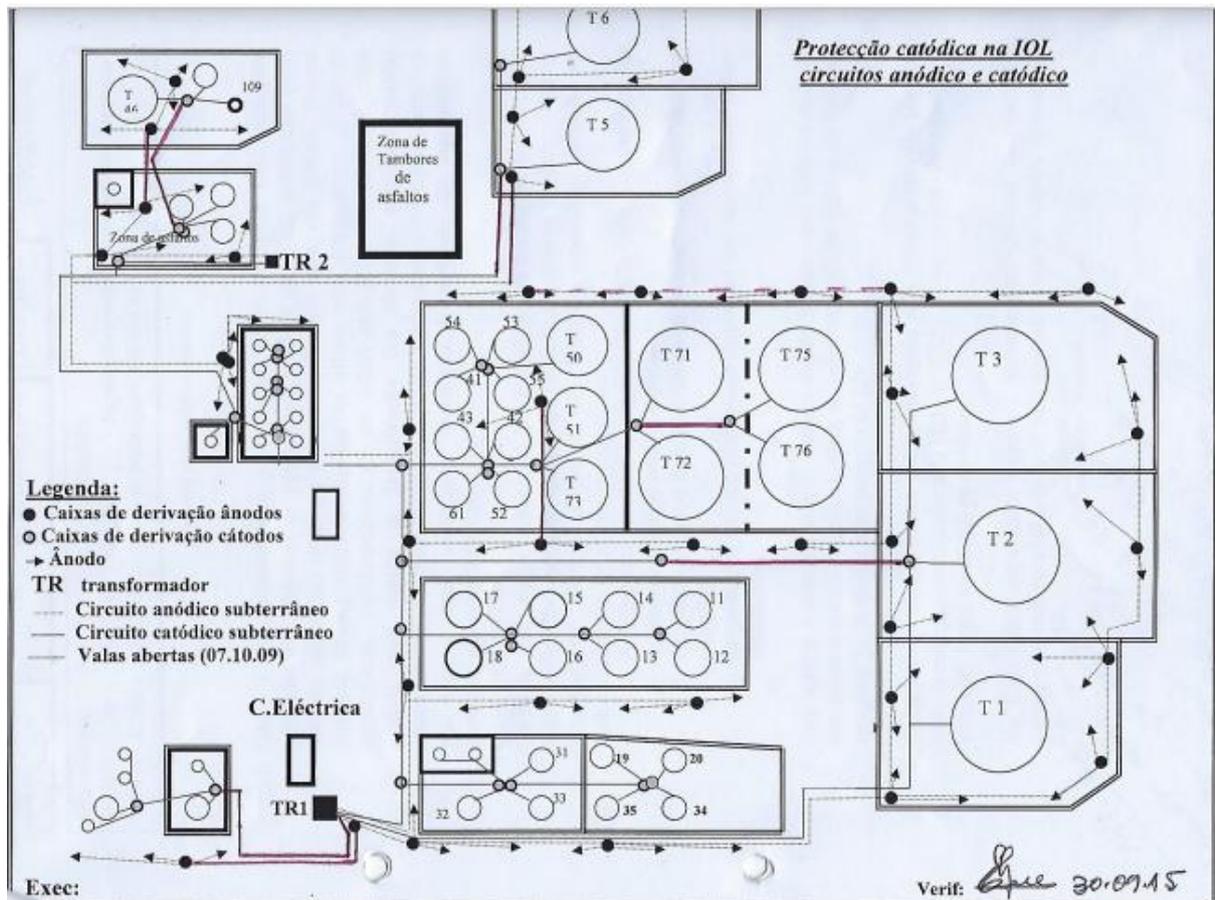


Figura 10: Esquema de leito dos ânodos

A protecção catódica externa por corrente impressa é utilizada, de modo geral, para todos os tipos de tanques, com qualquer disposição e em todos os tipos de electrólito, constituindo-se, assim, na prática mais comum de controlo de corrosão externa de tanques metálicos.

A protecção é feita de forma o global, e dirigida não só aos tanques mas, também, a todas as estruturas no parque de tanques, incluindo tubulações.

### 5.1.2. Problemas da Protecção

Durante a inspecção, foram constatados os seguintes defeitos:

- ✓ Bloqueio dos tubos de respiração colocados no leito dos ânodos do sistema de protecção. Por vezes gera gases corrosivos, cujo processo inicia-se, normalmente, na profundidade do ânodo progredindo em direcção à superfície.
- ✓ Libertação excessiva de corrente, o que pode acarretar o bloqueio de um ou mais ânodos por gases, ou um desgaste acelerado dos ânodos.

- ✓ Rompimento dos cabos eléctricos ligados aos ânodos, que por consequência do rompimento foram sacrificados, tendo corroído a zona por onde rompeu. A quebra do isolamento É resultado da acção de gases halógenos e outros gases corrosivos
- ✓ Desgaste da camada de protecção dos cabos ligados aos ânodos.
- ✓ Outro problema que deparou-se com ele foi é a baixa humidade do solo, em contacto com a parte activa da cama, causadas por diminuição do nível hidrostático. Esse problema por vezes causa variação na resistência de aterramento do leito podendo afectar o desempenho dos ânodos.

### 5.1.3. Colecta de dados

Para verificação prática da possível razão dos baixos valores do potencial do cátodo, do sistema de protecção de catódica por corrente impressa, foi realizado trabalho de campo que consistiu na reposição do leito dos ânodos do sistema de protecção catódica.

O sistema de protecção catódica por corrente impressa amplamente utilizado pela terminal oceânica da Matola, foi projectado tendo como base:

- ✓ Suficiente aplicação e distribuição de corrente eléctrica para atingir o potencial de protecção do aço;
- ✓ Necessidade do contacto físico entre o electrólito em que se encontram os ânodos e a superfície a ser protegida.

Durante a inspecção, fez-se medição dos potenciais dos cátodos em vários tanques, tendo sido colectados os dados para análise. A análise dos dados dos potenciais baseou-se no critério abaixo descrito:

Os potenciais de protecção para tanques metálicos de aço são os valores universalmente aceites de  $-0,85$  V em relação à semi-célula de Cu/CuSO<sub>4</sub>, e  $-0,80$  V em relação à semi-célula de Ag/AgCl.

Para tanques atmosféricos apoiados no solo é comum verificar-se o potencial em quatro pontos nas bordas dos tanques. Em sistemas bem projectados, é comum adoptar-se, como critério de protecção, o fato de que um potencial de  $-1,0$  V em relação à semi-célula de Cu/CuSO<sub>4</sub>, na borda, garante um potencial mínimo de  $-0,85$  V no centro.

Os dados colocados em análise constatou-se que certos valores estão abaixo de 0,85V havendo necessidade de medição de corrente nos ânodos em diversos pontos de teste (caixas de teste).

Tabela 3: Medição do potencial catódico

TANQUE	POTENCIAL DOS CÁTODOS EM (V)			
	A	B	C	D
1	0,59	0,6	0,69	0,69
2	0,69	0,7	0,7	0,7
3	0,59	0,42	0,59	0,5
5	0,8	0,75	1,8	1,4
6	0,6	0,7	0,6	0,5
13	0,6	0,79	0,7	0,6
14	0,6	0,6	0,65	0,64
15	0,53	0,5	0,58	0,59
16	0,5	0,7	0,6	0,64
17	0,56	0,5	0,58	0,59
18	0,58	0,6	0,5	0,5
31	0,52	0,5	0,6	0,59
32	0,5	0,8	0,61	0,5
33	0,7	0,79	0,53	0,6
41	0,6	0,62	0,6	0,56
42	0,6	0,55	0,5	0,5
43	0,89	0,85	0,65	0,65
46	0,6	0,3	0,5	0,7
50	0,6	0,5	0,6	0,65
51	0,5	0,55	0,55	0,55
52	0,65	0,7	0,6	0,5
53	0,6	0,7	0,6	0,7
54	0,65	0,8	0,65	0,65
55	0,6	0,65	0,55	0,8
61	0,89	0,85	0,65	0,65
71	0,6	0,6	0,6	0,7
72	0,6	0,7	0,5	0,55
73	0,5	0,7	0,6	0,55
75	0,5	0,6	0,6	0,55
76	0,5	0,6	0,55	0,5

Com a medição da corrente obteve-se os resultados abaixo descritos, verificando-se assim a necessidade de intervenção técnica.

Tabela 4: medição da corrente nos ânodos

CAIXA Nº	MEDIÇÃO DA CORRENTE EM (A)		
	A	B	C
2	3,4	2	2,9
4	4,8	0,2	
5	2	2,1	
6	2	3,7	
7	2,8	2,8	2
8	1,4	2,4	
9	1,8	5	0
10	3,5	4,2	2
13	1,9	1,8	
14	1,4	0	
15	8,7	0	
17	0,5	0,9	
18	0,2	0,4	
19	0,1	0,2	
20	0,3	0,1	

## 5.2. Discussão dos resultados

Durante a intervenção feita em campo, foram repostos os condutores interrompidos. E tendo sido abertos trincheiras para testes de continuidade e de corrente, de forma a verificar a eficiência no fornecimento de corrente aos ânodos.

### 5.2.1. Distribuição da Corrente em Grupo de Tanques

A distribuição da corrente para tanques, no caso de grupo de tanques, é função directa do posicionamento dos ânodos e da resistividade do solo ao longo dos tanques.

Deve-se procurar um posicionamento para os ânodos que permita a melhor distribuição possível da corrente injectada.

Por outro lado, como sempre há um ligeiro desequilíbrio em termos de resistividade, é comum os tanques apresentarem pontos com valores de potenciais além do mínimo necessário, o que, no entanto, não causa qualquer prejuízo.

### 5.2.2. Reposição do sistema de protecção catódica de corrente impressa

Para serem eficientes, os sistemas de protecção catódica precisam ser inspeccionados com uma certa frequência e reparados sempre que necessário, de modo a manter a estrutura

metálica dos tanques permanentemente energizadas, com potenciais suficientemente negativos em relação ao solo, dentro dos limites de protecção catódica.

Dessa maneira, foram realizados trabalhos de inspecção e de manutenção, dentro dos critérios.

### 5.2.3. Cabos Eléctricos

No SPCCI os cabos positivos ligam o rectificador ao leito de ânodos. Qualquer defeito no isolamento permitirá um contacto directo do cabo com o electrólito, passando a constituir um ponto de saída de corrente, com um conseqüente intenso processo de corrosão do cabo e, em curto intervalo de tempo, ocorre o seu desgaste. É interessante observar que no cabo negativo o problema não é tão crítico, visto que, nestes, a tendência é dos cabos serem protegidos catodicamente em casos de ruptura do revestimento.



Figura11: Cabo de conexão dos ânodos

### 5.2.4. Revestimento Isolante do cabo

É de fundamental importância a especificação adequada do revestimento dos cabos, para que os mesmos suportem as condições de trabalho exigidas. Tratando-se de baixas tensões e baixas correntes, é prática usual instalar os cabos directamente no solo. A deterioração do revestimento pode acarretar a absorção de humidade que, atingindo as conexões, causa oxidação, introduzindo resistências adicionais indesejáveis no circuito.

### 5.2.5. Ânodos

Quase todos os ânodos inertes de protecção catódica podem ser utilizados. E sendo que usa ânodos de ferro-fundido, é essencial que as conexões dos cabos eléctricos aos ânodos sejam muito bem isoladas contra a penetração de humidade. Não devem ser feitas conexões entre cabos eléctricos no interior do leito, devendo-se trazer o cabo de cada ânodo até a superfície, onde serão interligados por intermédio de uma caixa de junção de cabos. Verifica-se a necessidade de garantir um bom enchimento condutor.



Figura12: Ânodo de ferro-fundido

#### **5.2.6. Enchimento condutor**

Um dos pontos críticos em relação ao enchimento condutor está na dificuldade de executar-se uma boa compactação, o que pode ser facilitado pelo uso de um material de peso específico elevado. O uso de enchimento com grãos de formatos irregulares pode provocar vazios que podem comprometer o bom funcionamento do leito. Em locais sujeitos à evolução de gases, o enchimento condutor deve fornecer um meio permeável à dissipação desses gases. Sendo assim, foram revestidos com coque a uma quantidade admissível todos os ânodos dos pontos onde houve intervenção.

#### **5.2.7. Tubo de sinalização e para respiração**

Em toda instalação foram previstos tubos ou electroductos para sinalizar a localização do ânodo, e a ventilação dos gases produzidos pelo leito. Cujo material é polímero observando-se a imune ao ataque de gases corrosivos. Mas com para todo efeito, observou-se a ausência dos mesmo por conta da deterioração que em certos pontos cujo o circuito.

### 5.2.8. Caixa de junção de cabos eléctricos

Os cabos provenientes dos ânodos são agrupados numa caixa de junção de cabos, instalada ao nível do solo, próxima ao rectificador. A caixa permite a medição e o controlo da tensão e correntes fornecidos pelo rectificador.



Figura 13: caixa de junção dos cabos

## CAPÍTULO-6

### 6. Conclusões e Recomendações

Com base nos resultados e discussões apresentados neste trabalho, a seguir são descritas as conclusões e recomendações, bem como as propostas para trabalhos futuros relacionados ao tema desenvolvido.

#### 6.1. Conclusões

Em suma conclui-se que a corrosão sendo um fenómeno espontâneo deve ser tratado de forma criteriosa para que de forma alguma não ocorram incrustações nos tranques, o que poderá acarretar elevados custos de manutenção ou com o rompimento do stock.

Não é uma tarefa fácil controlar a formação e pontos de orvalho nas chapas metálicas dos tanques, mas pode-se optar por limpezas constantes dos tecto de modo a reduzir ao acumulo de poeiras que em contacto com a água salgada condensada na superfície da chapa forma lama que proporciona a aceleração da corrosão.

E sendo que das formas de corrosão identificadas a corrosão uniforme não oferece grande perigo, podendo ser prevenido facilmente, por outro lado a os pites e os alvéolos de corrosão oferecem grandes perigos e que podem serem evitados por meio de pinturas contantes.

A protecção catódica é um excelente processo de controlo de corrosão para tanques metálicos de aço apoiados no solo. Sua aplicação é simples e económica, devendo, entretanto, se criteriosamente estudada, para que se obtenham resultados satisfatórios.

#### 6.2. Recomendações

- ✓ Para a protecção dos cabos, recomenda-se que se faça a canalização subterrânea em tubos pvc resistentes de modo a evitar o ataque dos gases corrosivo. Convém mencionar que o isolamento do tipo polietileno de alto peso molecular, muito utilizado nos leitos convencionais, não é quimicamente resistente aos gases halógenos e outros gases corrosivos.
- ✓ Para a protecção externa tecto e as demais superfícies recomenda-se a pintura periodica com tintas sem dissolventes a base de epoxi ou aluminio, obedecendo os criterios de espessuras admissiveis na tintura externa.

- ✓ Para melhor controlo e garantia funcionamento adequado do sistema, recomenda-se a colocação de electroduto plasticos para que não funciorem como cátodos e desviarem grandes partes de corrente.
- ✓ Para evitar-se o bloqueio do tubo de respiração, corrigir o acúmulo de gases no leito dos ânodos recomenda-se a injeção de água através do tubo.
- ✓ Recomenda-se a uniformização a altura do poço dos ânodos para 40 cm, sendo este o valor admissível para meio ambientes com humidade variável.

### **6.3.Propostas de trabalhos futuros**

- ✓ Como sugestão para estudos futuro, avaliar impacto económico que a corrosão pode causar a terminal da Matola.
- ✓ Sugeriu-se também o estudo da possibilidade da aplicação da protecção por aspersão do alumínio nas chapas de fundo dos tanques apoiados directamente no solo.
- ✓ Pode ainda ser analisado a eficiência do sistema de protecção catódica no topo e no tecto do tanque.

## **Referências bibliográficas**

- BARROS, S. M. Tanques de Armazenamento. Rio de Janeiro: Petrobras, 2006. 480 p.
- CHATTERJEE, B. Prevention of External (Soil Side) Corrosion on Storage tank Bottom Plates by Cathodic Protection System. In: Corrosion 2008, Paper n.08058, NACE International, New Orleans, Louisiana, EUA, 2008.
- DEMOZ, A.; FRIESEN, W. Resistance of Impressed Current Parallel Grid and Concentric Circular Ribbon Anode Beds Underneath Tank Bottoms. In: Corrosion 2005, Paper n.05045, NACE International, Houston, Texas, EUA, 2005.
- DUTRA, A. C.; NUNES, L. P. Protecção Catódica: técnica de combate à corrosão. 4 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- GENTIL, V. Corrosão. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 353 pag.
- HELSEL, J. L.; LANTERMAN, R. L.; WISSMAR, K. L. Expected service life and cost considerations for maintenance and new construction protective coating work. In: Corrosion 2008, Paper n.08279, NACE International, Houston, Texas, EUA, 2008.
- LOURENÇO, Z.; MOURA, R. Aplicação de protecção catódica a tanques de armazenamento de combustíveis. Corrosão e Protecção de Materiais, v. 28, n. 3, p. 87-91, 2009.
- NUNES, L. P.; LOBO A. C. O. Pintura Industrial na Protecção Anticorrosiva. 4 ed. Rio de Janeiro: Intercidência, 2012. 413 p.
- PETROBRAS. N-2680:2007 - Tinta Epóxi, Sem Solventes, Tolerante a Superfícies Molhadas. Rio de Janeiro, 2007. 11 p.
- REVIE, R. W. Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering. 4 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.
- ROBERGE, P. R. Handbook of Corrosion Engineering. 2 ed. New York: MCGraw-Hill, 2000. 1085 p.
- SCHWEITZER, P. A. Fundamentals of corrosion: mechanisms, causes, and preventative methods. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.