



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS PARA AVALIAÇÃO DA  
CORROSIVIDADE DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

DANIELA DA SILVA LOPES  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MANAUS-AM

ABRIL-2024

DANIELA DA SILVA LOPES

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS PARA AVALIAÇÃO DA  
CORROSIVIDADE DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

Defesa de mestrado apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Amazonas, exigida para o título de Mestre em Química, com ênfase na linha de pesquisa Química de Materiais e Interface.

ORIENTADOR: PROF.º DR.º EMERSON DA COSTA RIOS

MANAUS-AM

ABRIL-2024

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L864a      Lopes, Daniela da Silva  
Aplicação de técnicas eletroquímicas para avaliação da  
corrosividade de fluidos de perfuração / Daniela da Silva Lopes .  
2024  
90 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Emerson da Costa Rios  
Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do  
Amazonas.

1. Técnicas Eletroquímicas. 2. Corrosão. 3. Fluidos de Perfuração.  
4. Petróleo. I. Rios, Emerson da Costa. II. Universidade Federal do  
Amazonas III. Título

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder vida, saúde e a oportunidade de realizar mais uma etapa na minha vida.

A toda a minha família, em especial minha mãe Ana Lúcia, pelo incentivo e apoio nos momentos mais difíceis. Por ser minha força e inspiração ao longo desta caminhada.

Ao meu esposo, Gleison, que sempre me deu total apoio nos momentos mais difíceis, obrigada pela paciência, amor, carinho e companheirismo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Emerson Rios, por toda ajuda e paciência na sua orientação.

Aos meus colegas do LEEN.

Aos membros e professores do PPGQ-UFAM pelas oportunidades e conhecimentos adquiridos.

Aos Professores Joemes Simas e Cristianlia Amazonas, que sempre me deram apoio em todos os momentos que precisei de orientação.

À UFAM pela possibilidade da realização desta pesquisa.

E a CAPES, pela bolsa concedida.

## RESUMO

Uma das etapas principais na exploração de hidrocarbonetos é a perfuração, na qual as camadas rochosas existentes no subsolo são perfuradas com o auxílio de uma broca e os detritos provenientes das rochas são levados à superfície pela ação mecânica dos fluidos de perfuração. O fluido de perfuração é responsável pela limpeza do poço e lubrificação da broca, este por sua vez pode ser formado por sólidos, líquidos, gases e alguns aditivos químicos. Sendo assim responsável pela degradação dos equipamentos que compõem a coluna de perfuração devido as suas propriedades químicas especiais e sua composição. O presente trabalho visa avaliar a corrosividade destes fluidos no aço carbono, por meio de técnicas eletroquímicas. Inicialmente produziram-se os fluidos simulados em quatro condições de estudo. Com os voltamogramas obtidos da técnica de Polarização Linear e utilizando-se o método da extrapolação de Tafel, foram obtidas as taxas de corrosão ( $\text{g/anom}^2$ ) para cada fluido de perfuração simulado, os resultados obtidos mostraram que a técnica de PL não foi sensível o suficiente para mostrar diferenças significativas entre os diferentes fluidos simulados. Porém, foram realizadas, em conjunto, imagens microscópicas do aço, comprovando visualmente que existem diferenças de corrosão entre os diferentes fluidos simulados. A outra técnica aplicada foi a RE (Ruído Eletroquímico), onde a partir da análise estatística dos dados obtidos pela técnica, foi possível obter os valores referentes à resistência ao ruído ( $R_R$ ). Os resultados mostraram diferenças significativas referentes ao parâmetro de  $R_R$  dos fluidos estudados. A técnica de ruído eletroquímico com análise por transformada de ondaletas mostrou ser muito promissora na avaliação da corrosão do aço em questão, pois mostrou uma melhor interpretação em comparação com a técnica de curvas de polarização. Mostrando que a técnica de ruído eletroquímico é a melhor escolha para estudo de corrosão onde o eletrólito tem uma alta resistividade elétrica como os fluidos de perfuração aqui estudados.

**Palavras-chave:** Técnicas Eletroquímicas, Corrosão, Fluidos de Perfuração, Petróleo, Aço Carbono.

## ABSTRACT

One of the main stages in the exploration of hydrocarbons is drilling, in which the rock layers existing underground are perforated with the aid of a drill and the debris from the rocks is brought to the surface by the mechanical action of drilling fluids. The drilling fluid is responsible for cleaning the well and lubricating the drill, which in turn can be formed by solids, liquids, gases and some chemical additives, thus being responsible for the degradation of the equipment that makes up the drill string due to its properties. special chemicals and their composition. The present work aims to evaluate the corrosivity of these fluids on carbon steel, using electrochemical techniques. Initially, simulated fluids were produced under four study conditions. With the voltammograms obtained from the Linear Polarization technique and using the Tafel extrapolation method, the corrosion rates ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) were obtained for each simulated drilling fluid. The results obtained showed that the PL technique was not sensitive enough to show significant differences between the different simulated fluids. However, microscopic images of the steel were taken together, visually proving that there are differences in corrosion between the different simulated fluids. The other technique applied was RE (Electrochemical Noise), where, from the statistical analysis of the data obtained by the technique, it was possible to obtain values relating to noise resistance ( $R_R$ ). The results showed significant differences regarding the  $R_R$  parameter of the fluids studied. The electrochemical noise technique with wavelet transform analysis proved to be very promising in evaluating the corrosion of the steel in question, as it showed a better interpretation compared to the polarization curves technique, showing that the electrochemical noise technique is the best choice. for corrosion studies where the electrolyte has a high electrical resistivity like the drilling fluids studied here.

**Keywords:** Electrochemical Techniques, Corrosion, Drilling Fluids, Petroleum, Carbon Steel.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CE–Contra Eletrodo

DC–Drill Collars

DP–Drill Pipes

ER–Eletrodo de referência

ET–Eletrodo de trabalho

HWDP–Heavy-weight Drill Pipes

PL– Polarização Linear

RE– Ruído eletroquímico

$R_R$  – Resistência ao ruído

SEM – Microscopia eletrônica de varredura

SSC – Corrosão sob tensão fraturante

TF – Transformada de Fourier

TO – Transformadas de Ondaletas

$\sigma_I$  – Desvio padrão do ruído de corrente

$\sigma_V$  – Desvio padrão do ruído de potencial

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de uma sonda de perfuração (Fonte: Arariba, 2022).....	17
Figura 2: Tubos de perfuração: a) Drill Collars; b) Heavy-weight Drill Pipes (Fonte: Anson, 2015).....	18
Figura 3: Ferramentas usadas nas operações de perfuração: a) estabilizadores; b) cunha; c) colar de segurança (Fonte: Cotema, 2021).....	19
Figura 4: Injeção e retorno de fluido e cascalho pelo Espaço Anular (Fonte: Peliano, 2015).....	20
Figura 5: Sistema de tratamento de lama (Thomas, 2001).....	21
Figura 6: Esquema de classificação dos fluidos de perfuração a base de água (Adaptado de Thomas, 2001).....	22
Figura 7: Diferentes tipos de corrosão (Fonte: Alves, Carvalho 2019).....	30
Figura 8: Ilustração esquemática da extrapolação das curvas de Tafel (Fonte: Wolyne, 2003).....	34
Figura 9: Esquema de medição dos sinais de RE (Fonte: Alves, 2017).....	37
Figura 10: Registros de ruído de corrente eletroquímica em função do tempo obtidos de placas de aço imersas em HCl 1,0 M (Fonte: Markhall <i>et al</i> 2013).....	37
Figura 11: Esquema de decomposição por transformada de ondaletas ortogonal (Fonte: Adaptado de Aballe et al., 1999).....	38
Figura 12: Diagrama de nível de decomposição (Fonte: Fraga, 2019).....	39
Figura 13: Eletrodos de trabalho usados nas medidas de curvas de polarização.....	41
Figura 14: Eletrodo de trabalho usado nas medidas de ruído eletroquímico (Fonte: O autor, 2022).....	42
Figura 15: Fio de Prata recoberto por Cloreto de Prata (Fonte: O autor, 2023).....	42
Figura 16: Eletrodo de Referência (Rodríguez, 2012).....	43
Figura 17: Microscópio Metalográfico Invertido (Fonte: O autor, 2022).....	44
Figura 18: Politriz (Fonte: O autor, 2022).....	45
Figura 19: pHmetro de bancada (Fonte: Quimis, 2022).....	45
Figura 20: Condutivímetro de bancada (Fonte: O autor, 2022).....	46
Figura 21: Potenciostato Autolab (Fonte: O autor, 2022).....	46
Figura 22: Célula Eletroquímica (Fonte: O autor, 2022).....	48



Figura 23: Ilustração das conexões para medida do ruído (Fonte: Manual Nova Autolab: NOVA ECN tutorial, 2022).....	48
Figura 24: Decomposição de energia do sinal de corrente através da transformada de ondaletas.....	49
Figura 25: Curvas do Eca do aço AISI 1020 para as quatro composições do fluido de perfuração: a) sem NaCl e sem HCl; b) 3% de NaCl sem HCl; c) Sem NaCl com HCl; d) 3% NaCl com HCl (Fonte: O autor, 2023) .....	51
Figura 26: Curvas De Polarização do aço AISI 1020 para as quatro composições do fluido de perfuração: a) sem NaCl e sem HCl; b) 3% de NaCl sem HCl; c) Sem NaCl com HCl; d) 3% NaCl com HCl (Fonte: O autor, 2023).....	53
Figura 27: Aço AISI 1020: a) superfície da amostra de aço após polimento em escala de 100 $\mu\text{m}$ e b) 50 $\mu\text{m}$ . .....	55
Figura 28: Imagens microscópicas da superfície do aço com a lama de perfuração na condição: a) Sem NaCl e sem HCl; b) 3% de NaCl sem HCl; c) Sem NaCl com HCl; d) 3% de NaCl com HCl (Fonte: O autor, 2023) .....	56
Figura 29: Registros de ruído em função do tempo obtidos nas quatro condições de estudo: a) Ruído de Potencial (RV); b) Ruído de Corrente (RI).....	57
Figura 30: Transientes de corrente, obtidos dos sinais da Figura 28: b.....	58
Figura 31: Gráfico comparativo dos ruídos de corrente: a) com a tendência DC; b) sem a tendência DC. ....	60
Figura 32: Diagramas de distribuição de energia obtidos dos quatro sistemas aço/fluido..	60
Figura 33: Diagrama de energia total relativa para oscilações de ECN para aço 1020 nas quatro condições de estudo; a) Sem NaCl e sem HCl; b) 3% de NaCl sem HCl; c) Sem NaCl com HCl; d) 3% de NaCl com HCl.....	61
Figura 34: Diagrama para interpretação dos resultados do planejamento fatorial 2 <sup>2</sup> . Os valores nos vértices do quadrado são referentes às energias dos processos de corrosão. ...	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Aditivos e suas funções no fluido de perfuração (Fonte: CAENN et al., 2014) .	26
Tabela 2: Composição do aço carbono AISI 1020 utilizado neste trabalho (Fonte: O autor, 2022).....	41
Tabela 3: Composição das lamas de perfuração formuladas (Fonte: O autor, 2022).....	44
Tabela 4: Variáveis independentes do planejamento fatorial $2^2$ para a formulação dos fluidos (Fonte: O autor, 2022). .....	47
Tabela 5: Medidas de pH e condutividade das amostras a temperatura de 25° C (O, autor, 2023).....	50
Tabela 6: Parâmetros de polarização potenciodinâmica para corrosão de aço 1020 (Fonte: O, autor, 2023).....	54
Tabela 7: Dados estatísticos do ruído de potencial e corrente para cada composição de lama (O autor, 2023) .....	59

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.2 Objetivos Específicos .....	15
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1 EQUIPAMENTOS DA SONDA DE PERFURAÇÃO.....	16
2.1.1 Colunas de perfuração .....	17
2.2 Fluidos de perfuração .....	20
2.2.1 Classificação dos fluidos de perfuração .....	22
2.2.1.1 Fluidos a base de água.....	22
2.2.1.2 Fluidos à base de óleo.....	23
2.2.1.3 Fluidos à base de ar .....	24
2.2.2 Principais aditivos utilizados nos fluidos de perfuração .....	24
2.2.2.1 Aplicação da bentonita nos fluidos de perfuração.....	26
2.2.2.2 Uso da goma xantana nos fluidos de perfuração .....	27
2.3 CORROSÃO .....	28
2.3.1 Tipos de corrosão .....	29
2.3.2 Corrosão em colunas de perfuração.....	31
2.4 TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS APLICADAS PARA ESTUDO DE CORROSÃO .....	31
2.4.1 Potencial de Circuito Aberto ( $E_{ca}$ ).....	32
2.4.2 Curvas de polarização.....	33
2.4.3 Técnica de ruído eletroquímico .....	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	41
3.1.1 Confecção dos eletrodos de trabalho .....	41
3.1.2 Confecção do eletrodo de referência .....	42
3.1.3 Preparação da lama de perfuração .....	43
3.1.4 Equipamentos utilizados.....	44
3.2 METODOLOGIA.....	47

3.2.1 Matriz do planejamento experimental fatorial simples $2^2$ .....	47
3.2.2 Medidas Eletroquímicas .....	47
3.2.2.1 Curvas de Polarização .....	47
3.2.2.2 Medidas de Ruído Eletroquímico .....	48
3.2.2.3 Procedimentos adotados para aquisição das imagens.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
4.1 CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DA LAMA .....	50
4.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO POTENCIAL EM CIRCUITO ABERTO .....	51
4.3 ANÁLISE DE CORROSÃO POR CURVA DE POLARIZAÇÃO LINEAR.....	52
4.4 IMAGENS MICROSCÓPICAS DAS AMOSTRAS DE AÇO CARBONO 1020.....	55
4.5 RESULTADOS DA TÉCNICA DE RÚIDO ELETROQUÍMICO .....	57
5 CONCLUSÕES.....	64
6 REFERÊNCIAS .....	65
ANEXO A .....	73
ANEXO B .....	74
ANEXO C .....	91

## 1 INTRODUÇÃO

Na indústria petrolífera uma das etapas essenciais é a perfuração. Essa etapa necessita de grandes investimentos, uma vez que, para perfurar um poço, uma extensa programação e investigação são necessárias em conjunto com equipamentos adequados, para então obter-se o conhecimento detalhado das condições geológicas da região e assim prosseguir com as etapas da perfuração (Monteiro, 2012).

As rochas existentes no subsolo são perfuradas pelo movimento rotativo de uma broca localizada na extremidade da coluna de perfuração. Os detritos provenientes das rochas são levados à superfície, pela ação mecânica dos fluidos de perfuração injetado na coluna por meio de bombas, o fluido de perfuração ou lama de perfuração retorna a superfície pelo espaço anular entre as paredes do poço e a coluna (Thomas, 2001).

Sendo assim, define-se como fluido de perfuração todo fluido usado em uma operação de perfuração. Esses fluidos têm a finalidade de limpar, resfriar e lubrificar a broca e a coluna de perfuração, controlar as pressões das formações perfuradas, estabilizar as paredes do poço (evitando o desmoronamento) e transmitir para a superfície os dados de parâmetros da perfuração (Arain et al., 2022).

O fluido de perfuração é um dos grandes responsáveis pela degradação dos equipamentos que compõem a coluna de perfuração devido às suas propriedades químicas especiais e sua composição. A lama de perfuração pode ser formada por sólidos, líquidos, gases e alguns aditivos químicos, sendo assim, alguns desses compostos são responsáveis pelos processos de corrosão nas atividades petrolíferas (Fink, 2003; Thomas, 2001).

A corrosão representa um desafio assustador para a indústria de petróleo e gás, resultando em processos corrosivos que podem gerar perdas econômicas enormes sendo algumas delas: custos com substituição e manutenção de equipamentos, com paralisações inesperadas e até mesmo perdas de produtividade. As técnicas convencionais de monitoramento de corrosão muitas vezes não conseguem fornecer soluções precisas e eficazes (Khalaf *et al.*, 2024).

O presente estudo tem como foco principal o uso das técnicas eletroquímicas para avaliação da corrosividade dos fluidos de perfuração. A aplicação das técnicas eletroquímicas para estudo da corrosão têm sido objeto de pesquisa em todo o mundo devido à sua alta aplicação na indústria.

A técnica de extrapolação de Tafel tem sido bastante aplicada para avaliar a taxa de corrosão de metais e ligas. Outra técnica que vem sendo bastante estudada é a técnica de ruído eletroquímico, esta técnica pode informar além dos tipos de corrosão, detalhes sobre o mecanismo, iniciação e propagação dos pites (Asfia e Rezaei, 2021).

O uso das técnicas visa abordar a problemática em que estes fluidos de perfuração causam corrosão nos equipamentos da sonda de perfuração bem como os prejuízos econômicos em grande escala. A indústria de exploração de óleo e gás gera elevados custos, sendo a sonda de perfuração o equipamento central do processo e representa grande parte das despesas, faz-se necessário um estudo para avaliação da corrosão causada pelos fluidos de perfuração na sonda, para então obter-se conhecimento da influência desses fluidos na vida útil das sondas de perfuração visando a minimização de custos nas etapas de perfuração bem como a minimizar os possíveis riscos ao meio ambiente provenientes das atividades de exploração.

Com o desenvolvimento desta pesquisa será possível avaliar as características corrosivas de fluidos de perfuração em aço utilizando técnicas eletroquímicas.

A metodologia utilizada compreendeu um vasto levantamento bibliográfico acerca do tema, bem como a elaboração dos eletrodos utilizados na célula eletroquímica, e o preparo dos fluidos de perfuração simulados. Por fim a realização dos ensaios de corrosão utilizando as técnicas eletroquímicas: curvas de polarização e Ruído Eletroquímico.

Este trabalho está dividido em cinco partes, sendo a primeira introdução e os objetivos Geral e Específicos respectivamente.

No segundo tópico trata da Revisão da Literatura, incluindo uma breve descrição sobre a coluna de perfuração, aborda ainda sobre os fluidos de perfuração os aditivos utilizados nas suas formulações e por fim apresenta as técnicas eletroquímicas utilizadas para avaliação da corrosividade da lama.

O terceiro tópico é composto pelos materiais utilizados e os procedimentos metodológicos do trabalho, nos quais são descritos os caminhos da pesquisa, as técnicas eletroquímicas aplicadas, e instrumentos utilizados.

No quarto tópico são apresentados os resultados da pesquisa. E por fim o último tópico apresenta as conclusões a respeito do tema desenvolvido neste trabalho.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as características corrosivas dos fluidos de perfuração em aço utilizando técnicas eletroquímicas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Produzir os fluidos de perfuração simulados;
- Determinar os valores de potenciais e correntes de corrosão;
- Determinar os valores de resistência à corrosão;
- Elucidar os mecanismos e tipos de corrosão envolvidos no processo;

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 EQUIPAMENTOS DA SONDA DE PERFURAÇÃO

De acordo com Thomas e colaboradores (2001), a sonda de perfuração é composta por diversos equipamentos, os quais são agregados nos chamados “sistemas” de uma sonda. Estes podem ser: sistema de sustentação de cargas, sistema de geração e transmissão de energia, sistema de movimentação de cargas, sistema de rotação, sistema de circulação, sistema de segurança do poço, e sistema de monitoração.

**Sistema de sustentação de cargas:** constituído por uma torre ou mastro, da subestrutura e da base. A carga corresponde ao peso da coluna de perfuração ou revestimento localizado no poço, onde é transferido para a torre ou mastro, que por seguinte transfere para a subestrutura e está para a base. A torre, ou mastro, é uma estrutura de aço, de forma piramidal que permite a operação de manobras verticais acima da plataforma.

**Sistema de geração de energia:** este sistema normalmente utiliza motores a diesel para o acionamento dos equipamentos de uma sonda. Em sondas marítimas onde exista a produção de gás é comum a utilização de turbinas a gás para geração de energia por ser mais econômico. Quando disponível a rede pública de energia elétrica pode ser conveniente, sobretudo se o tempo de permanência da sonda for longo.

**Sistema de movimentação de cargas:** este permite movimentar a coluna de perfuração, de revestimento e os demais equipamentos necessários na operação de poço.

**Sistema de rotação convencional:** constituído de equipamentos que promovem ou permitem a livre rotação da coluna de perfuração. São eles: mesa rotativa, o *kelly*, e o *swivel*. Nas sondas convencionais, a coluna de perfuração é girada pela mesa rotativa localizada na plataforma. A rotação é transmitida a um tubo de parede externa poligonal, o *kelly*, que fica enroscado no topo da coluna de perfuração. Nas sondas equipadas com *top drive* a rotação é transmitida diretamente ao topo da coluna de perfuração por um motor acoplado à catarina. Ainda existe a possibilidade da perfuração utilizando-se um motor de fundo, que fica localizado acima da broca, o fluido de perfuração que passa em seu interior é quem gera o torque necessário para a operação.

**Sistema de circulação:** composto por equipamentos que permitem a circulação e o tratamento do fluido de perfuração. O fluido é bombeado através da coluna de perfuração até a broca e, ao retornar à superfície, traz consigo os cascalhos cortados pela broca.



**Sistema de segurança do poço:** constituído dos equipamentos de segurança de cabeça de poço e dos equipamentos complementares que possibilitam o fechamento e controle do poço. O mais importante é o *blowout preventer* (BOP), que é o conjunto de válvulas que permite fechar o poço.

**Sistema de monitoramento:** consiste nos equipamentos necessários ao controle da perfuração como manômetros, indicador de peso sobre a broca, indicador de torque, etc. A Figura 1 ilustra os equipamentos que compõem uma sonda de perfuração.

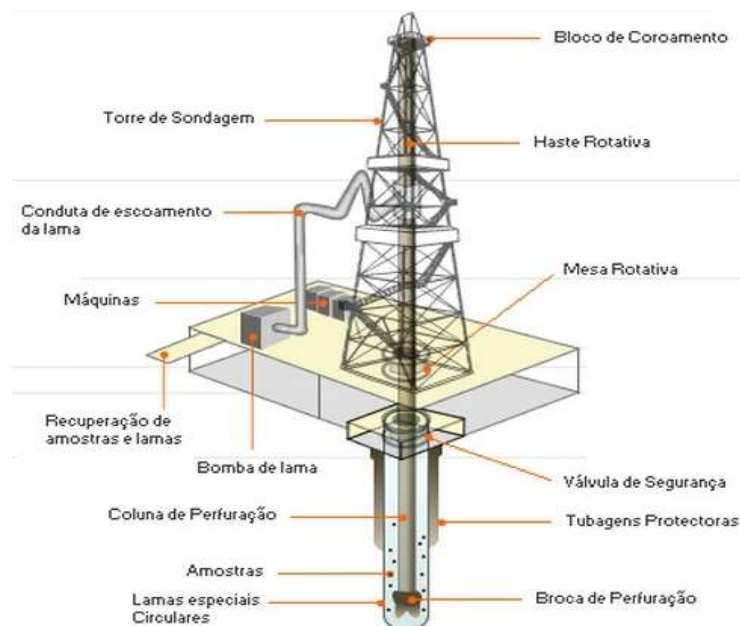


Figura 1: Esquema de uma sonda de perfuração (Fonte: Arariba, 2022)

### 2.1.1 Colunas de perfuração

Dado os altos investimentos que regem atualmente ao sector do petróleo e gás, faz-se necessário que os equipamentos envolvidos nos processos de perfuração, por exemplo, as colunas de perfuração de poços de petróleo, devem ser otimizados para manter baixos os custos e o tempo de operação, ao mesmo tempo, em que devem alcançar altas taxas de penetração.

A coluna de perfuração é a principal responsável por todo o processo de perfuração. Tem por função: aplicar peso sobre a broca, transmitir rotação para a broca para que as rochas possam ser degradadas, e conduzir os fluidos de perfuração para que este transporte os cascalhos até a superfície do poço. Seus principais componentes são: comandos, tubos pesados e tubos de perfuração (Thomas, 2001)

Ainda de acordo com Thomas e colaboradores (2001), os comandos de perfuração (*Drill Collars- DC*) são elementos tubulares fabricados em aço forjado, suas principais funções são fornecer peso sobre a broca e prover rigidez à coluna, permitindo melhor controle da trajetória do poço

Segundo Islam e Hossain (2021), os tubos pesados (*Heavy-weight Drill Pipes- HWDP*) são elementos tubulares de aço forjado e usinados que têm como função principal promover uma transição de rigidez entre os comandos e os tubos de perfuração, um HWDP é menos rígido que os DCs, tem muito menos contato com a parede e reduzem o efeito de flambagem. Já os tubos de perfuração (*Drill Pipes- DP*) são tubos de aço sem costura, tratados internamente com aplicação de resinas para diminuição do desgaste interno e corrosão, possuindo nas suas extremidades as conexões cônicas conhecidas como *tool joints*, soldadas no seu corpo. Na sua especificação são levadas em conta, diâmetro nominal, peso nominal, tipo de reforço para soldagem das uniões, grau do aço e comprimento nominal. O grau do aço especifica o valor da sua resistência à tensão de escoamento.

A Figura 2 ilustra os principais tubos utilizados nas colunas de perfuração.

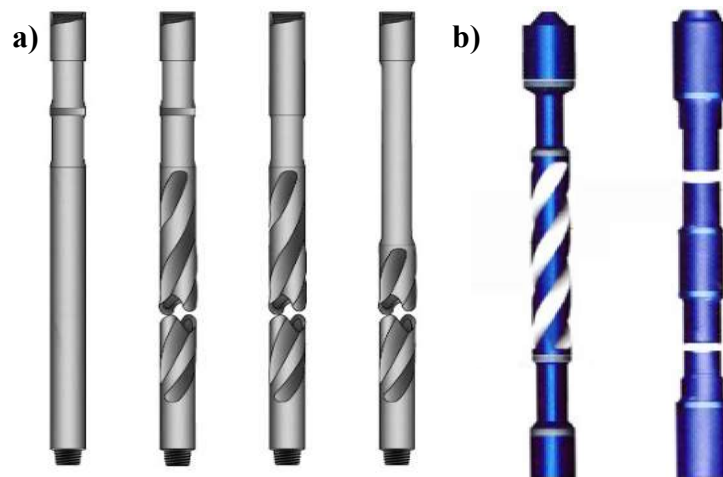


Figura 2: Tubos de perfuração: a) Drill Collars; b) Heavy-weight Drill Pipes (Fonte: Anson, 2015)

Na coluna de perfuração existem ainda alguns acessórios, os chamados acessórios da coluna de perfuração, que desempenham várias funções. São os substitutos (Subs), estabilizadores, escareadores, alargadores e amortecedores de vibração.

Segundo Thomas (2001), os principais substitutos são: sub de içamento, utilizado para movimentação de comandos, sub de broca, que serve para conectar a broca, e o sub de

cruzamento, que tem como função permitir a conexão de tubos com diferentes tipos de roscas e diâmetros.

Os estabilizadores são ferramentas que dão maior rigidez à coluna, possuem diâmetro igual ao da broca, são ainda revestidos com vários tipos possíveis de revestimentos duro e são usados para controlar o desvio do furo, alargar *doglegs* e assentos de chave (Islam e Hossain, 2021)

Os alargadores, são ferramentas que permitem aumentar o diâmetro de um trecho de poço que já foi perfurado, desde a superfície ou a partir de uma certa profundidade de subsuperfície. Um alargador de coluna normalmente é colocado no tubo de perfuração (Islam e Hossain, 2021).

Para a coluna de perfuração operar e realizar o processo de perfuração é essencial o uso das ferramentas de manuseio, que são utilizadas para conectar e desconectar os vários elementos constituintes da coluna de perfuração como por exemplo os tubos de perfuração já mencionados.

As principais ferramentas, de acordo com Thomas e colaboradores (2001), são as chaves flutuantes, com a função de fornecer o torque necessário ao aperto e desaperto das uniões cônicas da coluna, já as cunhas são equipamentos que mantêm a coluna de perfuração totalmente suspensa na mesa rotativa são utilizadas durante as conexões dos tubos de perfuração e comandos. Por fim, o colar de segurança é um equipamento colocado próximo ao topo da coluna de comandos quando suspensa pela sua cunha na mesa rotativa e tem como função evitar a queda da coluna no poço caso ocorra o deslizamento pelas cunhas. A Figura 3 ilustra algumas das ferramentas utilizadas em uma coluna de perfuração.

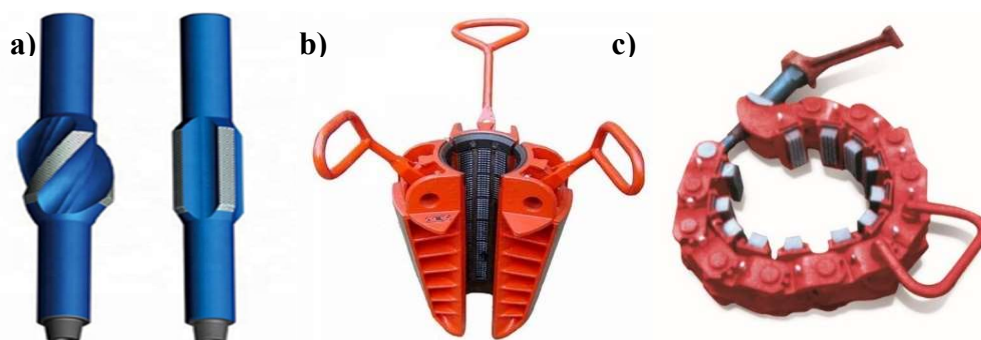


Figura 3: Ferramentas usadas nas operações de perfuração: a) estabilizadores; b) cunha; c) colar de segurança (Fonte: Cotema, 2021)

Estes equipamentos acima mencionados estão em constante contato com os fluidos de perfuração e estão sujeitos à degradação imposta pelo mesmo.

## 2.2 Fluidos de perfuração

Os fluidos são classificados, geralmente, em função da sua composição. Apesar de ocorrerem algumas divergências entre os autores, o principal critério da classificação é baseado no constituinte principal da fase contínua ou dispersante. Os fluidos de perfuração, também chamados comumente de lamas de perfuração, são misturas complexas de líquidos, sólidos, produtos químicos, e por vezes até gases (Caenn *et al.*, 2017; Freitas e Souza, 2021).

O fluido de perfuração é usado durante a atividade de perfuração onde este é bombeado da superfície até o fundo do poço através da coluna de perfuração, o mesmo retorna à superfície através do anular do poço carregando os cascalhos provenientes da atividade de perfuração.

De acordo com Freitas e Souza (2021), Bridges e Robinson (2020) as lamas de perfuração têm por funções:

- Resfriar e lubrificar a broca e a coluna de perfuração;
- Limpeza do poço transportando os cascalhos gerados pela broca do fundo do poço até a superfície;
- Estabilizar as paredes do poço, exercendo pressão hidrostática necessária para evitar o colapso das paredes;
- O fluido de perfuração deve trazer cascalhos e resíduos de poço para a superfície em partículas de tamanho suficiente para uma análise completa;
- Evitar alterações no tamanho do furo;

A Figura 4 ilustra a injeção de fluidos na broca em uma operação de perfuração.

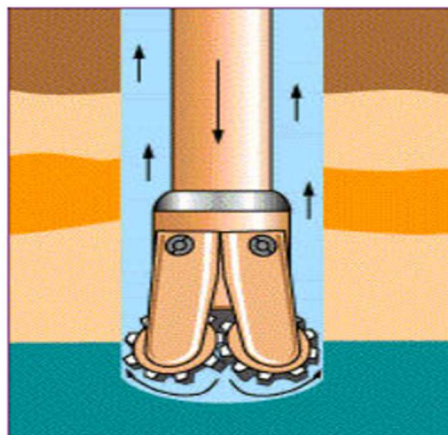


Figura 4: Injeção e retorno de fluido e cascalho pelo Espaço Anular (Fonte: Peliano, 2015)

Segundo Caenn e colaboradores (2017), os fluidos de perfuração têm por função formar uma camada de partículas sólidas úmidas, chamada de reboco, sobre as rochas permeáveis expostas no processo de perfuração. Para formar o reboco, é essencial que o fluido forme uma torta de filtro fina e de baixa permeabilidade que sela os poros e outras aberturas em formações permeáveis penetradas pela broca.

O sistema responsável pelo bombeamento da lama é o sistema de circulação de lama. É um sistema composto por equipamentos que permitem a circulação e tratamento de fluidos. Seu objetivo principal é a circulação do fluido no circuito poço-superfície-poço, o que garante o seu reuso contínuo durante a perfuração (Caenn *et al.*, 2014).

A lama de perfuração é bombeada dos tanques de lama pelas bombas, sendo injetado na coluna de perfuração até sair por orifícios na broca conhecidos como jatos de brocas, e chega às peneiras vibratórias que têm por função separar os cascalhos agregados durante a perfuração. O tratamento consiste na eliminação de sólidos ou gás incorporados a ele, e quando necessário, na adição de produtos químicos (Freitas e Souza, 2021).

Para a separação de sólidos do fluido de perfuração em unidades marítimas, emprega-se um sistema de separação conforme ilustra a Figura 5. Esse sistema é constituído, basicamente, por peneiras, desareiator, dessiltador e, quando necessário, utiliza-se uma centrífuga (Caenn *et al.*, 2014).

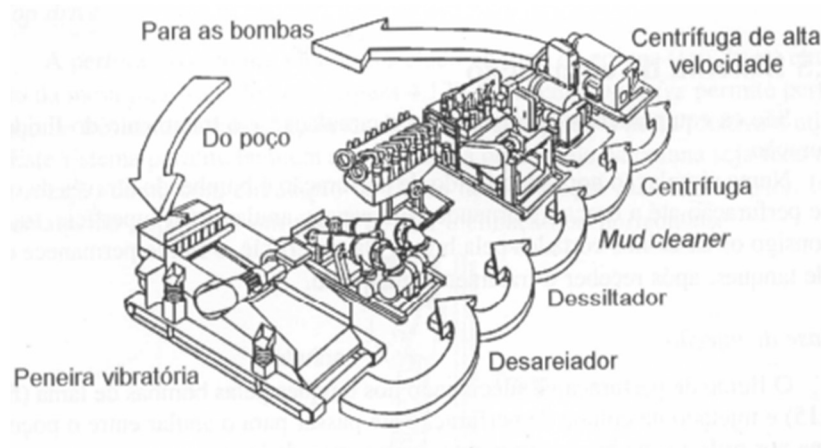


Figura 5: Sistema de tratamento de lama (Thomas, 2001)

## 2.2.1 Classificação dos fluidos de perfuração

A classificação de um fluido de perfuração é feita em função de sua composição. O principal critério se baseia no constituinte principal da fase contínua ou dispersante. Sendo assim os fluidos são classificados em fluidos à base de água, fluidos à base de óleo ou fluido de base não aquosa e fluidos à base de ar ou gás (Caenn *et al.*, 2017; Freitas e Souza, 2021).

### 2.2.1.1 Fluidos a base de água

Na definição de um fluido à base de água, primeiramente, deve-se constatar que tipo de água (doce ou salgada) e aditivos serão empregados no preparo do fluido. Os componentes básicos presentes no fluido e as interações entre eles vão provocar modificações nas propriedades físicas e químicas do fluido (Seixas, 2010).

De acordo com Freitas e Souza (2021), a “água doce” é aquela que possui uma salinidade inferior a 1000ppm de NaCl equivalente, não necessita de um pré-tratamento pois não afeta o desempenho dos aditivos utilizados. Já a “água dura”, trata-se daquela com presença de sais de cálcio e de magnésio dissolvidos, em concentração suficiente para alterar a performance dos aditivos químicos. A “água salgada” pode ser natural, como a água do mar, ou uma água salgada por meio da adição de sais como NaCl, KCl ou CaCl<sub>2</sub>.

Os fluidos aquosos podem ser classificados em: inibidos, não inibidos, emulsionado com óleo e com baixo teor de sólidos, conforme mostra a Figura 6.

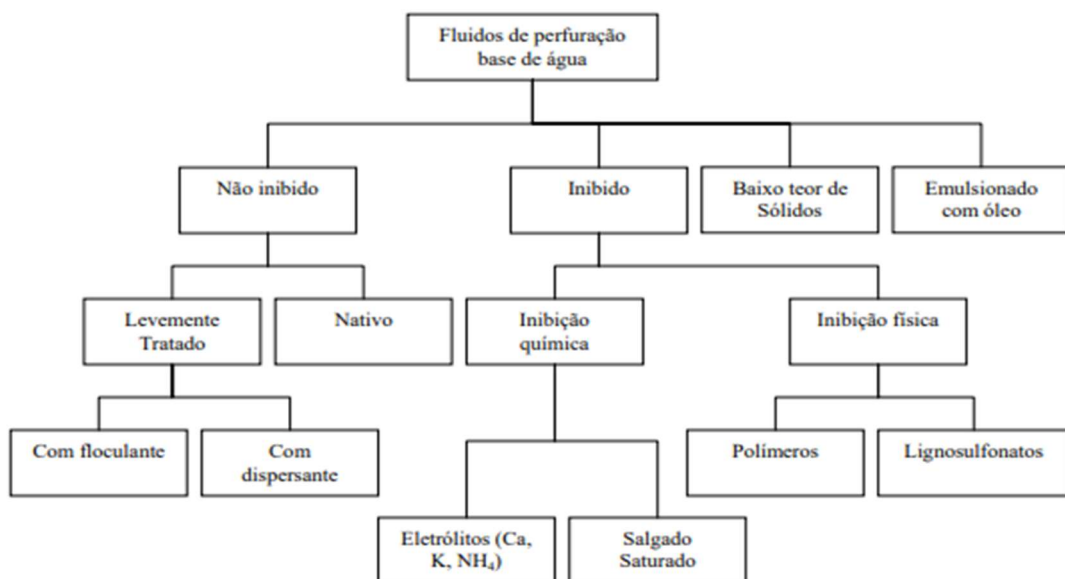


Figura 6: Esquema de classificação dos fluidos de perfuração a base de água (Adaptado de Thomas, 2001).

Para a perfuração das camadas rochosas superficiais, utilizam-se fluidos não-inibidos, cujas rochas são compostas por sedimentos inconsolidados. A água pode conter sais dissolvidos, derivados da contaminação com água de formação ou adicionados para diversos fins (Caenn *et al.*, 2017).

Perfurações onde há elevado grau de atividade com a água doce utilizam-se os fluidos inibidos. Quando a rocha interage quimicamente com a água, tornando-se plástica, expansível, desprezível ou até mesmo solúvel, é necessária a adição de inibidores químicos (eletrólitos e/ou polímeros), que diminuam esses efeitos. Já os inibidores físicos são adsorvidos na superfície do material das rochas impedindo o contato direto com a água. Podem-se utilizar outros inibidores químicos tais como: cal, cloretos de potássio, cloreto de sódio e cloreto de cálcio, estes atuam reduzindo a atividade química da água e podem reagir com a rocha, alterando sua composição (Seixas, 2010).

#### **2.2.1.2 Fluidos à base de óleo**

Os fluidos à base de óleo apresentam algumas vantagens que são: menor taxa de corrosão; maior estabilidade térmica e estrutural (para perfuração de poços profundos e com altas temperaturas); e melhor capacidade de lubrificação da broca da coluna de perfuração (Darley e Gray, 1988).

De acordo com Freitas e Souza (2021), esse tipo de fluido tem apresentado melhores resultados em poços HPHT (alta pressão e alta temperatura), em formações de folhelho (tanto argilosos, quanto plásticos), em poços direcionais horizontalmente afastados (devido a menor abrasão), em formações salinas (seja de halita, silvita ou carnalita), e em diversas outras explorações onde o fluido aquoso não seja tão adequado. Entretanto devido ao alto custo e grau de poluição, os fluidos à base de óleo são empregados com menor frequência do que os fluidos à base de água, além de estarem sujeitos a rigorosa restrição ambiental.

Geralmente, os fluidos de perfuração à base de petróleo contêm óleo, água, surfactantes e partículas inorgânicas (argilas). Os fluidos de perfuração à base de petróleo são frequentemente considerados como “fluidos de perfuração de emulsão invertida” nos quais a interação entre partículas inorgânicas e gotículas de água não foi considerada (Di *et al.*, 2022).

O problema mais sério é o descarte de cascalhos. No entanto, nos últimos anos, muitos progressos têm sido alcançados em relação à pesquisa de novos sistemas à base de óleo, como óleos minerais e sintéticos, menos poluentes.

### 2.2.1.3 Fluidos à base de ar

A perfuração a ar ou gás é utilizada quando o ar ou o gás é usado como fluido circulante no processo de perfuração. De acordo com Caenn e colaboradores (2017), na sua forma mais simples, um fluido de perfuração pneumático é um gás seco, seja ar, gás natural, nitrogênio, dióxido de carbono, etc. Este tipo de fluido de perfuração é mais adequado para formações que possuem uma quantidade mínima de água. Uma vez encontrada água durante a perfuração, o sistema de gás seco é convertido pela adição de um surfactante denominado sistema de “névoa”. Quantidades crescentes de água na formação requerem quantidades adicionais de surfactantes espumantes e estabilizadores de espuma polimérica durante a perfuração.

Algumas situações recomendam a utilização destes fluidos de baixa densidade, tais como em zonas com perdas de circulação severas e formações produtoras com pressão muito baixa ou com grande vulnerabilidade a danos. Também em formações muito duras como basalto ou o diabásio e em regiões com escassez de água ou regiões glaciais com camadas densas de gelo (Caenn *et al.*, 2017; Freitas e Souza 2021).

### 2.2.2 Principais aditivos utilizados nos fluidos de perfuração

Os aditivos são substâncias químicas adicionadas ao fluido de perfuração, para atribuir algumas propriedades especiais necessárias durante as atividades de perfuração. Existe uma variedade de aditivos, que desempenham as mais diversas funções de acordo com a situação encontrada no projeto de perfuração de um poço.

**Adesantes:** Quando é necessário aumentar a densidade de um determinado fluido geralmente adiciona-se baritina, pois este é um mineral de massa específica em torno de 4,2 g/cm<sup>3</sup>. É predominantemente composto de sulfato de bário, mas contém algumas impurezas. O sulfato de bário puro é branco, mas as impurezas fazem com que a barita seja cinzenta ou cor-de-rosa. Entretanto, a cor não é indicativa da pureza ou da qualidade da barita (Ribeiro, 2015).

**Inibidores de formações:** Os inibidores mais comuns de formações ativas são os sais, os mais usados em fluidos de perfuração aquosos são os sais de cloretos: Cloreto de sódio (NaCl), Cloreto de potássio (KCl) e cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>). Eles atuam inibindo as formações ativas, reduzindo o escoamento hidráulico para a formação, devido à viscosidade dos seus filtrados e por estimular o escoamento da água da formação argilosa para o fluido de perfuração.



Este escoamento inverso reduz a hidratação da formação e as pressões de poros da formação ao redor do poço, gerando um aumento da tensão efetiva (Ribeiro, 2015).

**Controladores de pH:** Estes aditivos realizam o controle do teor de dureza nos fluidos de perfuração como principal atividade, além de controlar o pH do fluido para mantê-lo na faixa recomendada, reduzir as taxas de corrosão e estabilizar as emulsões. Geralmente usa-se o óxido de magnésio para fluido polimérico e soda cáustica para fluido que contenha argila ativada (Silva, 2016).

**Viscosificantes e Redutores de Filtrado:** Ao se perfurar um poço de petróleo, ocorrem perdas de fluido, sobretudo em formações fraturadas. Os redutores de filtrado são utilizados para evitar que o fluido invada a formação e danifique a jazida, geralmente usa-se a carboximetilcelulose (CMC) e o amido (Shiroma, 2012). A bentonita também é usada como viscosificante e controlador de filtrado, pois proporciona um adequado carreamento dos cascalhos.

**Defloculantes:** Os defloculantes são utilizados com o propósito de impedir que os sólidos ativos presentes no fluido de perfuração fiquem em suspensão. Exemplo destes tem-se poliacrilatos de sódio, cálcio e potássio (Bispo, 2014).

**Bactericidas:** Os agentes responsáveis pelo controle da deterioração dos fluidos de perfuração causados pela presença de micro-organismos são chamados de bactericidas. Os principais bactericidas são os compostos organoclorados, a soda cáustica e a cal. O aditivo evita a rápida degradação do fluido, permitindo, assim, que o mesmo seja reutilizado em outras perfurações (Silva, 2016).

**Fixadores de Reboco:** Seu uso é recomendado para a perfuração de rochas inconsolidadas e quebradiças. São vários os aditivos que vêm sendo usados para este fim, incluindo amidos, polímeros à base de celulose, lignosulfonatos, lignitos, taninos, polifosfatos e dispersantes poliméricos (Shiroma, 2012).

A Tabela 1 mostra um resumo dos principais aditivos utilizados nos fluidos de perfuração e suas respectivas funções.

Tabela 1: Aditivos e suas funções no fluido de perfuração (Fonte: CAENN et al., 2014)

ADITIVOS	FUNÇÃO
Argila ativada e polímeros	Viscosificantes e gelificantes
Lignosulfonatos e lignitos	Dispersantes e afinantes
Amidos e polímeros	Controladores de filtrado (parte líquida do fluido de perfuração que invade a parede do poço)
Hidróxido de sódio ou de potássio	Alcalinizantes
Sulfato de bário e hematita	Adensantes
Detergente	Remoção de argilominerais nas superfícies metálicas
Ésteres graxos	Lubrificantes
Poliacrilamina, cloreto de sódio ou potássio	Inibidores de hidratação de argilas
Bactericidas	Previnem/reduzem as ações de microorganismos
Antiespumantes	Previnem/reduzem/eliminam a formação de espumas
Mica, fibra raspa de coco etc.	Controladores de perda de circulação

### 2.2.2.1 Aplicação da bentonita nos fluidos de perfuração

Como já mencionado anteriormente a argila bentonita, além de ser um viscosificante é também um controlador de filtrado. A bentonita é um mineral constituído principalmente por argilominerais do grupo das esmectitas, proveniente da desvitrificação seguida da transformação química de um material vítreo de origem ígnea. Segundo Suehara (2013), na maioria das vezes é constituída pelo argilomineral montmorilonítico e por pequenas quantidades de outros minerais, como o quartzo, o feldspato e a calcita.

As argilas bentonitas apresentam algumas propriedades, como: possuir partículas muito finas; alta capacidade de troca catiônica; elevada carga superficial; elevada área superficial e inchamento quando em presença de água. Dentre as principais utilizações desta argila, está sua participação como componente de fluidos utilizados para perfuração de poços de petróleo (Albarnaz, 2009).

Na formulação de fluidos de perfuração à base de água, a argila mais utilizada comercialmente é a bentonita, que é adicionada para exercer diversas funções durante a perfuração. Suas propriedades reológicas permitem que ela seja um aditivo capaz de realizar diferentes funções, nas quais destacam-se o aumento da limpeza e da estabilidade do poço, a

redução das infiltrações nas formações permeáveis, a produção do reboco e o impedimento da perda de circulação (Darley e Gray, 1988).

Darley e Gray (1988), destacam algumas das funções desempenhadas pela bentonita nos fluidos de perfuração.

- i. refrigerar e limpar a broca de perfuração;
- ii. reduzir a fricção entre o colar da coluna de perfuração e as paredes do poço;
- iii. auxiliar na formação de um reboco nas paredes do poço, de baixa permeabilidade, de forma a controlar a perda de filtrado do fluido de perfuração, contribuindo para evitar o desmoronamento do poço;
- iv. conferir propriedade tixotrópica à lama de perfuração, ajudando a manter em suspensão as partículas sólidas, principalmente, quando cessa, temporariamente, o movimento da coluna de perfuração ou o bombeamento da lama de perfuração;
- v. conferir viscosidade à lama de perfuração, para auxiliar no transporte dos cascalhos do fundo do poço para a superfície.

De acordo com Lummus e Azar (1986) apud Amorim (2003), a propriedade de inchamento da argila bentonítica é também resultado das forças de cisalhamento aplicadas as dispersões, tais forças quebram as ligações químicas das estruturas das argilas, resultando na exposição de valências positivas dos átomos de sílica, negativas dos átomos de oxigênio, ou ambas, dependendo de onde ocorra a quebra. Assim os íons adsorvem maior quantidade de água, promovendo assim uma maior de laminação das camadas de argila. Esta água adsorvida é chamada de “água de ligação quebrada” e promove diminuição da água livre disponível. Tal ocorrência justifica a aplicação de elevadas taxas de cisalhamento quando do preparo de fluidos de bentonita e explica o aumento da viscosidade dos fluidos quando o cisalhamento é aplicado.

#### **2.2.2.2 Uso da goma xantana nos fluidos de perfuração**

O uso da goma xantana em fluidos de perfuração se justifica, pois, a mesma, aumenta a viscosidade de soluções aquosas, ajuda na emulsificação, estabilização e espessamento de sistemas aquosos. Soluções de xantana possuem alta viscosidade em baixas concentrações, estabilidade em uma ampla faixa de temperatura, pH e concentração de sais. Por estas razões, a goma xantana tem sido bastante empregada, principalmente nas indústrias alimentícias, farmacêuticas e petrolíferas (Moraine, 1973).

De acordo com Borges (2009), os polímeros mais utilizados na formulação do fluido de perfuração à base de água eram a carboximetilcelulose, celulose polianiônica e poli(acrilamida parcialmente hidrolisada). No entanto estes eram bastante sensíveis às condições de alta salinidade. Desta forma, a goma xantana passou a ser amplamente utilizada para este propósito, pois suas soluções são estáveis à variação do pH, força iônica e temperatura.

Há pouco tempo, descobriu-se que os polímeros são atraentes como inibidores de corrosão, pois são econômicos. De acordo com Mobin e Rizvi (2016), eles não são tóxicos e exibem inibição de corrosão superior propriedades em contraste com moléculas orgânicas simples. A aplicação de polímeros solúveis em água com grupos funcionais ( $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $-NH_2$ , etc.) tem sido relatada como inibidores de corrosão em diferentes meios agressivos ( CAO *et al.*, 2021; EL-HADDAD, 2013 ; EL-HADDAD, 2014 ). Os polímeros através de seus grupos funcionais formam complexos com íons metálicos . Na superfície do metal, estes complexos ocupam uma grande área superficial, cobrindo assim a superfície e protegendo o metal da corrosão.

Mobin e Rizvi (2016), demonstraram através de sua pesquisa que a goma xantana atua como um bom inibidor da corrosão do aço em solução 1,0 M de HCl. A eficiência da inibição aumentou com o aumento da concentração do inibidor, mas diminuiu com o aumento da temperatura.

## 2.3 CORROSÃO

O aço carbono é uma categoria de aço que contém de 0,12 a 2% de carbono. Esta categoria de aço ganha dureza e resistência com o tratamento térmico quando o percentual de teor de carbono aumenta, mas a ductilidade é reduzida. O aço carbono 1020 é um aço comum bastante utilizado na indústria. Possui uma boa combinação de resistência e ductilidade.

A corrosão é derivada de dois processos eletroquímicos: a oxidação e a redução. O primeiro deles é a retirada de elétrons livres de um átomo. O segundo ocorre quando o átomo toma elétrons livres para si. Uma maneira de retardar a corrosão é o emprego das ligas de aço, com propriedades inoxidáveis. Tais metais são obtidos a partir da adição de níquel e cromo, e são comumente classificados como aços especiais.

A exploração, produção e processamento de petróleo e gás ocorrem em ambientes adversos, incluindo condições de alta pressão e temperatura. A indústria petrolífera prefere usar os aços carbono e de baixa liga devido aos grandes volumes disponíveis e por satisfazerem os

requerimentos mecânicos e estruturais de fabricação. Atualmente, esses materiais são amplamente utilizados nos tubos metálicos utilizados nas etapas de exploração de hidrocarbonetos. Durante o transporte, o interior dos tubos de aço carbono fica seriamente corroído, isto porque o óleo extraído está repleto de compostos corrosivos. Conseqüentemente, os tubos metálicos perdem suas propriedades mecânicas inerentes. A destruição metálica é um problema sério para a indústria, tanto no aspecto econômico quanto ambiental (Berdimurodov *et al.*, 2021).

### 2.3.1 Tipos de corrosão

Segundo Gentil (2011), a corrosão pode ocorrer de diferentes formas e a caracterização da forma de corrosão auxilia bastante no esclarecimento do mecanismo e na aplicação de medidas adequadas de proteção. Os principais tipos de corrosão são descritos abaixo:

**Uniforme:** Neste tipo, a corrosão se processa em toda extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura. Segundo Gentil (2011), não deve ser empregada a terminologia corrosão generalizada, pois pode-se ter, também corrosão por pite ou alveolar generalizada, isto é, em toda extensão da superfície corroída.

**Por placas:** a corrosão se localiza em regiões da superfície metálica não em toda sua extensão, formando placas com escavações.

**Alveolar:** Corrosão que se processa na superfície metálica produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que seu diâmetro.

**Puntiforme ou Pite:** Corrosão que ocorre em pontos ou pequenas áreas localizadas na superfície metálica produzindo pites, que são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior do que o seu diâmetro.

**Intergranular:** Neste tipo, a corrosão localiza-se entre os grãos da estrutura cristalina do material metálico, o qual perde suas propriedades mecânicas e pode fraturar quando submetido a esforços mecânicos, como é o caso da corrosão sob tensão fraturante (*stress corrosion cracking* - SSC).

**Transgranular:** Este tipo de corrosão se processa nos grãos cristalinos da rede cristalina do material metálico, o qual, pela perda de suas propriedades mecânicas poderá

fraturar à menor sollicitação mecânica, assim como no caso da corrosão intergranular, neste tipo também ocorre a corrosão sob tensão fraturante.

**Filiforme:** Este tipo de corrosão se processa sob a forma de finos filamentos, sem grandes profundidades, que se propagam em diferentes direções e que não se cruzam.

Na figura 7 podemos ver as principais características morfológicas de alguns exemplos dos diferentes tipos de corrosão.

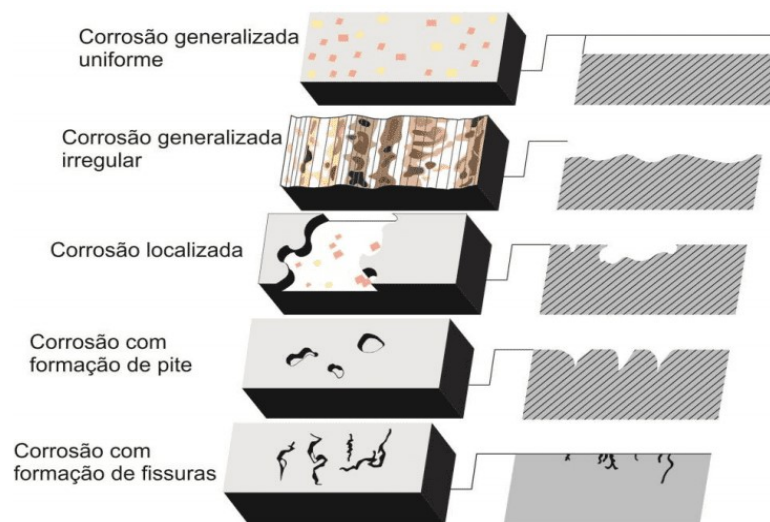


Figura 7: Diferentes tipos de corrosão (Fonte: Alves, Carvalho 2019)

Pode-se ter ainda corrosão pelo uso de ácidos e salmoura concentrada, estes produtos são bastante usados nas operações de perfurações de poços.

**Corrosão por ácidos fortes:** Ácidos fortes são muitas vezes bombeados para os poços para estimular produção tardia, e representa um ataque químico direto ao material (BE et al., 1994).

Segundo Messinese e colaboradores (2022), em uma solução ácida o ataque é caracterizado pela evolução de hidrogênio como processo catódico dominante. A corrosão ácida é um tipo severo de degradação que é extremamente difundida em ambientes industriais e pode levar a taxas de corrosão muito altas.

**Corrosão por salmoura concentrada:** Salmouras concentradas podem ser utilizadas para equilibrar a pressão dos poços de petróleo. Podem apresentar íons de cálcio, zinco e magnésio, por exemplo, que se tornam corrosivos devido à presença de oxigênio dissolvido ou pela acidez proveniente da hidrólise de íons metálicos (Brondel *et al.*, 1994). O alto teor de sal na lama implica ainda aumento da corrosão das ferramentas de perfuração, que tem sido um dos principais problemas nas operações de perfuração no pré-sal no Brasil.

### 2.3.2 Corrosão em colunas de perfuração

A maioria dos equipamentos utilizados na estrutura da coluna de perfuração é fabricada em aço. O aço, com o passar do tempo, está sujeito a degradações e modificações em sua forma física, e esses desgastes são dados por um processo químico muito conhecido como corrosão.

Na indústria de perfuração de poços, o processo de corrosão nos equipamentos se dá principalmente pela presença de ácidos no meio em que se encontram, podemos citar  $H_2S$  que é um dos principais ácidos que ocasiona a corrosão do aço em questão. Outros fatores que também influenciam na ocorrência do ataque corrosivo como a relação óleo/gás, o teor de cloretos existentes, acidez, presença de oxigênio que são materiais que se encontram na composição da lama de perfuração (Ferreira, 2011).

Em todas as etapas da produção do óleo e gás na indústria de petróleo (extração e operações de refino), no seu transporte e estocagem, os equipamentos sofrem ataques constantes da corrosão. A indústria de petróleo contém uma grande variedade de ambientes corrosivos e, alguns destes são exclusivos para essa indústria (Lasebikan, 2011).

A partir do momento em que se passou a perfurar poços em alto mar, percebeu-se que existiam alguns fatores que causavam desgastes nos equipamentos. Um dos causadores destes desgastes é a água do mar, uma solução salina uniforme, constituída principalmente de Cloreto de Sódio e Magnésio dissolvidos em água. A solução de Cloreto de Sódio nesta concentração (0,5 M) tem um pico de corrosividade mais agressivo (Péricles, 2015).

Só a presença da água na lama de perfuração aumenta a condutividade do meio, favorecendo a atuação dos íons corrosivos. Desta forma, é recomendável a utilização sempre de lama com óleo, de maneira a minimizar a condutividade do meio. A presença de cloretos em alta concentração diminui a resistência ao ataque corrosivo do tipo localizado por pites em aço (Péricles, 2015).

## 2.4 TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS APLICADAS PARA ESTUDO DE CORROSÃO

As técnicas eletroquímicas desempenham um papel fundamental no estudo da corrosão, fornecendo informações valiosas sobre os mecanismos de corrosão, a eficiência de alguns tipos de inibidores de corrosão, sobre a termodinâmica e principalmente a cinética das reações de oxirredução envolvidas.

Em comparação com a técnica de perda de massa, muito utilizada principalmente nas áreas de engenharias, as técnicas eletroquímicas oferecem diversas vantagens, sendo que uma das principais é a capacidade de realizar análises em tempo real, permitindo a obtenção de dados mais rápidos e precisos sobre a cinética das reações de corrosão. Além disso, essas técnicas são sensíveis a taxas de corrosão muito baixas, o que é crucial para a detecção precoce e a prevenção de danos significativos (Jadhav e Gelling, 2019; Berradja, 2019).

Outra vantagem das técnicas eletroquímicas é a possibilidade de estudar a resposta eletroquímica de um sistema em condições controladas no laboratório, como a variação de corrente e potencial. Isso proporciona informações complementares às obtidas pela técnica de perda de massa, permitindo uma análise mais abrangente dos processos corrosivos.

Além disso, as técnicas eletroquímicas, como as curvas de polarização, o ruído eletroquímico e a espectroscopia de impedância eletroquímica, permitem a determinação das propriedades elétricas e eletroquímicas da interface entre o material e o eletrólito. Isso fornece informações detalhadas sobre os processos de corrosão em estudo, auxiliando no desenvolvimento de estratégias de prevenção e controle da corrosão em diversos setores industriais, como por exemplo na indústria petrolífera.

Em resumo, as técnicas eletroquímicas apresentam vantagens significativas em relação à técnica de perda de massa, permitindo uma melhor compreensão dos mecanismos de corrosão e contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de proteção e mitigação da corrosão. A seguir serão expostas algumas dessas técnicas de forma mais detalhada.

#### **2.4.1 Potencial de Circuito Aberto ( $E_{ca}$ )**

O potencial de circuito aberto nada mais é que o potencial de um eletrodo em relação ao eletrodo de referência. E este potencial pode corresponder, sob condições de idealidade, a um potencial de equilíbrio termodinâmico, obedecendo à equação de Nernst.

O potencial de circuito aberto no estudo da corrosão, corresponde à condição em que o processo irreversível, fora do equilíbrio, está ocorrendo no instante  $t$ .

Agostinho, Jaimes e Barbosa (2010), relatam que os experimentos envolvendo medidas de  $E_{ca}$  são importantes por uma série de razões, como por exemplo:

- a observação da interface e o acompanhamento da evolução do potencial de circuito aberto com o tempo;



- permitir determinar o potencial de circuito aberto estacionário (considerado como o potencial de corrosão) e registrar como evolui a superfície metálica desde a sua exposição ao ar até a solução eletrolítica.
- dados termodinâmicos de interface permitem, por comparação com os dados de  $E_{ca}$  observados, auferir o nível de polarização da interface ou se está se encontra em equilíbrio;
- é possível, qualitativamente comparar inibidores anódicos e catódicos de corrosão;
- variações do  $E_{ca}$  com o pH podem informar sobre o caráter ativo / passivo de um material metálico, entre outros.

Ainda os autores descrevem sobre o efeito da natureza dos ânions e da sua concentração sobre o potencial de corrosão. É apresentado o efeito da adição de íons cloreto no potencial de corrosão do aço inoxidável austenítico 304, bem como o comportamento do sistema, quando o cloreto foi trocado por nitrato. Notou-se que quanto maior a concentração de íons cloreto, mais negativo é o potencial, mostrando o efeito da complexação do ferro por estes íons, favorecendo a dissolução do metal. Notou-se ainda que o nitrato, em igual força iônica, não exerce o mesmo efeito que o cloreto, por não ser um íon complexante.

A aplicação do  $E_{ca}$  é meramente qualitativa, pois informará apenas a probabilidade de a corrosão estar ocorrendo, sem fornecer informações quantitativas do processo. Não sendo possível avaliar quanto está corroendo, apenas o momento em que o processo corrosivo se inicia com base em probabilidades. A técnica deve ser completada se possível experimentalmente, com resultados obtidos por outras técnicas que ajudem a interpretar a interfase (Agostinho; Jaimes; Barbosa, 2010).

#### **2.4.2 Curvas de polarização**

As curvas de polarização são obtidas com auxílio de um potenciostato. O equipamento aplica um potencial ao eletrodo de trabalho em relação a um eletrodo de referência e registra a corrente gerada entre o eletrodo de trabalho e um contra eletrodo construído de material inerte, normalmente a platina. O conjunto se encontra imerso na solução (eletrólito) no qual se deseja estudar o comportamento de corrosão do material.

Quando o potencial aplicado for diferente do potencial de corrosão, o potenciostato registra a diferença entre as correntes anódicas e catódicas:

$$i = i_a - |i_c| \quad (1)$$

Onde:

$i$  = densidade total de corrente;

$i_a$  = densidade de corrente anódica;

$i_c$  = densidade de corrente catódica.

A partir destas curvas podem-se tirar informações como a taxa de corrosão, coeficientes de Tafel, resistências de polarização e outros.

As curvas de Tafel podem proporcionar diretamente a Corrente de Corrosão ( $I_{\text{corr}}$ ) ou as inclinações de Tafel como o Coeficiente Catódico ( $b_c$ ) e Coeficiente Anódico ( $b_a$ ). As inclinações de Tafel são usadas para calcular  $I_{\text{corr}}$  como é mostrado na Figura 8.

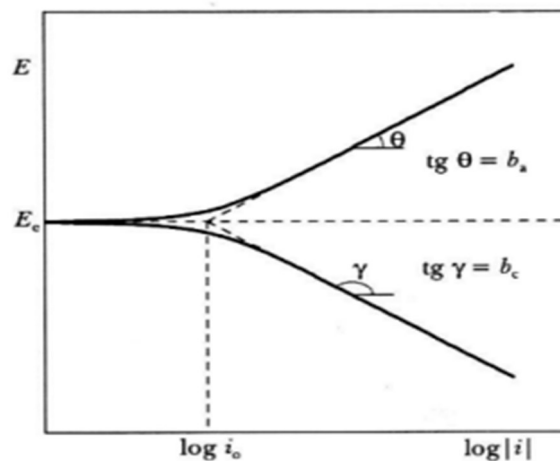


Figura 8: Ilustração esquemática da extrapolação das curvas de Tafel (Fonte: Wolyneć, 2003).

Um dos principais objetivos deste ensaio, além de permitir determinar a  $I_{\text{corr}}$  e o  $E_{\text{corr}}$  (Potencial de corrosão), é conhecer como um metal se comporta se houver uma variação do seu potencial em um determinado meio, mostrando quanto a corrosão vai aumentar. As curvas de polarização também são utilizadas para avaliar a eficiência de inibidores de corrosão, que são substâncias que quando adicionadas ao meio mesmo que em pequenas quantidades conseguem reduzir de forma considerável a velocidade de corrosão dos metais.

De acordo com Tait (1994), existem limitações em relação aos gráficos de Tafel, pois eles podem não ser úteis para determinar se o sistema metal-eletrólito é passivo (ou seja, não ocorre a corrosão), além de não poder determinar a corrosão localizada. Para se obter estas informações são necessários ensaios eletroquímicos distintos.

De acordo com Berradja (2019), a desvantagem da técnica Tafel é que muitas vezes são necessárias grandes densidades de corrente para gerar os gráficos Tafel completos. O uso de grandes densidades de corrente pode alterar as condições da superfície da amostra (por exemplo, alteração permanente ou dano à superfície), distorcendo assim os resultados e aumentando as complicações devido ao transporte de massa e à resistência eletrolítica não compensada. A medição da densidade de corrente numa ampla faixa de potencial também pode distorcer os resultados se a adsorção de algumas espécies for dependente do potencial.

Muitos trabalhos vêm sendo publicados utilizando-se a técnica de Polarização Linear para estudo da corrosão de ligas de aço carbono. Como exemplo, o trabalho do Azam *et al.* (2020), que teve como objetivo investigar o efeito da corrosão de diferentes águas do mar ao redor da Península da Malásia no aço carbono do gasoduto de petróleo/gás natural. A técnica de extrapolação Tafel foi aplicada para avaliar a taxa de corrosão do aço da tubulação. Os resultados da taxa de corrosão variaram de 0,01 a 0,024 mm/ano. Testes de imersão foram realizados para examinar o produto de corrosão formado na superfície do tubo e a partir do resultado, corrosão localizada (pite) e corrosão uniforme ocorreram severamente na superfície da amostra para ambos os eletrólitos da água do mar.

O trabalho de Maestro *et al.* (2023) objetivou diminuir a degradação do aço utilizando inibidores de corrosão verdes. Investigou-se a eficiência da casca de alho como inibidor verde em diferentes soluções aquosas: ácida, neutra e básica a fim de avaliar sua capacidade de inibição em diferentes soluções. A técnica de curvas de polarização foi utilizada para observar o efeito do inibidor de casca de alho nas reações de corrosão. As alterações observadas nas curvas de polarização após a adição do inibidor são um bom critério qualitativo para classificar os inibidores como catódicos, anódicos ou mistos. Como os meios ácidos são mais corrosivos, a literatura e também o uso de inibidores estão mais focados neste tipo de ambiente. Entretanto, os achados demonstraram o potencial do inibidor do alho verde em diferentes meios, sugerindo que sua presença nos meios básicos pode promover redução expressiva na taxa de corrosão. Muitos outros trabalhos também vêm sendo publicados visando a aplicação da técnica de curvas de polarização para inibição do aço carbono em meio ácido clorídrico, como o trabalho de Santos e colaboradores (2016) e Huang e colaboradores (2023).

### 2.4.3 Técnica de ruído eletroquímico

O processo de corrosão é caracterizado pelas transferências de elétrons na interface da superfície do metal e o meio em que ele se encontra (eletrólito). Os processos corrosivos de um metal ou liga metálica geram flutuações aleatórias de corrente e potencial, em função do tempo. Diante disto, a técnica de ruído eletroquímico visa aferir tais flutuações. Os métodos tradicionais de análises eletroquímicas possuem algumas desvantagens e limitações quando relacionadas à formação de produtos de corrosão e condutividade do meio de corrosão. Outra desvantagem dos métodos tradicionais, é que estes métodos não são capazes de identificar de forma precisa quando se trata de corrosão localizada. (Fraga, 2019).

A vantagem da técnica de RE é que não é necessária a aplicação de nenhuma polarização externa e o sistema está em condições naturais de corrosão, os resultados obtidos são provenientes totalmente do processo natural sem aplicação de interferências adicionais no meio. Isso torna a técnica não destrutiva e não intrusiva, capaz de monitorar mudanças básicas em um sistema eletroquimicamente ativo. Vários procedimentos ampliam o uso de medições da técnica de RE em plantas piloto e instalações de campo, seu uso é justificado especialmente quando as medições são realizadas em sistemas com condutividade muito baixa, onde, por exemplo, a técnica de impedância falha devido à perda de sinal na alta resistência da solução (Berradja, 2019).

O sinal de corrente pode ser medido utilizando um amperímetro conectado entre dois eletrodos (eletrodos de trabalho) de mesmo material imersos em solução corrosiva. O sinal eletroquímico de tensão, por sua vez, pode ser medido utilizando um voltímetro conectado a um eletrodo do metal e a um eletrodo de referência (Alves, 2017).

Alguns equipamentos operam com as duas medidas simultaneamente, como é o caso dos potenciostatos. Os módulos atuais de teste RE incluem um módulo potenciostático para obter as oscilações de ruído de corrente eletroquímica, um módulo galvanostático para obter as oscilações de potencial e também um módulo de resistência amperométrica zero (ZRA) para registrar simultaneamente potencial e corrente (Xia *et al*, 2020).

O arranjo mais comumente utilizado, conforme mostrado na Figura 9, é montado a partir de 2 eletrodos de trabalho (ET1 e ET2) de mesmo material e mesma área superficial. Também é utilizado um eletrodo de referência (ER) e entre este eletrodo e o eletrodo de trabalho são obtidos os dados de ruído de potencial. A diferença no ruído de potencial entre dois eletrodos de trabalho funciona como um sinal interno onde uma pequena diferença de tensão

momentânea gerada entre os eletrodos produz um ruído de corrente, ou seja, o ruído de corrente é impulsionado pela diferença do ruído de potencial randômico (Alves, 2017).

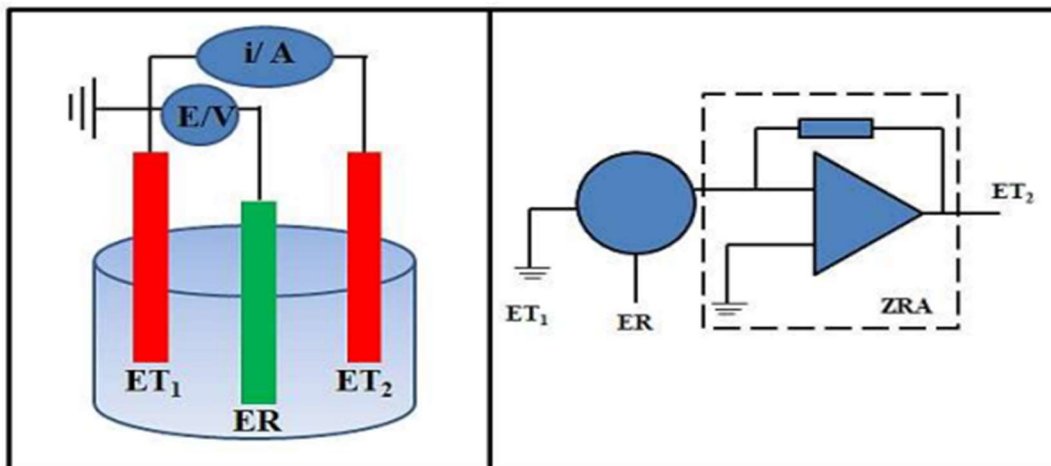


Figura 9: Esquema de medição dos sinais de RE (Fonte: Alves, 2017).

Os resultados obtidos com a técnica de ruído podem ser apresentados como curvas de potencial ou corrente em função do tempo (registros temporais das oscilações) ou em função da frequência (densidades espectrais de potência).

Exemplos de curvas de ruído de corrente obtidas em função do tempo são apresentadas na Figura 10. É possível observar os transientes relacionados aos processos que ocorrem durante o rompimento e formação do filme passivo em uma corrosão por pites.

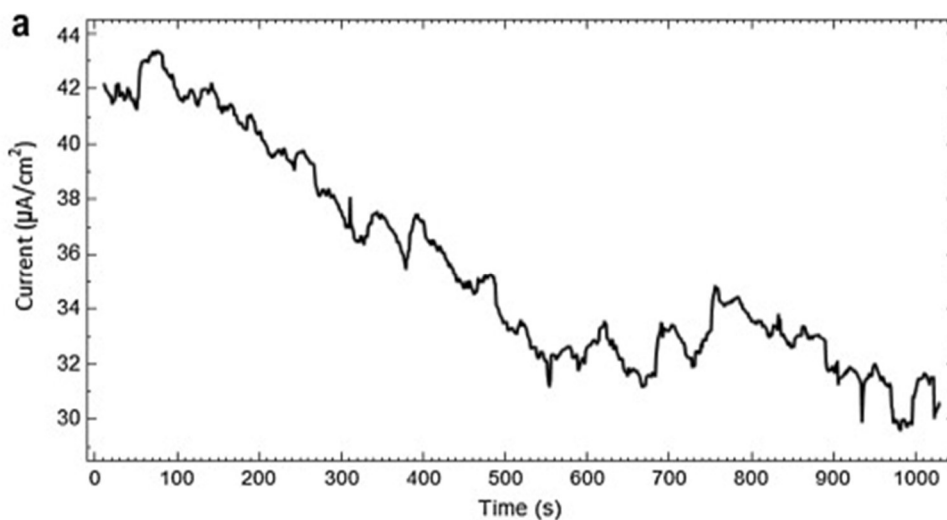


Figura 10: Registros de ruído de corrente eletroquímica em função do tempo obtidos de placas de aço imersas em HCl 1,0 M (Fonte: Markhall *et al* 2013).

Com os dados obtidos em função do tempo é possível obter um dado estatístico do ruído que é a resistência ao ruído ( $R_R$ ). Que nada mais é que a razão entre o desvio padrão do ruído de potencial ( $\sigma V$ ) e o desvio padrão do ruído da corrente ( $\sigma I$ ). O valor do  $R_R$  está ligado à taxa de corrosão, quanto maior a resistência ao ruído menos o metal está sendo corroído.

Como o volume de informações obtidas nos experimentos de RE é muito grande, se faz necessário uso de ferramentas matemáticas para a análise destes dados. A Transformada de Fourier (TF) é uma das ferramentas bastante utilizadas, o método de Fourier consiste na transformação de um domínio em um novo domínio, este domínio transformado é o domínio espectral ou da frequência, enquanto, o domínio original da função é o domínio temporal.

Já a ferramenta matemática chamada de Transformadas de Ondaletas (TO), possui janelas móveis que podem dilatar ou comprimir para capturar tanto os sinais de alta frequência quanto os sinais de baixa frequência. Apesar de ser uma técnica relativamente nova, a TO é muito utilizada para a análise dos dados de RE. Através da análise de TO é possível estimar informações sobre a taxa de corrosão através do cálculo da integral do módulo da corrente em função do tempo, e também é possível identificar os principais tipos de corrosão (Fraga, 2019).

Existem dois tipos distintos de transformadas de ondaletas: a transformada de ondaletas contínua e a discreta. A maioria dos trabalhos na área de corrosão utilizam a transformada de ondaletas ortogonal, a qual é um tipo de transformada discreta.

De acordo com Aballe *et al.* (1999), a transformada de ondaleta ortogonal é calculada por meio do algoritmo de transformação de ondaleta rápida, cujo esquema é representado na Figura 11.

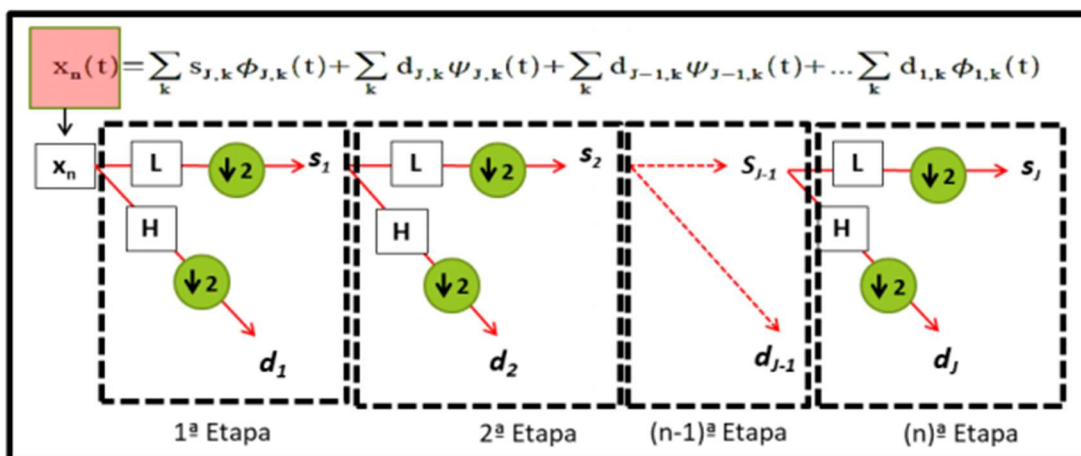


Figura 11: Esquema de decomposição por transformada de ondaletas ortogonal (Fonte: Adaptado de Aballe et al., 1999)

Assim, na primeira etapa deste algoritmo, o sinal,  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , é decomposto em dois conjuntos de coeficientes:

- o conjunto de coeficientes das aproximações  $s_1 = (s_{1,1}, s_{1,2}, \dots, s_{1,N/2})$ , que contém informações sobre a tendência geral do sinal.
- o conjunto de coeficientes dos detalhes,  $d_1 = (d_{1,1}, d_{1,2}, \dots, d_{1,N/2})$ , que contém informações sobre as flutuações locais no sinal.

Os coeficientes de detalhe,  $d_1$ , são salvos e codificarão as informações relacionadas as altas frequências contidas no sinal. A análise continua aplicando os filtros passa-alto e passa-baixo ao conjunto de coeficientes das aproximações,  $s_1$ . Isto produz dois novos conjuntos de coeficientes ( $d_2, s_2$ ). Este processo é iterado sucessivamente  $J$  vezes para decompor o sinal nos seguintes coeficientes wavelet:  $d_1 = (d_{1,1}, d_{1,2}, \dots, d_{1,N/2})$ ,  $d_2 = (d_{2,1}, d_{2,2}, \dots, d_{2,N/4}) \dots d_J = (d_{J,1}, d_{J,2}, \dots, d_{J,N/2^J})$ ,  $s_J = (s_{J,1}, s_{J,2}, \dots, s_{J,N/2^J})$ . Cada um dos conjuntos de coeficientes  $d_1, d_2, \dots, d_J$  e  $s_J$  é chamado de **cristal**. Como a operação de redução da amostragem é aplicada em cada iteração, o cristal resultante  $s_j$  contém metade do número de pontos de dados do anterior. Isto significa que o sinal é, sucessivamente, analisado com metade da resolução anterior. Desta forma, o algoritmo da transformada rápida de ondaletas é capaz de fornecer uma descrição do sinal original em várias escalas de tempo ou resoluções.

As energias relativas acumuladas em cada cristal podem ser plotadas em um gráfico em função do nome do cristal ( $d_1$  à  $d_8$ ). Esses gráficos são referidos como gráficos de distribuição de energia (EDP), Figura 12. Assim cada cristal fornece uma medida da atividade do evento ou eventos que estão operando em escala associada.

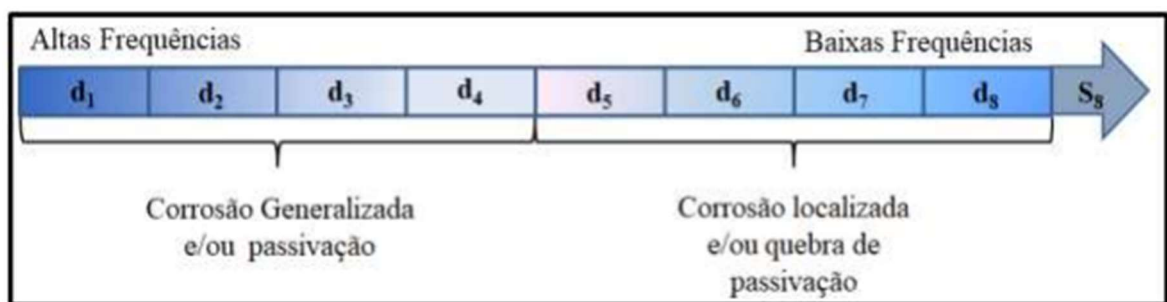


Figura 12: Diagrama de nível de decomposição (Fonte: Fraga, 2019)

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos em busca de informações sobre metodologias de monitoramento de corrosão utilizando a técnica de RE. Xia e colaboradores (2019), monitoraram a corrosão atmosférica do aço Q235B pela técnica de RE, tanto por parâmetros estatísticos quanto por análises no domínio da frequência para quantificar a taxa de corrosão. A confiabilidade da medição de RE foi avaliada por espectroscopia de impedância

eletroquímica (EIE). Os resultados experimentais indicaram que a resistência do eletrólito tem impacto na medição do RE, mas pode ser descartada se for muito inferior à impedância do eletrodo de trabalho. As tentativas dos investigadores de avaliar as características da RE no domínio da frequência usando Transformada de Fourier (TF) provaram ser bem-sucedidas, de acordo com os autores a técnica de RE é muito promissora para monitoramento on-line de corrosão em condições atmosféricas. Mas deve-se ter cuidado ao usar parâmetros estatísticos e impedância de ruído espectral para quantificar a taxa de corrosão. Por que a confiabilidade dessas análises depende da configuração da medição.

O trabalho realizado por Comas e colaboradores (2021), teve por objetivo estudar a propagação da corrosão localizada em eletrodos de aço carbono API 5L X65 em solução 0,5 M de  $\text{NaHCO}_3$  contendo íons cloreto por meio de medições de RE. Embora a técnica RE seja geralmente usada para detectar o estágio inicial da corrosão localizada, experimentos de longo prazo (cerca de 100 horas) foram realizados para investigar a propagação da corrosão e avaliar a adequação da técnica RE para tal estudo. As principais conclusões tiradas da análise das medições RE, foram que, embora a identificação do mecanismo de corrosão (pite) fosse possível em tempos curtos de imersão a partir da observação de potenciais característicos e transientes de corrente, isso não era mais possível em tempos longos para estudar a propagação da corrosão, mesmo em eletrodos pequenos, devido aos vários ataques de corrosão que ocorrem simultaneamente (fendas, desprendimento de produtos de corrosão). No entanto, a amplitude do ruído medido, que aumentou com o tempo, é uma indicação clara de que a propagação da corrosão continuou durante todo o período de imersão, o que foi confirmado por observações visuais e SEM.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

##### 3.1.1 Confeção dos eletrodos de trabalho

Para a confecção dos eletrodos de trabalho usou-se o aço AISI 1020 obtido comercialmente, o qual apresenta a composição dada na Tabela 2. As demais informações sobre o aço podem ser encontradas no Anexo A.

Tabela 2: Composição do aço carbono AISI 1020 utilizado neste trabalho (Fonte: O autor, 2022)

Constituinte	C	Mn	Si	P	S	Al	Cu	Cr	Ni	Mo
%	0,1860	0,4770	0,0810	0,0148	0,0057	0,02	0,0187	0,0223	0,0091	0,0022

O aço foi cortado em pequenas barras de 13 cm de comprimento com diâmetro de 4,76 mm, lixado e embutido em resina epóxi com auxílio de canos pvc de ¼". Após o tempo de cura da resina epóxi (72 horas), os eletrodos de trabalho foram lixados com o auxílio da politriz com as lixas 220, 240, 400 e 600 sob constante fluxo de água, os eletrodos foram lixados sempre na mesma direção mantendo a mesma força aplicada. Foram confeccionados 5 eletrodos ao todo, conforme ilustrado na Figura 13.



Figura 13: Eletrodos de trabalho usados nas medidas de curvas de polarização

O eletrodo utilizado para a medida de ruído eletroquímico é composto por duas barras de aço do mesmo material, seguiu-se a mesma metodologia anterior para a confecção do eletrodo (Figura 14) utilizado nas medidas de ruído.

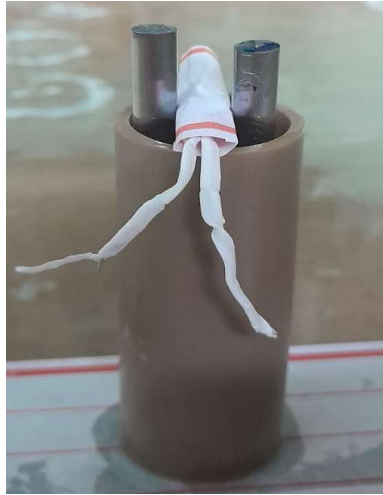


Figura 14: Eletrodo de trabalho usado nas medidas de ruído eletroquímico (Fonte: O autor, 2022).

### 3.1.2 Confecção do eletrodo de referência

Para a confecção do eletrodo de referência utilizou-se um fio de prata imerso em solução de Ácido Clorídrico 1 M, ligado ao pólo positivo de uma pilha alcalina de 1,5 V, ao pólo negativo da pilha estava o eletrodo inerte de platina. Ao final do experimento obteve-se parte do fio de prata coberto por cloreto de prata como ilustrado na Figura 15.

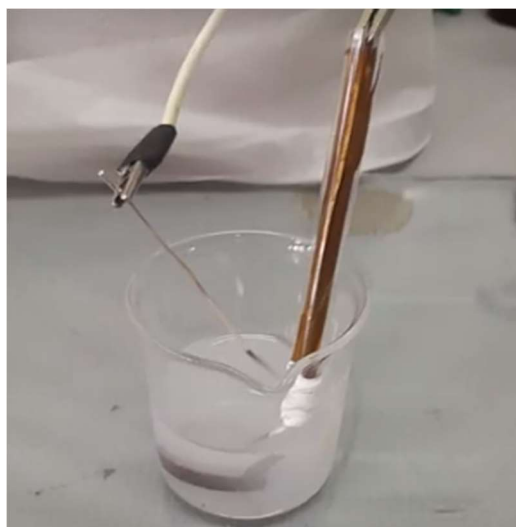


Figura 15: Fio de Prata recoberto por Cloreto de Prata (Fonte: O autor, 2023).

O fio de prata revestido com cloreto de prata foi então embutido no corpo de vidro contendo solução saturada de Cloreto de Potássio (KCl), conforme ilustra a Figura 16.

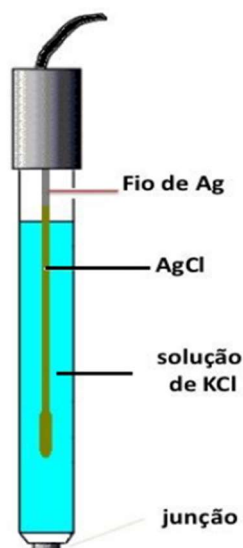


Figura 16: Eletrodo de Referência (Rodríguez, 2012).

### 3.1.3 Preparação da lama de perfuração

Para o preparo da lama de perfuração utilizou-se argila bentonítica sódica industrializada, obtida comercialmente da empresa BRX Minérios. Utilizou-se ainda em conjunto os aditivos Goma Xantana e o Carboximetilcelulose de Sódio obtidos comercialmente da empresa Cloroquímica, as fichas técnicas dos aditivos podem ser encontradas no Anexo B.

O preparo da lama baseou-se na metodologia usada por Melo (2008). As seguintes etapas para preparação dos fluidos estão descritas a seguir:

1. Pesou-se previamente aproximadamente 8,7g de Bentonita, 0,7g de Goma Xantana, e aproximadamente 1g do redutor de filtrado carboximetilcelulose;
2. Adicionou-se 350 ml de água Ultrapura (MiliQ) ao copo do liquidificador, ligou-se o equipamento e adicionou-se a massa do viscosificante (Bentonita) ao copo com a água sob agitação, agitou-se por cerca de 5 minutos;
3. Em seguida foram adicionados a massa do aditivo Goma Xantana e carboximetilcelulose, cada aditivo foi misturado por cerca de 1 min;
4. Após a agitação, o fluido permaneceu em repouso por 24 horas para completa hidratação da argila;

Após as 24 horas de repouso, usando a porcentagem em peso (p/v), formulou-se dois fluidos a 3% de NaCl, adicionou-se o aditivo NaCl sob agitação constante no mesmo liquidificador durante 2 min

Tabela 3: Composição das lamas de perfuração formuladas (Fonte: O autor, 2022).

<b>Componentes</b>	<b>Fluido 1</b>	<b>Fluido 2</b>	<b>Fluido 3</b>	<b>Fluido 4</b>
Água (ml)	350	350	350	350
Argila Bentonita (g)	8,75	8,75	8,75	8,75
Carboximetilcelulose(g)	1	1	1	1
Goma Xantana (g)	0,7	0,7	0,7	0,7
Cloreto de Sódio (g)	-	-	3%	3%

O ácido clorídrico foi adicionado gota a gota com o auxílio de uma pipeta de Pasteur aos fluidos 2 e 4, somente para efeito de redução de pH.

### 3.1.4 Equipamentos utilizados

Todas as micrografias apresentadas neste trabalho foram obtidas mediante um Microscópio Metalográfico Invertido (MTM-17T) (Figura 17) interfaceado a um computador, com o programa TCapture.



Figura 17: Microscópio Metalográfico Invertido (Fonte: O autor, 2022).

O lixamento e polimento dos eletrodos foram feitos com o auxílio da politriz (Arotec Aropol E), conforme a Figura 18.



Figura 18: Politriz (Fonte: O autor, 2022)

As medidas de pH foram realizadas com o auxílio de um pHmetro de bancada (Figura 19) da marca QUIMIS (Q400RS), o equipamento foi calibrado conforme o mesmo solicitava as soluções-tampão.



Figura 19: pHmetro de bancada (Fonte: Quimis, 2022).

Para as medidas de condutividade foi utilizado um Condutímetro de bancada (Figura 20) da marca QUIMIS (Q795A2), devidamente calibrado de acordo com o manual de instruções do equipamento.



Figura 20: Condutivimetro de bancada (Fonte: O autor, 2022).

Para as medidas eletroquímicas utilizou-se um potenciostato-galvanostato (Figura 21) de marca AUTOLAB (PGSTAT-302N).

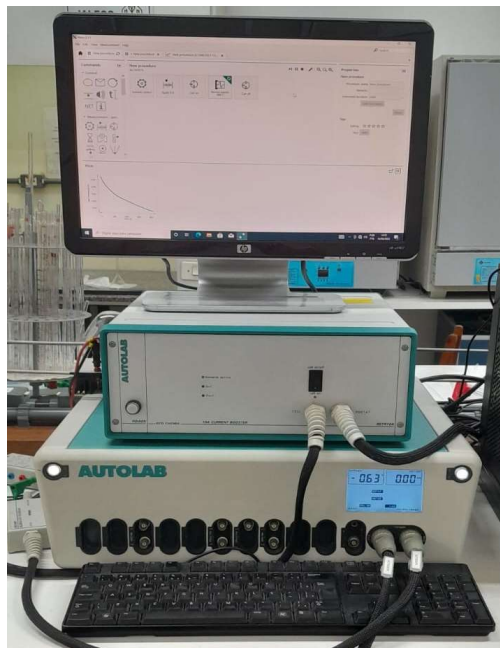


Figura 21: Potenciostato Autolab (Fonte: O autor, 2022).

## 3.2 METODOLOGIA

### 3.2.1 Matriz do planejamento experimental fatorial simples 2<sup>2</sup>

Os fluidos de perfuração de base aquosa foram formulados, utilizando o planejamento fatorial 2<sup>2</sup>, totalizando 4 formulações de fluidos de perfuração.

A Tabela 4 apresenta os níveis e fatores do planejamento experimental, onde variou-se a porcentagem de NaCl e o pH dos fluidos formulados.

Tabela 4: Variáveis independentes do planejamento fatorial 2<sup>2</sup> para a formulação dos fluidos (Fonte: O autor, 2022).

NÍVEIS	FATORES	(-1)	(+1)
1	NaCl	-	3,0%
2	pH	4,0	7,20

As composições dos demais componentes utilizados para as formulações dos fluidos de perfuração mantiveram-se constantes de acordo com a Tabela 3, apresentada anteriormente.

### 3.2.2 Medidas Eletroquímicas

Para as medidas eletroquímicas descritas a seguir, foi utilizado um potenciostato/galvanostato Autolab-PGSTAT-302, controlado pelo programa NOVA 2.1.5. Todas as medidas eletroquímicas do estudo foram realizadas em temperatura ambiente, ou seja, próxima de 25 °C. Todas as medidas realizadas foram feitas em triplicatas.

#### 3.2.2.1 Curvas de Polarização

Para as medidas potenciostáticas, utilizou-se uma célula de vidro com três eletrodos (Eletrodo de Referência – ER, Contra Eletrodo – CE, Eletrodo de Trabalho – ET) imersos no fluido de perfuração. A velocidade de varredura nas medidas de CP foi de 1 mVs<sup>-1</sup>, e o intervalo de estudo de ± 200 mV a partir do potencial de circuito aberto (E<sub>ca</sub>) do sistema em estado estacionário. A Figura 22, apresenta a configuração da célula eletroquímica utilizada nas medidas potenciostáticas deste estudo.

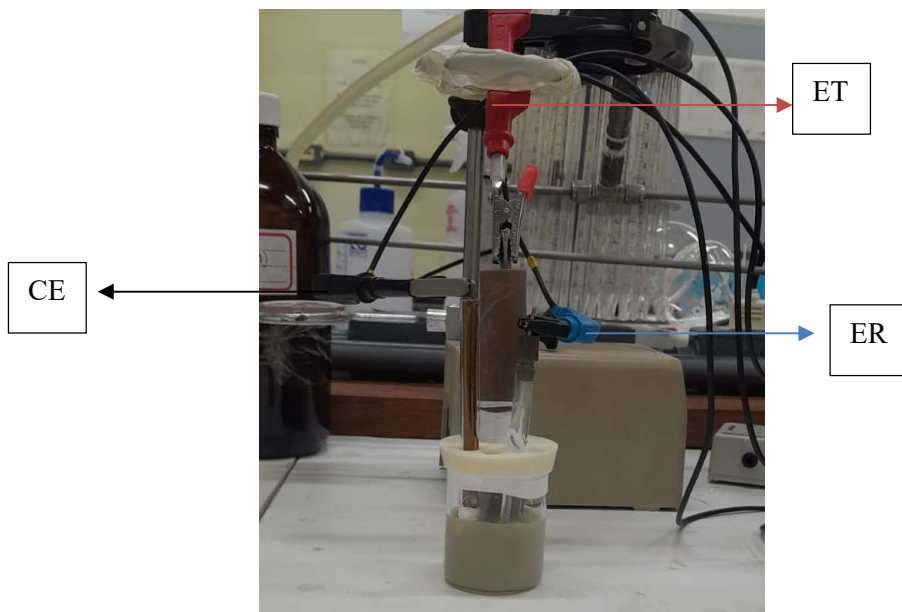


Figura 22: Célula Eletroquímica (Fonte: O autor, 2022).

### 3.2.2.2 Medidas de Ruído Eletroquímico

As medidas de Ruído foram registradas em condições de potencial de circuito aberto ( $E_{ca}$ ), utilizando uma gaiola de Faraday para minimizar as interferências eletromagnéticas externas.

As conexões elétricas para este tipo de medida diferem um pouco daquelas comumente utilizadas em eletroquímica. O ruído de corrente é monitorado entre os eletrodos  $ET_1$  e  $ET_2$  e o ruído de potencial entre os eletrodos de trabalho ( $ET_1 + ET_2$ ) e o eletrodo de referência (ER). A Figura 23 ilustra as conexões para esta medida.

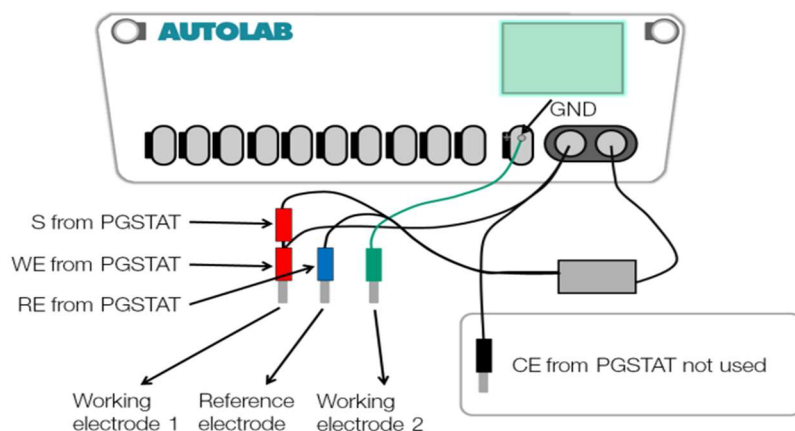


Figura 23: Ilustração das conexões para medida do ruído (Fonte: Manual Nova Autolab: NOVA ECN tutorial, 2022)



A utilização de ferramentas matemáticas para análise dos dados é indispensável. Assim utilizou-se a Transformada de Ondas (TO), que é uma poderosa técnica de processamento de dados, onde o sinal de ruído eletroquímico foi analisado no software MatLab, utilizando função “*Wevelet Design & Analysis*”, como dado de entrada utilizou-se Daubechies "db10" aplicando oito níveis de decomposição como mostra a Figura 24.

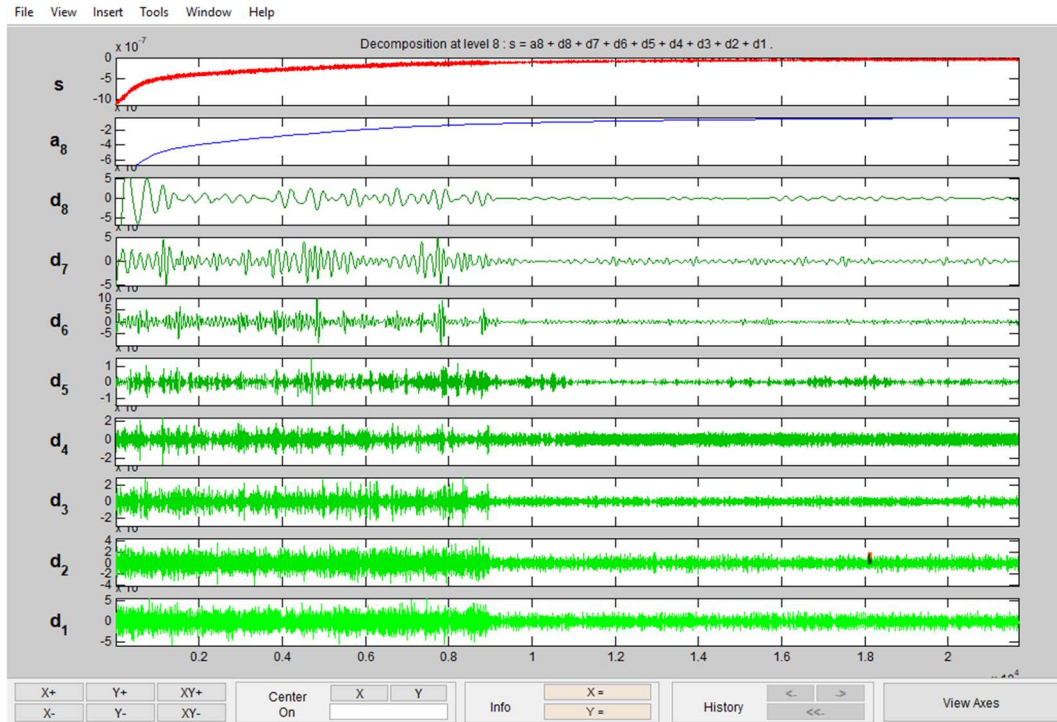


Figura 24: Decomposição de energia do sinal de corrente através da transformada de ondaletas.

### 3.2.2.3 Procedimentos adotados para aquisição das imagens

Primeiramente observou-se o eletrodo polido antes dos ensaios experimentais, assim foram obtidas imagens microscópicas de sua superfície, um total de 10 imagens aleatórias com aumento de 100x, 200x e 400x.

Após os ensaios eletroquímicos para cada tipo de lama de perfuração (total de 4 tipos de lama), o eletrodo de trabalho foi lavado com água destilada e seco suavemente com o auxílio de toalhas de papel, logo em seguida levou-se o eletrodo para o microscópio para obtenção das imagens de sua superfície, foi obtido um total de 10 imagens aleatórias, porém representativas, com aumento de 100, 200 e 400 vezes.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos parcialmente neste projeto, relacionados às caracterizações do fluido de perfuração e da corrosão do aço AISI 1020, incluem testes de caracterizações físicas e químicas, testes eletroquímicos e microscópicos. Esses testes visam avaliar algumas propriedades do fluido que possam ter correlação com as propriedades de corrosão do mesmo.

### 4.1 CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DA LAMA

A partir dos testes de condutividade elétrica, acidez e potencial de circuito aberto do sistema aço/fluido foram obtidos os resultados apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Medidas de pH e condutividade das amostras a temperatura de 25° C (O, autor, 2023).

Lama de perfuração	Condutividade (mS/cm)	pH	Potencial (V)
Sem NaCl/HCl	1,826	7,20	-0,701(± 0,07)
3% NaCl sem HCl	9,37	7,20	-0,670(± 0,08)
Sem NaCl com HCl	5,50	4,10	-0,653(± 0,01)
3% NaCl com HCl	7,10	4,13	-0,656(± 0,06)

A Tabela 5, apresenta as quatro condições de estudos, para a lama de perfuração Sem NaCl/HCl, onde não se tem nem a influência do sal ou do ácido observa-se uma condutividade de 1,826 mScm<sup>-1</sup>, conforme adiciona-se sal na Lama de Perfuração (3% NaCl sem HCl) observa-se um aumento da condutividade o que é esperado dado que o sal no fluido tem seus íons separados, e por possuírem carga elétrica, conduzem a eletricidade. Ao adicionar o ácido clorídrico à lama, observa-se que a condutividade da lama aumenta, quanto mais ácido ou básico for o pH, mais íons existem, quanto mais íons, maior a condutividade elétrica nos fluidos (3% NaCl com HCl e Sem NaCl com HCl).

O pH do fluido formulado está dentro do parâmetro exigido pela NBR 6122 (1996), onde a faixa de pH para a lama bentonítica é de 7 a 11. Os demais valores de pH foram ajustados para uma condição mais ácida de acordo com o estudo.

Uma vez que o fluido possui um pH dentro da faixa, apresenta uma boa condutividade a utilização deste é viável, pois irá interagir de forma menos prejudicial com os equipamentos que constituem a coluna de perfuração e o meio ambiente e, exercerá todas as funções de um fluido de perfuração descritas por Thomas 2001.

## 4.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO POTENCIAL EM CIRCUITO ABERTO

Neste item serão relatados e discutidos os resultados obtidos para os ensaios eletroquímicos realizados em potencial de circuito aberto (Figura 25), para análise do processo de corrosão natural do aço, imersos nos fluidos de perfuração nas quatro condições de estudo. Todas as medidas de potenciais aqui relatadas têm como referência o eletrodo de Ag|AgCl, e todas as medidas foram realizadas em triplicatas.

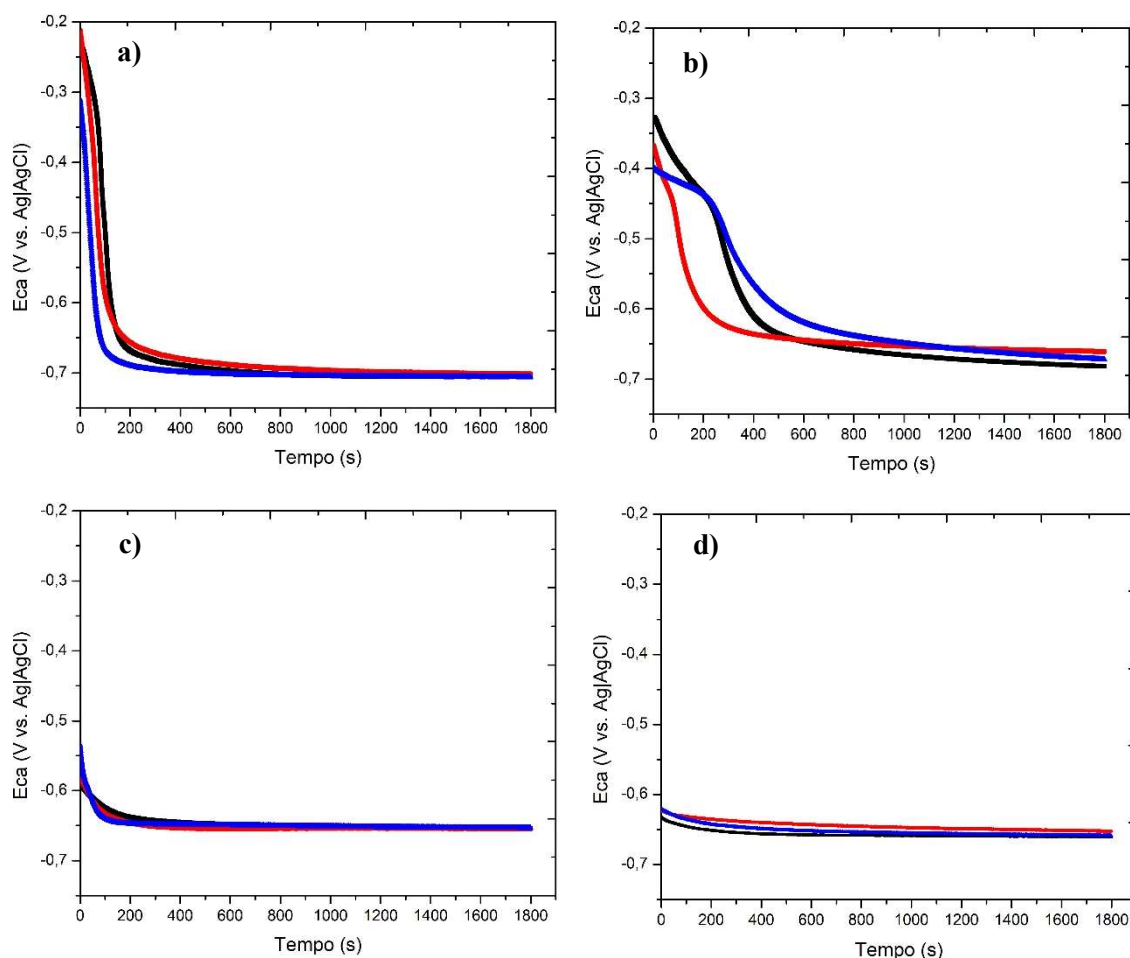


Figura 25: Curvas do Eca do aço AISI 1020 para as quatro composições do fluido de perfuração: a) sem NaCl e sem HCl; b) 3% de NaCl sem HCl; c) Sem NaCl com HCl; d) 3% NaCl com HCl (Fonte: O autor, 2023)

De modo geral, os eletrodos tendem a ter uma queda no potencial de circuito aberto logo após a imersão no fluido devido a uma série de fatores comuns para praticamente todos os sistemas que apresentam tendência à corrosão. Um dos principais fatores seria a passivação, que nada mais é que uma camada de óxido do metal na superfície do eletrodo, que pode ocorrer devido à reação entre o metal do eletrodo, no presente caso o ferro majoritário na composição

do aço AISI 1020, e o oxigênio presente na solução, juntamente com a presença de outros íons presentes no meio que favorecem o processo. Essa camada protetora pode afetar a transferência de elétrons entre o eletrodo e a solução, resultando em uma diminuição gradativa no potencial de circuito aberto, até um ponto de tendência a estabilização do potencial. Além disso, a presença de íons na solução eletrolítica pode influenciar na polarização do eletrodo, levando a uma redução no potencial de circuito aberto durante a formação da dupla camada elétrica na interface.

Nas curvas a e b da Figura 25, observa-se uma queda de potencial gradativamente desde a imersão do eletrodo até o início da estabilização, que se inicia próximo aos 200 segundos. Observa-se ainda, que para a lama sem adição de NaCl e sem HCl tem-se um potencial de  $-0,701 \text{ V} (\pm 0,07)$ , para curva b com lama de 3% de NaCl, observa-se um potencial em torno de  $-0,670 \text{ V} (\pm 0,08)$ , mostrando que houve um deslocamento para um potencial de corrosão mais positivo com adição do sal. Foi observado que sistemas que contêm argila tem potenciais de corrosão em torno de  $-0,600$  a  $-0,900$ , estes valores são observados nos trabalhos Liu e colaboradores (2023).

Nas curvas c e d da Figura 25, observa-se uma tendência de estabilização de potencial mais rápida para estes meios que contêm pH ácido, as reações de redução e oxidação tendem ao equilíbrio rapidamente, estas características são encontradas na literatura assim como nos trabalhos dos autores Santos e colaboradores (2016) e Huang e colaboradores (2023) citados na revisão deste trabalho.

#### 4.3 ANÁLISE DE CORROSÃO POR CURVA DE POLARIZAÇÃO LINEAR

Neste item serão discutidos os resultados obtidos para os ensaios eletroquímicos das curvas de polarização, imersos nos fluidos de perfuração nas quatro condições de estudo. Todas as medidas aqui relatadas foram realizadas em triplicatas. A aplicação desta técnica visa buscar os valores de corrosão dos respectivos sistemas por meio do método da extrapolação da reta de Tafel. Os ensaios de curvas de polarização foram realizados imediatamente após 1.800 segundos de estabilização em potencial de circuito aberto ( $E_{ca}$ ).

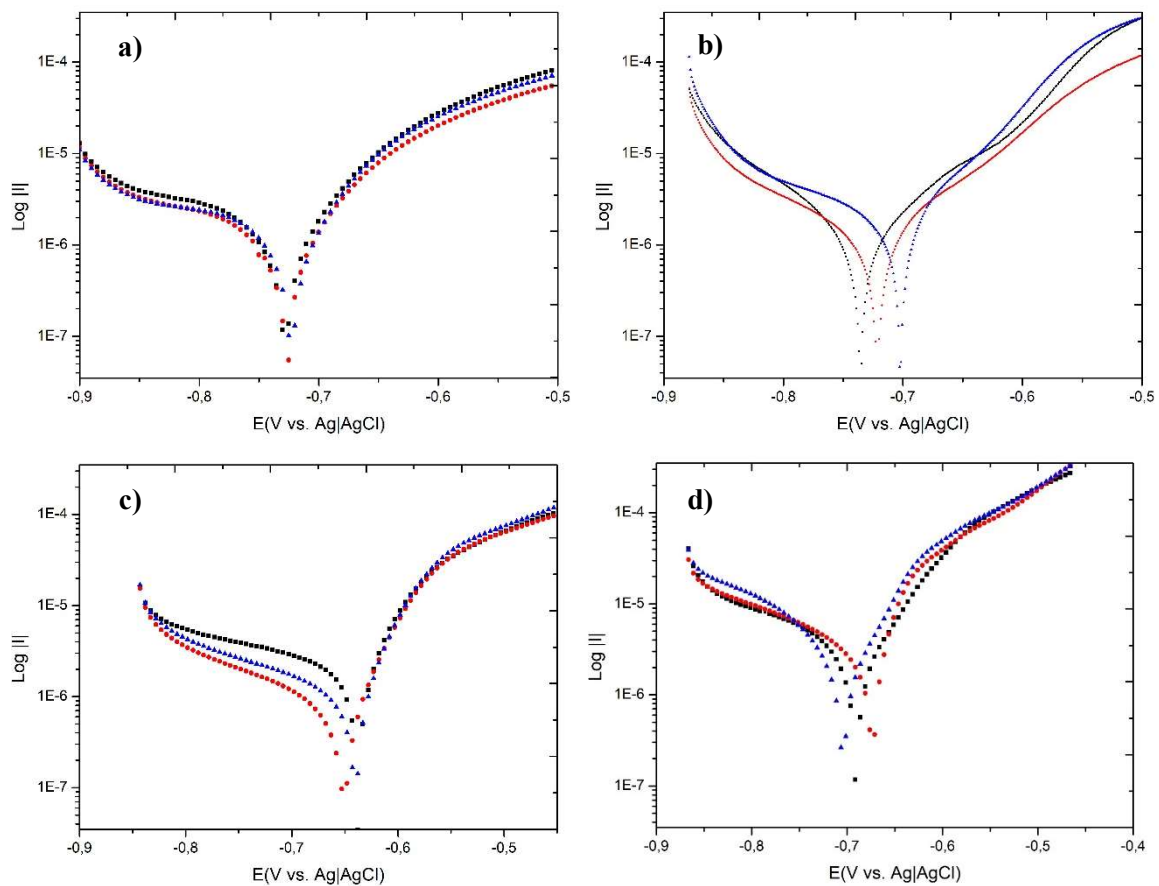


Figura 26: Curvas De Polarização do aço AISI 1020 para as quatro composições do fluido de perfuração: a) sem NaCl e sem HCl; b) 3% de NaCl sem HCl; c) Sem NaCl com HCl; d) 3% NaCl com HCl (Fonte: O autor, 2023)

Observa-se uma boa reprodutibilidade das curvas nas quatro condições estudo, uma vez que os potenciais de corrosão ficaram bem próximos e os perfis dos ramos anódicos estão bem semelhantes, com poucas variações entre si.

Na Figura 26: a) observa-se uma boa reprodutibilidade das triplicatas, para esta condição sem a influência do NaCl e sem HCl, observa-se as curvas do ramo anódico sem ondulações ou interferências, os perfis são bastante semelhantes e seguem o mesmo padrão.

Já na Figura 26: b) observa-se nos ramos anódicos pequenas variações indicando que está ocorrendo processos oxidativos do ferro, isto ocorre devido à concentração de cloreto contido na lama de perfuração, como já descrito na literatura o aumento na concentração de sal aumenta a taxa de corrosão.

As curvas c e d da Figura 26, apresentam a lama contendo HCl, observa-se que estas curvas seguem o mesmo padrão nos perfis, observa-se ainda que são curvas mais estáveis em relação às curvas que contém somente sal.

Um dos objetivos de um ensaio de curvas de polarização, além de permitir determinar a corrente de corrosão e o potencial de corrosão, é conhecer como um metal se comporta se houver uma variação do seu potencial em um determinado meio (quando houver variação na temperatura, variações de pH, etc), mostrando quanto a corrosão vai aumentar em determinado meio. Fato que não foi observado nos dados retirados das curvas de polarização de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros de polarização potenciodinâmica para corrosão de aço 1020 (Fonte: O, autor, 2023)

<b>Condições Experimentais</b>	<b>E<sub>corr</sub> (V)</b>	<b>I<sub>corr</sub> (A)</b>	<b>B<sub>c</sub> (V)</b>	<b>B<sub>a</sub> (V)</b>	<b>Taxa de Corrosão (g/ano M<sup>2</sup>)</b>
<b>Sem NaCl/HCl</b>	-0,731	1,47E-06	-3,337	9,046	748,37 (±38,74)
<b>Sem NaCl com HCl</b>	-0,749	2,71E-06	-4,059	5,352	1.388,02 (±95,78)
<b>3% NaCl sem HCl</b>	-0,722	1,36E-06	-4,960	9,457	697,26 (±71,26)
<b>3% NaCl com HCl</b>	-0,783	2,21E-06	-2,765	5,762	1.131,44 (±58,87)

Observa-se que os potenciais de corrosão se mantiveram próximos, valores de potenciais menores foram obtidos para as condições de fluidos com ácidos enquanto para condições de fluidos sem ácidos os potenciais são um pouco maiores.

Já as correntes de corrosão os valores se mantiveram na ordem de  $10^{-6}$ , mostrando pouca variação entre os resultados, em condições mais agressivas contendo ácido e sal é esperado correntes de corrosão maiores o que não foi observado. Fato que pode estar relacionado com o aditivo Goma Xantana, conforme já mencionado na revisão bibliográfica a Goma Xantana tem uma alta estabilidade em uma ampla faixa de temperatura e pH.

Conforme o trabalho de Mobin e Rizvi (2016), as taxas de corrosão são reduzidas na presença de Goma Xantana em solução ácida. Isto sugere que possivelmente a Goma Xantana reduz a dissolução anódica do aço mais do que a redução catódica dos íons hidrogênio. A eficiência de inibição da Goma Xantana diminui com o aumento da temperatura. Neste trabalho a temperatura não é uma variável de estudo, porém seria interessante dado sua marcante presença nos poços de petróleo e sua influência nos fluidos de perfuração.

#### 4.4 IMAGENS MICROSCÓPICAS DAS AMOSTRAS DE AÇO CARBONO 1020

As imagens microscópicas do aço foram tiradas imediatamente após a finalização dos ensaios de curvas de polarização. As Figuras 27 (a e b) mostram a superfície do eletrodo limpo, antes dos ensaios experimentais. Observa-se um polimento uniforme da superfície do aço.

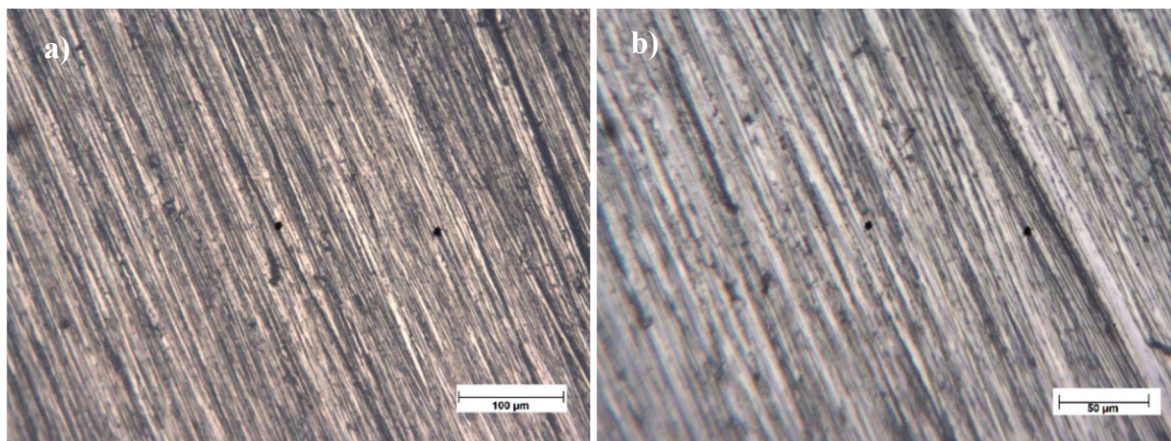


Figura 27: Aço AISI 1020: a) superfície da amostra de aço após polimento em escala de 100  $\mu\text{m}$  e b) 50  $\mu\text{m}$ .

A Figura 28 apresenta a superfície do aço após os experimentos com a lama de perfuração em cada condição de estudo. Todas as imagens microscópicas aqui apresentadas são representativas do todo.

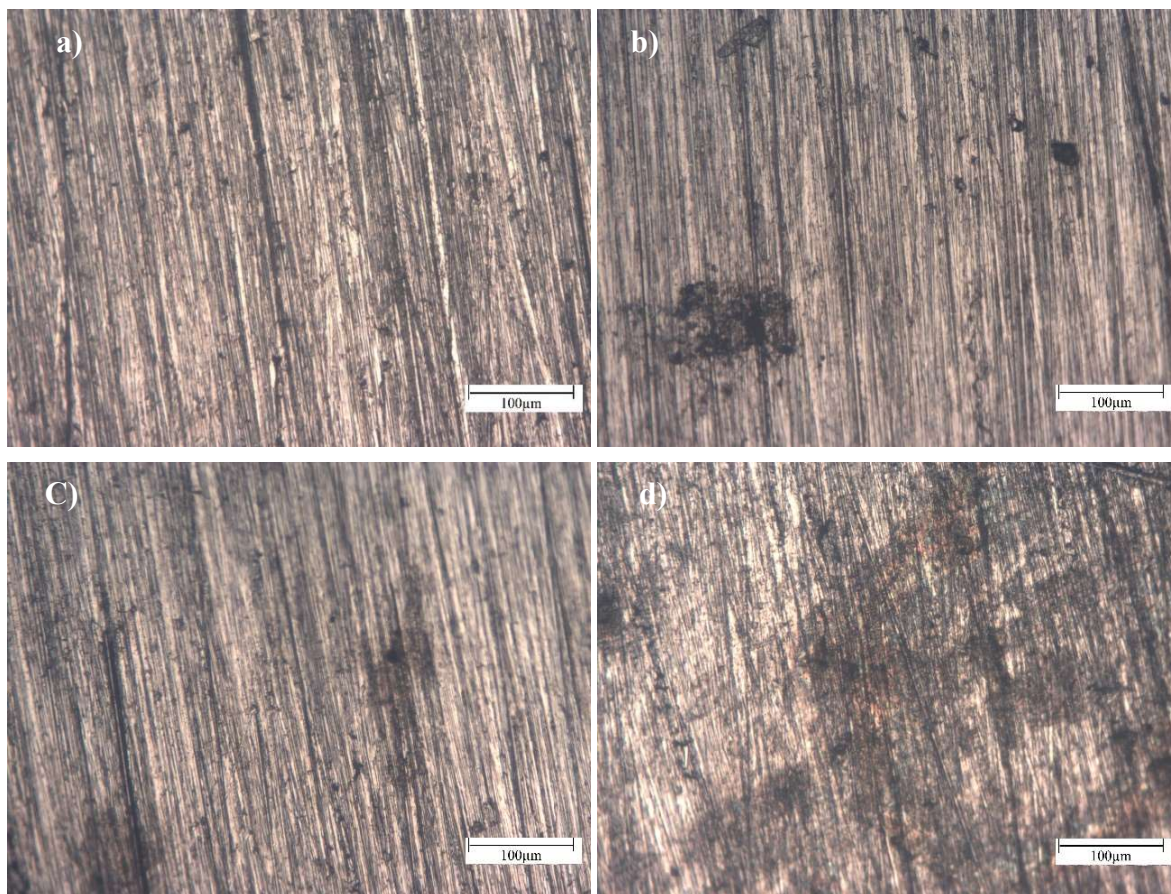


Figura 28: Imagens microscópicas da superfície do aço com a lama de perfuração na condição: a) Sem NaCl e sem HCl; b) 3% de NaCl sem HCl; c) Sem NaCl com HCl; d) 3% de NaCl com HCl (Fonte: O autor, 2023)

Na Figura 28: a) condição em que não se tem NaCl nem HCl, apresenta uma corrosividade sutil, em comparação a condição em que se tem a influência do sal (Figura 28: b), a corrosão do metal é bastante evidente, observaram-se pontos pretos condizentes com a corrosão do tipo pite comumente encontrado em meio salino.

A Figura 28: c) mostra a micrografia óptica da superfície do aço após exposição ao fluido sem NaCl com HCl, é possível observar nas imagens acima que para esta condição ocorreu a corrosão do metal, possivelmente também do tipo pite. Para a condição de fluido contendo 3% de NaCl com HCl (Figura 28:d) observa-se visualmente a agressividade do meio, ocorrendo corrosão do tipo pite em conjunto a corrosão uniforme, observa-se ainda tons alaranjados condizentes com a produção de óxido de ferro na superfície do metal, para condições mais ácidas em meio salino é esperado uma corrosão mais agressiva o que foi observado.

Pela técnica de curvas de polarização não ficou evidenciado em valores que ocorreu a degradação do aço em diferentes condições de lama de perfuração, visto que os valores das correntes de corrosão ficaram bastante próximos. Mas pelas imagens microscópicas da



superfície do aço, ficou evidente visualmente que a degradação do aço está acontecendo e conforme a agressividade da lama de perfuração o aço sofre diferentes graus de corrosão e até mesmo diferentes tipos de corrosão. As demais imagens microscópicas encontram-se no Anexo C.

#### 4.5 RESULTADOS DA TÉCNICA DE RÚIDO ELETROQUÍMICO

Neste item serão discutidos os resultados obtidos para os ensaios eletroquímicos da técnica de Ruído Eletroquímico. A aplicação desta técnica tem por objetivo identificar os prováveis tipos de corrosão que ocorrem no aço AISI 1020 em contato com a lama de perfuração em diferentes composições, além de quantificar a tendência do aço à corrosão por meio do parâmetro resistência ao ruído ( $R_R$ ). Os ensaios foram realizados com duração de 3.600 s em  $E_{ca}$ . Durante os ensaios de ruído eletroquímico foram obtidos os sinais de ruído de potencial ( $R_V$ ), e ruído de corrente ( $R_I$ ), simultaneamente para cada uma das diferentes composições das lamas de perfuração, conforme apresentados na Figura 29.

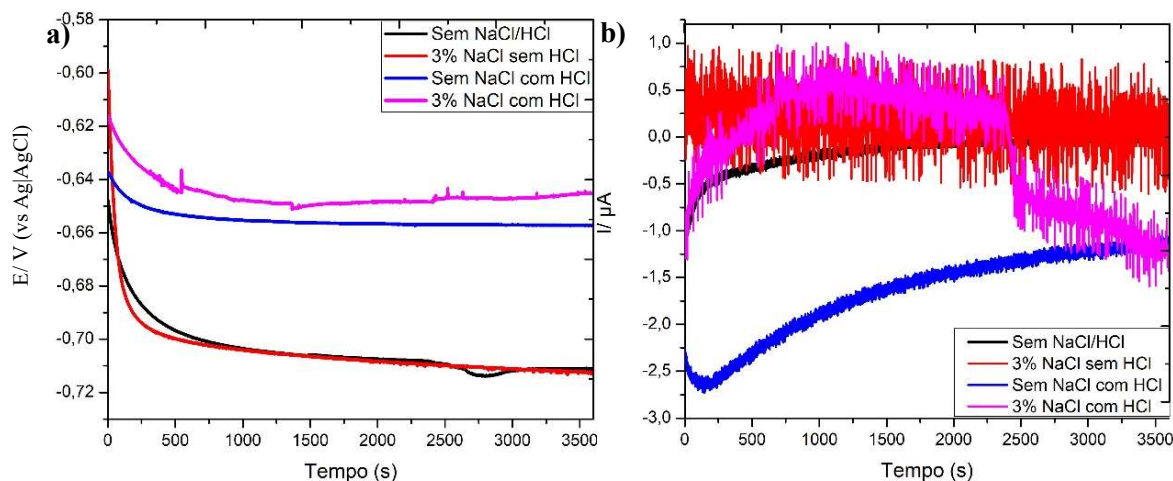


Figura 29: Registros de ruído em função do tempo obtidos nas quatro condições de estudo: a) Ruído de Potencial ( $R_V$ ); b) Ruído de Corrente ( $R_I$ ).

Como já descrito na revisão deste trabalho, esta técnica não intrusiva consiste em medir as flutuações espontâneas, como o potencial do eletrodo e a corrente que flui através dele, quando ocorre um processo eletroquímico na interface do aço/eletrólito durante o processo de corrosão.

Em um processo de corrosão onde ocorre a quebra e repassivação do filme passivo, pode muitas vezes ser identificado a partir da assinatura dos transientes de corrente ou potenciais que podem ter diferentes formas conforme o metal que sofre corrosão, no transiente de corrente relacionado a um pite para o aço carbono, é observado um aumento repentino seguido por um decaimento lento. Transientes de potenciais também podem apresentar tais características, mas também são influenciados pela carga e descarga da capacitância do filme passivo.

Da forma que estão dispostos os gráficos na Figura 29:b, é quase impossível tentar identificar se está ocorrendo ou não a corrosão do tipo pite, para isto diminui-se a escala de tempo e expandiu-se o gráfico (Figura 30), assim é possível observar as variações entre amplitudes dos sinais de  $R_I$ , mesmo que em pequenos espaços de tempo.

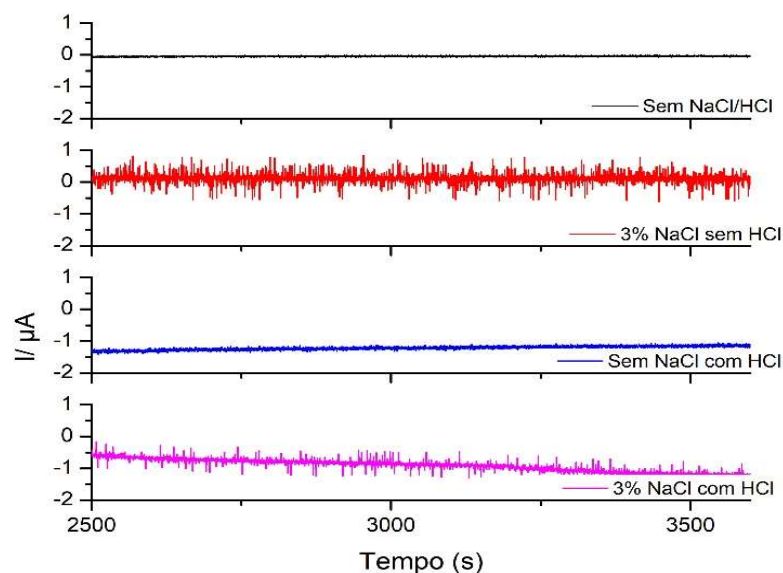


Figura 30: Transientes de corrente, obtidos dos sinais da Figura 28: b.

Conforme a literatura, tem sido atribuído que as regiões que apresentam um aumento nas amplitudes dos transientes indicam corrosão do tipo pite, e as regiões que apresentam diminuição nas amplitudes dos transientes podem ser relacionadas com corrosão generalizada, ou ainda formação de camada de óxidos (Alves, 2017 e Fraga, 2019).

Observa-se que as lamas de perfuração que contém 3% de NaCl são as que apresentam regiões com maior aumento de amplitudes nos transientes, conforme a literatura, meios salinos apresentam maior potencial de corrosão do tipo pite. Já a lama de perfuração sem NaCl e sem HCl, não apresenta aumento de amplitude, seus transientes seguem um padrão

uniforme condizentes com o meio que não apresenta agressividade. Para a lama sem NaCl com HCl, observa-se um pequeno aumento na amplitude em decorrência ao pH mais ácido do meio.

A partir dos dados coletados em função do tempo foi possível obter estatisticamente a resistência ao ruído ( $R_R$ ), que é a razão entre o desvio padrão do ruído de potencial ( $\sigma_V$ ) e o desvio padrão do ruído da corrente ( $\sigma_I$ ). Estes dados estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7: Dados estatísticos do ruído de potencial e corrente para cada composição de lama (O autor, 2023)

	<b>Sem NaCl/HCl</b>	<b>3% NaCl sem HCl</b>	<b>Sem NaCl com HCl</b>	<b>3% NaCl com HCl</b>
$\sigma_I$ (A)	1,73E-07	1,18E-07	4,54E-07	6,12E-07
$\sigma_V$ (V)	0,01016	0,01146	0,00327	0,00564
$R_R$ ( $\Omega$ )	5,87x10 <sup>4</sup>	9,72E x10 <sup>4</sup>	7,20 x10 <sup>3</sup>	9,21 x10 <sup>3</sup>

O valor de  $R_R$  está associado à taxa de corrosão, sendo que quanto maior a resistência ao ruído menos o metal está sendo corroído. Observa-se que para as lamas de perfuração sem o HCl o  $R_R$  ficou com valores na ordem de 10<sup>4</sup> ohm, evidenciando que o metal está sendo corroído em uma proporção menor em comparação com as lamas de perfuração que contém HCl, as quais apresentaram valores na ordem de 10<sup>3</sup> ohm. Diferente da técnica de curva de polarização aqui empregada, a técnica de ruído mostrou, mesmo que de modo estatístico, que existem diferentes valores de resistência ao ruído para as diferentes composições de lama de perfuração.

Para uma análise mais profunda destes sinais, implementou-se a ferramenta matemática chamada de transformada de ondaletas, a qual é indicada para sinais não estacionários e permite fazer uma análise no domínio espaço/frequência. A forma mais comum de representar e interpretar os resultados obtidos da transformada de ondaletas neste tipo de aplicação, é através da estimativa da contribuição energética de cada nível de decomposição em relação ao sinal original (Aballe *et al.*, 1999).

Para a avaliação das curvas de ruído de corrente é necessário a retirada da tendência DC da curva, que ocorre devido às variações de potencial entre os dois eletrodos idênticos ( $E_{t1}$  e  $E_{t2}$ ). Para esse processo é utilizado a decomposição do sinal original (figura 29:b), e se tratando de um sistema complexo, decidiu-se dividir os dados obtidos em um intervalo de tempo menor, desprezando-se os primeiros 1.000 s. A Figura 31 apresenta um comparativo dos ruídos de corrente com a tendência DC e sem a tendência DC respectivamente.

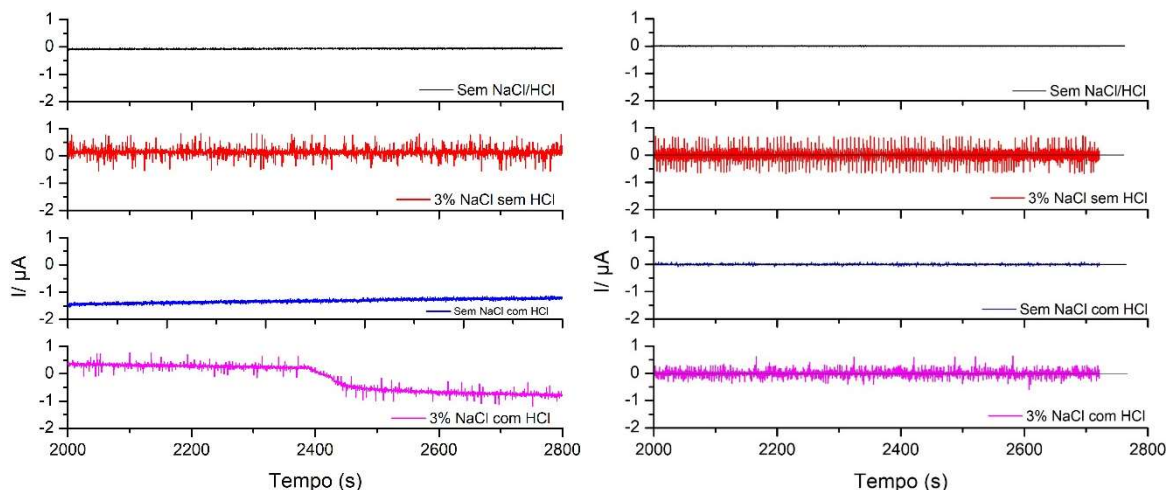


Figura 31: Gráfico comparativo dos ruídos de corrente: a) com a tendência DC; b) sem a tendência DC.

Portanto para qualificar o tipo de corrosão que está acontecendo em cada sistema, é feito uma análise das parcelas de energia relativa acumulada em cada nível de decomposição (também denominados cristais), as quais podem ser dispostas em um gráfico em função do nome do cristal (d1 a d8). Esses gráficos são referidos como diagramas de distribuição de energia do sinal, conforme apresentado na Figura 32. Nestes diagramas as energias dos níveis d1 a d4 estão associados aos processos de corrosão generalizada, enquanto as energias dos níveis d5 a d8 aos eventos de corrosão localizada.

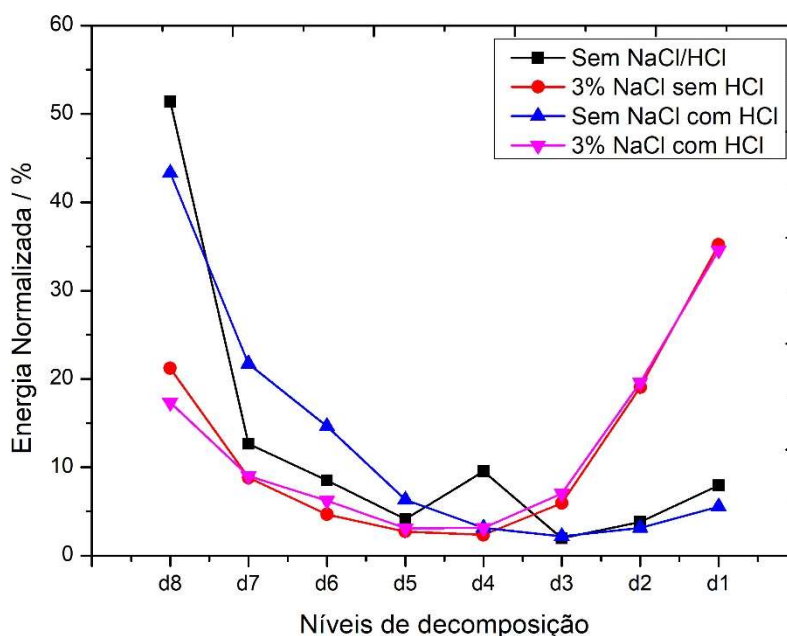


Figura 32: Diagramas de distribuição de energia obtidos dos quatro sistemas aço/fluido.

Analisando-se os diagramas observa-se que existe uma tendência para corrosão localizada em todos os sistemas, o que pode ser evidenciado nos sinais de pites mostrados nas

imagens de micrografia da Figura 28. Nas curvas em vermelho e rosa, os fluidos de perfuração contêm 3% de NaCl, a presença do íon  $\text{Cl}^-$  pode acelerar o processo de corrosão metálica favorecendo a formação de pites generalizados. Esse tipo de informação também pode ser corroborado pelas imagens microscópicas anteriormente apresentadas. Já na curva em azul, observa-se uma maior tendência à corrosão localizada. Como já discutido, regiões que apresentam aumento de amplitudes nos transientes refletem uma tendência à corrosão localizada devido à presença de íons  $\text{Cl}^-$  presentes no ácido clorídrico usado na formulação da lama. Outra justificativa seria que essa energia pode estar associada à formação e ao desprendimento de bolhas de hidrogênio da superfície do eletrodo conforme Gabrielli et al. (2002) descreve, pois em meios ácidos esse fenômeno reflete no perfil do sinal de ruído eletroquímico, de forma que os transientes apresentem um perfil semelhante ao da corrosão localizada, sendo este com intensidade de corrente e tempo de duração maiores que aqueles relacionados aos processos de corrosão uniforme.

Para maiores detalhes a Figura 33, mostra o diagrama da energia total relativa de cada nível versus os níveis de decomposição em relação à média dos experimentos.

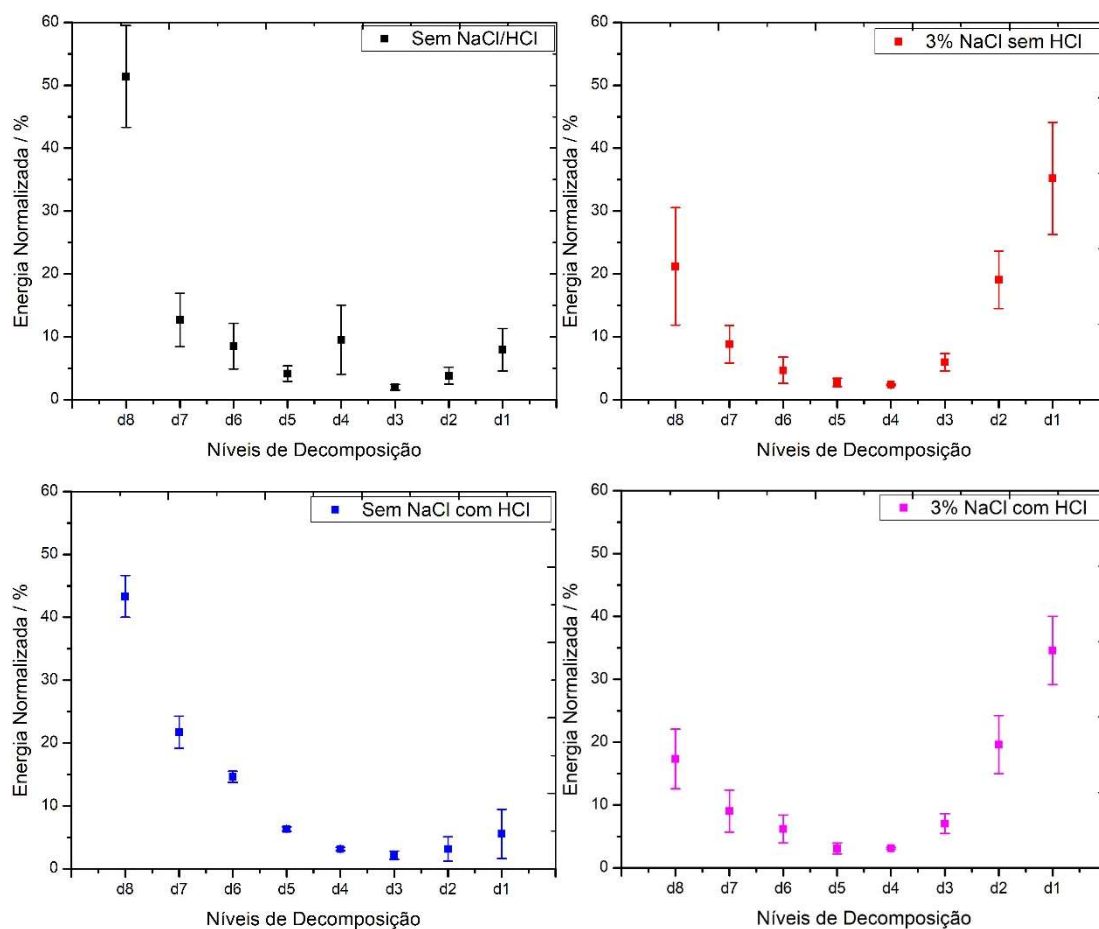


Figura 33: Diagrama de energia total relativa para oscilações de ECN para aço 1020 nas quatro condições de estudo; a) Sem NaCl e sem HCl; b) 3% de NaCl sem HCl; c) Sem NaCl com HCl; d) 3% de NaCl com HCl

Observamos que para os sistemas que contém sal, os resultados são um pouco mais dispersos, uma justificativa para tal acontecimento é que sal possa estar interagindo com os demais aditivos do fluido, levando a ocorrência de vários outros processos ao mesmo tempo. Nestes sinais, onde flutuações rápidas são predominantes, a energia armazenada é equilibrada mostrando que estão ocorrendo tanta a corrosão localizada como a generalizada.

No caso de um sinal com flutuações rápidas (Diagrama em azul), há um máximo no cristal  $d_8$ , mostrando que a energia armazenada é predominantemente devido a corrosão localizada.

#### 4.5.1 Resultado do Planejamento Fatorial $2^2$

Nesta seção vamos examinar os efeitos do pH e a concentração de NaCl na lama de perfuração e sua influência na corrosão do aço 1020. De modo geral, para interpretar o efeito que as duas variáveis corrosivas utilizadas no planejamento fatorial têm nesses processos, são apresentados na Figura 34, o gráfico normal dos efeitos referente aos processos de corrosão localizada e generalizada, onde os valores nos vértices representam a somatória da energia para os eventos de corrosão generalizada ( $d_1 + d_2 + d_3 + d_4$ ) e localizada ( $d_5 + d_6 + d_7 + d_8$ ).

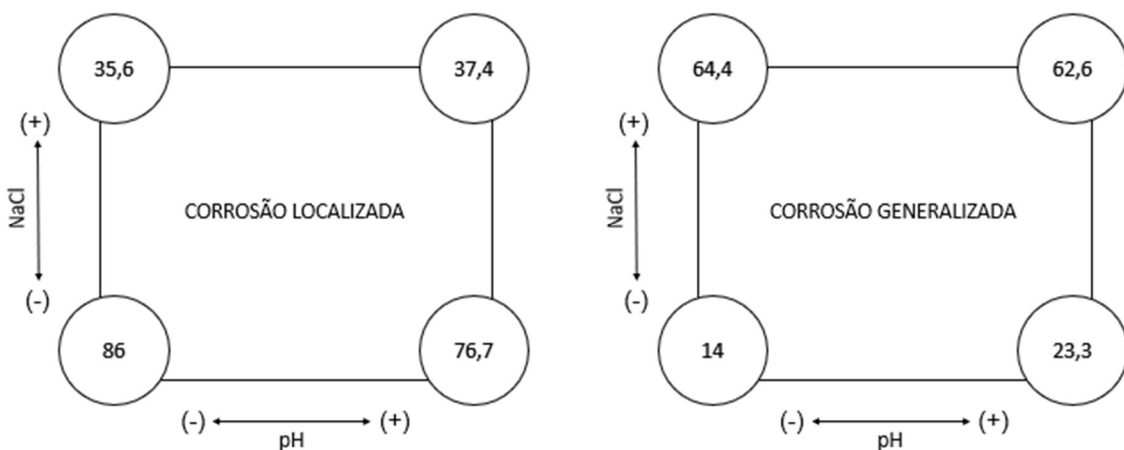


Figura 34: Diagrama para interpretação dos resultados do planejamento fatorial 22. Os valores nos vértices do quadrado são referentes às energias dos processos de corrosão.

Estes diagramas são outra forma de apresentar os resultados aqui já discutidos, além de quantificar em valores cada tipo de corrosão.

Observa-se que os processos de corrosão localizada são favorecidos quando o pH é mais ácido como esperado. Já a corrosão generalizada tende a ocorrer quando a concentração de sal é maior com pH ácido. Os resultados obtidos com as medidas de ruído eletroquímico estão condizentes com as imagens apresentadas na Figura 28. Mostrando que a técnica é capaz de quantificar e qualificar exatamente aquilo que as imagens da superfície dos eletrodos estão evidenciando.

## 5 CONCLUSÕES

Pose-se observar que para fluidos de perfuração onde o meio é muito resistivo o emprego da técnica de curvas de polarização não é o mais indicado, dado a baixa confiabilidade desta técnica para este tipo de meio. Através das imagens microscópicas obtidas após os experimentos das curvas de polarização, foi possível observar uma mudança no tipo de corrosão do aço AISI 1020, em diferentes composições de lama de perfuração, ficando visualmente evidente a evolução da corrosão do aço imerso em lamas de perfuração menos agressivas para lamas de composição mais agressivas contendo HCl.

A técnica de ruído eletroquímico com análise por transformada de ondaletas mostrou ser muito promissora na avaliação da corrosão do aço em questão, pois mostrou uma melhor interpretação em comparação com a técnica de curvas de polarização, mostrando que a técnica de ruído eletroquímico é a melhor escolha para estudo de corrosão onde o eletrólito tem uma alta resistividade elétrica como os fluidos de perfuração aqui estudados. Mesmo em um sistema onde os meios corrosivos são distintos a técnica foi capaz de identificar as oscilações de corrente decorrente dos processos corrosivos. O uso das Transformadas de Ondaletas foram essenciais para caracterização do tipo de corrosão presente nas lamas de perfuração.

A corrosão dos componentes da coluna de perfuração nada mais é que o processo de deterioração desses metais, que resulta da interação da lama de perfuração que contém sal e/ou ácido. Tais lamas geraram sinais de corrente com maior intensidade de ruído, indicando maior atividade corrosiva do aço. Alguns danos decorrentes desse desgaste dizem respeito a falhas de peças, que perdem suas propriedades mecânicas e ficam mais frágeis, o que pode causar vazamentos e interrupções no processo de perfuração, elevando ainda mais os custos da exploração. O emprego da técnica de ruído eletroquímico possibilita detectar os diferentes processos de corrosão codificados em um sinal complexo.

A metodologia aqui utilizada mostrou-se eficaz na identificação e quantificação dos diferentes tipos de corrosão gerados pela lama de perfuração simulada, os valores de potenciais e corrente de corrosão foram calculados e discutidos, assim como os valores de resistência a corrosão, a proposta da pesquisa foi alcançada assim como os objetivos específicos.



## 6 REFERÊNCIAS

ABALLE, A. *et al.* Using wavelets transform in the analysis of electrochemical noise data. **Electrochimica Acta**, [S.L.], v. 44, n. 26, p. 4805-4816, set. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0013-4686\(99\)00222-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0013-4686(99)00222-4).

AGOSTINHO Silvia Maria L.; JAIMES, Ruth F.V.V.; BARBOSA, Luís Gustavo N. **O que se pode aprender a partir de medidas de potencial de circuito aberto? Corrosão e Proteção: Ciência e Tecnologia em Corrosão**, Fortaleza, v. 35, n. 7, p. 30-33, nov. 2010. Mensal.

ALBARNAZ, L. D. T.; **A jazida de bentonita de Bañados de Medina, Melo Uruguai. Geologia, Mineralogia e aplicações industriais.** Dissertação de Mestrado, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2009.

ALVES, Júlio César de Castro. CARVALHO, Leonardo Gomes de Sá e. **Corrosão: Estudo de caso sobre ruptura do concreto.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 10, Vol. 04, pp. 16-28. Outubro de 2019. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/corrosao>.

ALVES, Lorraine Marques. **Análise de Métodos para Identificação de Tipos de Corrosão e de Substâncias Corrosivas através de Ruído Eletroquímico.** 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Es, 2017.

AMORIM, L. V., **Melhoria, Proteção e Recuperação da Reologia de Fluidos Hidroargilosos para Uso na Perfuração de Poços de Petróleo,** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2003.

ANSON. DRILL COLLARS, 2015: Disponível em: <<https://www.hnssd.com/drill-collars.html>>; <<http://www.octgproducts.com/some-issues-about-heavy-weight-drill-pipe.html>>. Acesso em: 20 outubro 2022)

ARAIN, Aftab Hussain *et al.* Developing an efficient ester-based drilling fluid based on Calophyllum Inophyllum oil for eco-friendly drilling of unconventional shale

formation. **Journal Of Petroleum Science And Engineering**, [S.L.], v. 219, p. 111141, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2022.111141>.

ARARIBA, 2022. Disponível em: <https://sondadeperfuracao.weebly.com/sistema-de-sustentaccedilatildeo-de-cargas.html>. Acesso em: 06 setembro 2022.

ASFIA, Mohammad Peirow; REZAEI, Milad. A study on localized corrosion behavior of 304 stainless steel in the presence of Allium Sativum extract inhibitor using electrochemical noise analysis. **Materials Chemistry And Physics**, [S.L.], v. 274, p. 125158, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125158>.

AZAM, Mohd Asyadi; SUKARTI, Suzie; ZAIMI, Muhammad. Corrosion behavior of API-5L-X42 petroleum/natural gas pipeline steel in South China Sea and Strait of Melaka seawaters. **Engineering Failure Analysis**, [S.L.], v. 115, p. 104654, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104654>.

BERDIMURODOV, Elyor *et al.* Novel bromide–cucurbit[7]uril supramolecular ionic liquid as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry. **Journal Of Electroanalytical Chemistry**, [S.L.], v. 901, p. 115794, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115794>.

BERRADJA, Abdenacer. Electrochemical Techniques for Corrosion and Tribocorrosion Monitoring: Methods for the Assessment of Corrosion Rates. In book: Corrosion Inhibitors. 2019. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.86743.

BISPO, V. D. da S., **Desenvolvimento de um sensor virtual para estimativa da viscosidade aparente de fluidos de perfuração à base de água**. 58 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2014.

BORGES, C. D. Estudo das condições operacionais na produção de xantana por *X. arborícola* PV pruni para aplicação em fluido de perfuração de poços de petróleo. Tese de doutorado –

Departamento de Biotecnologia Agrícola, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, 2007.

BRIDGES, Samuel; ROBINSON, Leon. Rheology. **A Practical Handbook For Drilling Fluids Processing**, [S.L.], p. 3-26, 2020. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-821341-4.00001-4>.

BRONDEL, D, Edwards, R, Hayman, A, Hill, D, Mehta, S e Semerad, T. **Corrosion in the oil industry**. Holanda: N. p., 1994.

CAENN, R; DARLEY, H.C.H; GRAY, G.R. **Fluidos de Perfuração e completação: composição e propriedades**. Tradução da 6ª edição.1.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

CAENN, Ryen *et al.* Introduction to Drilling Fluids. **Composition And Properties Of Drilling And Completion Fluids**, [S.L.], p. 1-34, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-804751-4.00001-8>.

CAO, Yixuan *et al.* Green corrosion inhibitor of  $\beta$ -cyclodextrin modified xanthan gum for X80 steel in 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at different temperature. **Journal Of Molecular Liquids**, [S.L.], v. 341, p. 117391, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117391>.

COMAS, Chloé *et al.* Corrosion propagation monitoring using electrochemical noise measurements on carbon steel in hydrogenocarbonated solution containing chloride ions. **Corrosion Science**, [S.L.], v. 193, p. 109885, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2021.109885>.

COTEMA. **Equipamentos**. 2021: **Disponível** em: <https://www.cotema.com.br/equipamento/colares-de-seguranca-manual/>. Acesso em: 23 junho 2023.

DARLEY, H. C. GRAY. G. R. (1988). Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids, Fifth Edition, 634p, Gulf Publishing Company, Houston-USA, p. 1-37.

DI, Wenwen *et al.* Probing the state of water in oil-based drilling fluids. **Colloids And Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [S.L.], v. 651, p. 129770, out. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.129770>.

EL-HADDAD, Mahmoud N.. Chitosan as a green inhibitor for copper corrosion in acidic medium. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 55, p. 142-149, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.12.044>.

EL-HADDAD, Mahmoud N.. Hydroxyethylcellulose used as an eco-friendly inhibitor for 1018 c-steel corrosion in 3.5% NaCl solution. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 112, p. 595-602, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.06.032>.

FERREIRA, Doneivan F. HONORATO, Nicolas. **Manual do operador de produção de petróleo e gás**. Campinas, SP: Komedi, 2011. p.596-606.

FINK, J. K. Oil fields chemicals. New York: Gulf Professional Publishing, 2003.

FRAGA, Eduardo Fagiani. **Estudo da Corrosão Atmosférica do Aço AISI 1020 Usando a Técnica de Ruído Eletroquímico e Microscopia Óptica**. 2019. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Química, Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – Sp, 2019.

FREITAS, Ketson Patrick de Medeiros; SOUZA, Priscila Sayme Almeida. **A TEORIA DA PERFURAÇÃO E COMPLETAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO**. Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2021. 50 p.

GENTIL, Vincente. Corrosão. 6<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro. Ed. LTC, 2011.

HUANG, Lei *et al.* Study of antiviral drug Famciclovir as a corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid medium. **Thin Solid Films**, [S.L.], v. 782, p. 140005, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2023.140005>.

ISLAM, M.Rafiqul; HOSSAIN, M.Enamul. Advances in directional drilling. **Drilling Engineering**, [S.L.], p. 179-316, 2021. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-820193-0.00003-4>.

JADHAV, Niteen; GELLING, Victoria Johnston. Review—The Use of Localized Electrochemical Techniques for Corrosion Studies. **Journal Of The Electrochemical Society**, [S.L.], v. 166, n. 11, p. 3461-3476, 2019. The Electrochemical Society. <http://dx.doi.org/10.1149/2.0541911jes>.

KHALAF, Ali Hussein *et al.* Emerging AI technologies for corrosion monitoring in oil and gas industry: a comprehensive review. **Engineering Failure Analysis**, [S.L.], v. 155, p. 107735, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107735>

LASEBIKAN, B. A.; Akisanya, A. R.; Deans, W. F.; Macphee, D. E. **The effect of hydrogen sulphide on ammonium bisulphite when used as an oxygen scavenger in aqueous solutions.** Corrosion Science. 2011, 53, 4014.

LIU, Lanlan *et al.* Effect of moisture on corrosion behavior of Q235 steel in bentonite clay. **International Journal Of Electrochemical Science**, [S.L.], v. 18, n. 6, p. 100164, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijoes.2023.100164>.

MAESTRO, Carolina Aurélio Ribeiro *et al.* Corrosion resistance improvement of mild steel in different pH using peel garlic green inhibitor. **Materials Chemistry And Physics**, [S.L.], v. 305, p. 127971, set. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.127971>.

MARKHALI, B.P. *et al.* Electrochemical impedance spectroscopy and electrochemical noise measurements as tools to evaluate corrosion inhibition ofazole compounds on stainless steel in acidic media. **Corrosion Science**, [S.L.], v. 75, p. 269-279, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2013.06.010>.

MELO, Klismeryane Costa de. **AVALIAÇÃO E MODELAGEM REOLÓGICA DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE ÁGUA.** 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso

de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

MESSINESE, Elena; ORMELLESE, M.; BRENNNA, A.. Tafel-Piontelli model for the prediction of uniform corrosion rate of active metals in strongly acidic environments. **Electrochimica Acta**, [S.L.], v. 426, p. 140804, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2022.140804>.

MOBIN, Mohammad; RIZVI, Marziya. Inhibitory effect of xanthan gum and synergistic surfactant additives for mild steel corrosion in 1 M HCl. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 136, p. 384-393, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.09.027>

MONTEIRO, Hugo Leonardo Salomão. **Análise de desempenho de diferentes leis de controle de vibrações torcionais em colunas de perfuração de poços de petróleo**. 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MORAINE, R.A. ROGOVIN, P.; Kinetics of the xanthan fermentation. *Biotechnologic: Bioengineering*. v.15, p. 225, 1973.

PELIANO, S.V., 2015. **Mitigação de APB pelo Método da Sapata Aberta**. *Monografia de Graduação, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. Page 83. 74*

PÉRICLES, C. em C. de P. T. Corrosão em Colunas de Perfuração. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 25.34, 2015. Disponível em:<https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/2279>. Acesso em: 1 fev. 2023.

RIBEIRO, Laís Sibaldo. **USO DE ÁGUA PRODUZIDA NA FORMULAÇÃO DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/Rn, 2015.

RODRÍGUEZ, A. M. (Abril de 2012). Potenciometria. Fonte: Blog: Disponível em: <https://potenciometria.blogspot.com/2012/>. Acesso em: 12 junho 2023.

SANTOS, Jorge Edson Pinheiro dos *et al.* Estudo da Inibição de Corrosão do aço carbono em ácido clorídrico na presença de mangiferina. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 1045-1053, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160004.0096>.

SEIXAS, Jairo Ezequiel de. **ADITIVAÇÃO DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO**. 2010. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2010.

SHIROMA, P. H. **Estudo do comportamento reológico de suspensões aquosas de bentonita e CMC: influência da concentração do NaCl**. 2012, 130p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. São Paulo-SP.

SILVA, Rhaul Phillypi da. **ESTUDO DE TENSOATIVOS NA ORGANOFILIZAÇÃO DE ARGILA BENTONÍTICA PARA USO EM FLUIDO DE PERFURAÇÃO À BASE DE ÓLEO**. 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo - Ppgcep, Centro de Ciências Exatas e da Terra - Ccet, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Ufrn, Natal, 2016.

SUEHARA, Bruno Batista. **SÍNTESE DE NANOADITIVO DE ARGILA BENTONÍTICA PARA FORMULAÇÃO DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO À BASE DE ÁGUA**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade de Brasília - Unb, Gama- Df, 2013.

TAIT W. S. An introduction to electrochemical corrosion testing for practicing engineers & scientists. Wisconsin: Pair o docs publications, 1994. 138 p.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. p. 70-83.

XIA, Da-Hai *et al.* Reliability of the estimation of uniform corrosion rate of Q235B steel under simulated marine atmospheric conditions by electrochemical noise (EN) analyses. **Measurement**, [S.L.], v. 148, p. 106946, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106946>.

XIA, Da-Hai *et al.* Review—Electrochemical Noise Applied in Corrosion Science: theoretical and mathematical models towards quantitative analysis. **Journal Of The Electrochemical Society**, [S.L.], v. 167, n. 8, p. 081507, 5 jan. 2020. The Electrochemical Society. <http://dx.doi.org/10.1149/1945-7111/ab8de3>



**ANEXO A**

Tabela de análise química do aço 1020.

<b>ArcelorMittal</b> Aços Longos		<b>CERTIFICADO DE QUALIDADE</b> Numero: 0006026445/2018 Sistema de Gestão Integrado - Normas ISO9001, ISO14001, OHSAS18001 e TS 16949				 ArcelorMittal								
<b>Cliente:</b> TUBOACOS DA AMAZONIA, LTDA	<b>Pedido:</b> 2370	<b>Material:</b> 204601	<b>Aço:</b> 1020	<b>Corrida:</b> P074502	<b>Ordem de Venda:</b> 549169016	<b>Nota Fiscal:</b> 000247822								
<b>Produto:</b> TREFILADO REDONDO	<b>Especificação:</b> SAE 1020	<b>Bitola:</b> 4,76 mm	<b>Acond.:</b> 6.000 mm	<b>Nº Lotes:</b> 1	<b>Peso (Kg):</b> 1020									
<b>Análise Química</b>														
C	Mn	Si	P	S	Al	Cu	Cr	Ni	Sn	Mo	V	Pb	S	
0.1860	0.4770	0.0810	0.0148	0.0057	0.0200	0.0187	0.0223	0.0091	X	0.0022	X	X	X	
<b>Complementares:</b>														
MACROGRAFIA-C	MACROGRAFIA-R	MACROGRAFIA-S												
X	X	X												
<b>Observações:</b>														
Este documento certifica que o material aqui relacionado foi produzido, ensaiado e aprovado conforme requisitos de norma ou especificação solicitada. Certificamos que todo material relacionado acima foi produzido, testado e aprovado de acordo com a legislação vigente, não contém radiação em níveis prejudiciais ao ser humano. No caso de dúvidas, entre em contato com a nossa Assistência ao Cliente 0800 015 1221 = <a href="http://www.arcelormittal.com.br">www.arcelormittal.com.br</a>														
						Data: 24.11.2018   Renata Muzali Sarmento Engenheira Metalurgista CREA - MG 13795								
						Página: 1/2								

	<b>FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO</b>
<b>GOMA XANTANA</b>	<b>Página 1 de 8</b>

### 1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

**Nome do produto:** Goma Xantana  
**Nome da empresa:** Cloroquímica Ltda  
**Endereço:** Rua Tibagi, nº 760 – Bairro: Centro – Curitiba - PR  
**Telefone:** (041) 3322-3844  
**E-mail:** cloroquimica@cloroquimica.com.br

### 2. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

**Classificação de perigo do produto químico:**

Não classificado como perigoso no sistema de classificação utilizado.

**Sistema de classificação utilizado:**

Norma ABNT-NBR 14725-2.

Sistema Globalmente Harmonizado para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, ONU.

**Outros perigos que não resultam em uma classificação:** O produto não possui outros perigos.

**Elementos apropriados da rotulagem:**

**Pictogramas:** Não aplicável.

**Palavra de advertência:** Não aplicável.

**Frases de perigo:** Não aplicável.

**Frases de precaução:** Não aplicável.

### 3. COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE OS INGREDIENTES

**Tipo de produto:** Substância.

**Nome químico comum ou nome técnico:** Goma Xantana.

**Número do registro CAS:** 11138-66-2.

**Impurezas que contribuem para o perigo:** Não apresenta impurezas que contribuem para o perigo.

### 4. MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS

**Ingestão:** Não induza o vômito. Lave a boca da vítima com água em abundância. Nunca forneça algo por via oral a uma pessoa inconsciente. Caso sinta indisposição, consulte um médico.

Data da Elaboração: 03/02/2021

Data de Revisão: 03/02/2021

Nº da Revisão: 00

 <b>Cloroquímica®</b>	<b>FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO</b>
<b>GOMA XANTANA</b>	<b>Página 2 de 8</b>

**Contato com a pele:** Retire a roupa contaminada e lave-a antes de usá-la novamente. Enxágue a pele com água ou tome uma ducha. Em caso de irritação cutânea, consulte um médico.

**Inalação:** Remova a pessoa para local arejado e a mantenha em repouso numa posição que não dificulte a respiração. Caso sinta indisposição, consulte um médico.

**Contato com olhos:** Enxágue cuidadosamente com água durante vários minutos. No caso do uso de lentes de contato, remova-as, se for fácil e enxágue novamente. Em caso de irritação ocular persistente, consulte um médico.

**Notas para o médico:** Tratamento sintomático.

## 5. MEDIDAS DE PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO

### Meios de extinção:

**Apropriados:** Compatível com espuma resistente ao álcool, neblina d'água, pó químico e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

**Não apropriados:** Jatos d'água de forma direta.

**Perigos específicos da mistura ou substância:** A combustão do produto químico ou de sua embalagem pode formar gases irritantes e tóxicos como monóxido e dióxido de carbono. Não são esperados perigos específicos relacionados ao produto durante o incêndio.

**Medidas de proteção da equipe de combate a incêndio:** Equipamento de proteção respiratória do tipo autônomo (SCBA) com pressão positiva e vestuário protetor completo. Contêineres e tanques envolvidos no incêndio devem ser resfriados com neblina d'água.

## 6. MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO / VAZAMENTO

### Precauções pessoais:

**Para o pessoal que não faz parte dos serviços de emergência:** Isole preventivamente de fontes de ignição. Não fume. Mantenha as pessoas não autorizadas afastadas da área. Pare o vazamento, se isso puder ser feito sem risco. Não toque nos recipientes danificados ou no material sem o uso de vestimentas adequadas. Evite exposição ao produto. Utilize equipamento de proteção individual conforme descrito na seção 8.

**Para o pessoal de serviço de emergência:** Utilizar EPI completo com óculos de segurança com proteção lateral, luvas de segurança, vestimenta protetora adequada e calçados de segurança. O material utilizado deve ser impermeável. Em caso de vazamento, onde a

Data da Elaboração: 03/02/2021	Data de Revisão: 03/02/2021	Nº da Revisão: 00
--------------------------------	-----------------------------	-------------------

	<b>FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO</b>
<b>GOMA XANTANA</b>	<b>Página 3 de 8</b>

exposição é grande, recomenda-se o uso de máscara de proteção respiratória (facial inteira ou semifacial) com filtro contra partículas solidas, máscara facial inteira com linha de ar ou conjunto autônomo de ar respirável.

**Precauções ao meio ambiente:** Evite que o produto derramado atinja cursos d'água e rede de esgotos. A água de diluição proveniente do combate ao fogo pode causar poluição. Não descarte diretamente no meio ambiente ou na rede de esgoto.

**Métodos e materiais para contenção e limpeza:** Colete o produto com uma pá limpa ou outro instrumento que não disperse o produto. Coloque o material em recipientes apropriados e remova-os para local seguro. Se o produto estiver no estado líquido (aquecido) deverá ser resfriado com água para solidificá-lo. Para destinação final, proceda conforme a Seção 13 desta FISPQ.

## 7. MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

### Medidas técnicas apropriadas para o manuseio:

**Precauções para manuseio seguro:** Manuseie em uma área ventilada ou com sistema geral de ventilação/exaustão local. Evite a formação de poeira. Evite exposição ao produto. Evite contato com materiais incompatíveis. Utilize equipamento de proteção individual conforme descrito na Seção 8.

**Medidas de higiene:** Lave as mãos e o rosto cuidadosamente após o manuseio e antes de comer, beber, fumar ou ir ao banheiro. Roupas contaminadas devem ser trocadas e lavadas antes de sua reutilização. Remova a roupa e o equipamento de proteção contaminado antes de entrar nas áreas de alimentação.

### Condições de armazenamento seguro, incluindo qualquer incompatibilidade:

**Condições adequadas:** Armazene em local seco, fresco e bem ventilado, ao abrigo da luz solar. Mantenha o recipiente fechado, armazenado em temperatura ambiente. Manter afastado de materiais incompatíveis, conforme descritos na Seção 10.

## 8. CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

### Parâmetros de controle:

**Limites de exposição ocupacional:** Não estabelecidos.

**Indicadores biológicos:** Não estabelecidos.

**Outros limites e valores:** Não estabelecidos.

Data da Elaboração: 03/02/2021	Data de Revisão: 03/02/2021	Nº da Revisão: 00
--------------------------------	-----------------------------	-------------------

	<b>FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO</b>
<b>GOMA XANTANA</b>	<b>Página 4 de 8</b>

**Medidas de controle de engenharia:** Promova ventilação mecânica e sistema de exaustão direta para o meio exterior. Estas medidas auxiliam na redução da exposição ao produto.

**Medidas de proteção pessoal:**

**Proteção dos olhos/face:** Óculos de segurança com proteção lateral.

**Proteção da pele e corpo:** Luvas impermeáveis, vestimenta protetora adequada e calçados de segurança.

**Proteção respiratória:** Em casos de alto potencial de exposição use máscara de proteção respiratória com filtro contra partículas sólidas.

**Perigos térmicos:** Não é necessário o uso de EPIs específicos, pois o produto não apresenta perigos térmicos.

## 9. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

<b>Aspecto (estado físico, forma e cor):</b>	Sólido em pó, de coloração branca a creme.
<b>Odor e limite de odor:</b>	Não disponível.
<b>pH:</b>	6,0 - 8,0 (solução aquosa a 1%).
<b>Ponto de fusão/ponto de congelamento:</b>	Não disponível.
<b>Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição:</b>	Não disponível.
<b>Ponto de fulgor:</b>	Não disponível.
<b>Taxa de evaporação:</b>	Não disponível.
<b>Inflamabilidade (sólido; gás):</b>	Não disponível.
<b>Limite inferior/superior de inflamabilidade ou explosividade:</b>	Não disponível.
<b>Pressão de vapor:</b>	Não disponível.
<b>Densidade de vapor:</b>	Não disponível.
<b>Densidade relativa:</b>	Não disponível.
<b>Solubilidade(s):</b>	Solúvel em água.
<b>Coefficiente de partição - n-octanol/água:</b>	Não disponível.
<b>Temperatura de autoignição:</b>	Não disponível.
<b>Temperatura de decomposição:</b>	Não disponível.
<b>Viscosidade:</b>	1200 - 1700 cP (solução a 1%).

Data da Elaboração: 03/02/2021	Data de Revisão: 03/02/2021	Nº da Revisão: 00
--------------------------------	-----------------------------	-------------------

	<b>FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO</b>
<b>GOMA XANTANA</b>	<b>Página 5 de 8</b>

**Outras informações:** Não disponível.

## 10. ESTABILIDADE E REATIVIDADE

**Estabilidade:** Produto estável em condições normais de temperatura e pressão.

**Reatividade:** Nenhuma reatividade perigosa é esperada.

**Possibilidade de reações perigosas:** Nenhuma reação perigosa nas condições normais de utilização.

**Condições a serem evitadas:** Temperaturas elevadas, umidade e contato com materiais incompatíveis.

**Materiais incompatíveis:** Agentes oxidantes fortes.

**Produtos perigosos da decomposição:** A combustão do produto químico ou de sua embalagem pode formar gases irritantes e tóxicos como monóxido e dióxido de carbono.

## 11. INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

**Toxicidade aguda:** Dados não disponíveis.

**Corrosão/irritação à pele:** Dados não disponíveis.

**Lesões oculares graves/irritação ocular:** Dados não disponíveis.

**Sensibilização respiratória ou à pele:** Dados não disponíveis.

**Mutagenicidade em células germinativas:** Dados não disponíveis.

**Carcinogenicidade:** Dados não disponíveis.

**Toxicidade à reprodução:** Dados não disponíveis.

**Toxicidade para órgãos-alvo específicos – exposição única:** Dados não disponíveis.

**Toxicidade para órgãos-alvo específicos – exposição repetida:** Dados não disponíveis.

**Perigo por aspiração:** Dados não disponíveis.

Data da Elaboração: 03/02/2021	Data de Revisão: 03/02/2021	Nº da Revisão: 00
--------------------------------	-----------------------------	-------------------

	<b>FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO</b>
<b>GOMA XANTANA</b>	<b>Página 6 de 8</b>

## 12. INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

### **Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto:**

#### **Ecotoxicidade:**

Toxicidade aguda para peixes:

CL<sub>50</sub> - 96 h: 320 - 560 mg/L - *Oncorhynchus mykiss* (truta arco-íris)

**Persistência e degradabilidade:** Dados não disponíveis.

**Potencial bioacumulativo:** Dados não disponíveis.

**Mobilidade no solo:** Dados não disponíveis.

**Outros efeitos adversos:** Não são conhecidos outros efeitos ambientais para este produto.

## 13. CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

### **Métodos recomendados para destinação final:**

**Produto:** Não descartar diretamente em sistemas de esgotos e cursos d'água. Deve ser eliminado de acordo com a legislação local. O tratamento e a disposição devem ser avaliados especificamente para cada produto. Devem ser consultadas legislações federais, estaduais e municipais, dentre estas: Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).

**Restos de produtos:** Mantenha os restos do produto em suas embalagens originais e devidamente fechadas. O descarte deve ser realizado conforme o estabelecido para o produto.

**Embalagens usadas:** Não reutilize embalagens vazias. Estas podem conter restos do produto e devem ser mantidas fechadas e encaminhadas para descarte apropriado conforme estabelecido para o produto.

## 14. INFORMAÇÕES SOBRE O TRANSPORTE

### **Regulamentações nacionais e internacionais**

**Terrestre:** Resolução nº 5232 de 14 de Dezembro de 2016 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), *Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos, e dá outras providências.*

Data da Elaboração: 03/02/2021	Data de Revisão: 03/02/2021	Nº da Revisão: 00
--------------------------------	-----------------------------	-------------------

	<b>FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO</b>
<b>GOMA XANTANA</b>	<b>Página 7 de 8</b>

**Hidroviário:** DPC - Diretoria de Portos e Costas (Transporte em águas brasileiras)  
 Normas de Autoridade Marítima (NORMAM)  
 NORMAM 01/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto  
 NORMAM 02/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação Interior  
 IMO - "*International Maritime Organization*"(Organização Marítima Internacional)  
*International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code)*.

**Aéreo:** ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil - Resolução nº129 de 8 de dezembro de 2009.  
 RBAC Nº 175 - (REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL) - TRANSPORTE DE ARTIGOS PERIGOSOS EM AERONAVES CIVIS.  
 IS Nº 175-001 - INSTRUÇÃO SUPLEMENTAR – IS  
 ICAO - "*International Civil Aviation Organization*"(Organização da Aviação Civil Internacional) - Doc 9284-NA/905  
 IATA - "*International Air Transport Association*" (Associação Internacional de Transporte Aéreo)  
*Dangerous Goods Regulation (DGR)*.

**Número ONU:** Não é classificado como perigoso para o transporte nos diferentes modais.  
**Nome apropriado para embarque:** N.A.  
**Classe ou subclasse de risco principal:** N.A.  
**Classe ou subclasse de risco subsidiário:** N.A.  
**Número de risco:** N.A.  
**Grupo de embalagem:** N.A.

## 15. INFORMAÇÕES SOBRE REGULAMENTAÇÕES

**Regulamentações específicas para o produto químico:**  
 Decreto Federal nº 10.088, de 5 de novembro de 2019 – Anexo LX.  
 Norma ABNT-NBR 14725-4: 2014.  
 Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).  
 Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010.  
 Portaria nº 229, de 24 de maio de 2011 - Altera a Norma Regulamentadora nº 26.

## 16. OUTRAS INFORMAÇÕES

Nos locais onde se manipulam produtos químicos deverá ser realizado o monitoramento da exposição dos trabalhadores, conforme PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais) da NR-9. Funcionários que manipulam produtos químicos, em geral, devem ser monitorados biologicamente conforme o PCMSO (Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional) da NR-7.

Data da Elaboração: 03/02/2021	Data de Revisão: 03/02/2021	Nº da Revisão: 00
--------------------------------	-----------------------------	-------------------



 <b>Cloroquímica®</b>	<b>FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO</b>
<b>GOMA XANTANA</b>	<b>Página 8 de 8</b>

As informações e recomendações constantes desta publicação foram pesquisadas e compiladas de fontes idôneas, dos MSDS dos fornecedores e de legislações aplicáveis ao produto.

Os dados dessa ficha referem-se a um produto específico e podem não ser válidos onde esse produto estiver sendo usado em combinação com outros. A Empresa CLOROQUÍMICA LTDA, com os fatos desta ficha, não pretende estabelecer informações absolutas e definitivas sobre o produto e seus riscos, mas subsidiar com informações, diante do que se conhecem os seus funcionários e clientes para sua proteção individual, manutenção da continuidade operacional e preservação do Meio Ambiente.

### SIGLAS UTILIZADAS

ABNT-NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas - Norma Técnica Brasileira
CL <sub>50</sub>	Concentração Letal Média
DPC	Diretoria de Portos e Costas
EPI	Equipamento de Proteção Individual
IATA–DGR	International Air Transport Association – Dangerous Goods Regulation
IMDG	International Maritime Dangerous Goods Code
IMO	International Maritime Organization
IS	Instrução Suplementar
N.A.	Não aplicável
NR	Norma Regulamentadora
ONU	Organização das Nações Unidas
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
RBAC	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil

<b>Data da Elaboração: 03/02/2021</b>	<b>Data de Revisão: 03/02/2021</b>	<b>Nº da Revisão: 00</b>
---------------------------------------	------------------------------------	--------------------------



## FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

**CARBOXI METIL CELULOSE SÓDIO (CMC 30000)**

Página 1 de 9

### 1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

**Nome do produto:** Carboxi Metil Celulose Sódio (CMC 30000)

**Nome da empresa:** Cloroquímica Ltda

**Endereço:** Rua Tibagi, nº 760 – Bairro: Centro – Curitiba - PR

**Telefone:** (041) 3322-3844

**E-mail:** cloroquimica@cloroquimica.com.br

### 2. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

**Classificação de perigo do produto químico:**

Não classificado como perigoso no sistema de classificação utilizado.

**Sistema de classificação utilizado:**

Norma ABNT-NBR 14725-2.

Sistema Globalmente Harmonizado para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, ONU.

**Outros perigos que não resultam em uma classificação:** O produto não possui outros perigos.

**Elementos apropriados da rotulagem:**

**Pictogramas:** Não aplicável.

**Palavra de advertência:** Não aplicável.

**Frases de perigo:** Não aplicável.

**Frases de precaução:** Não aplicável.

### 3. COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE OS INGREDIENTES

**Tipo de produto:** Substância.

**Nome químico comum ou nome técnico:** Carboxi Metil Celulose Sódio (CMC 30000).

**Sinônimo:** CMC 30000.

**Número do registro CAS:** 9004-32-4.

**Data da Elaboração:** 27/06/2017

**Data de Revisão:** 19/10/2022

**Nº da Revisão:** 03



## FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

**CARBOXI METIL CELULOSE SÓDIO (CMC 30000)**

Página 2 de 9

### Informações sobre os ingredientes:

Substância	Nº CAS	Concentração
Carboxi Metil Celulose Sódio (CMC 30000)	9004-32-4	≥ 98 %

**Impurezas que contribuam para o perigo:** Não apresenta impurezas que contribuam para o perigo.

### 4. MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS

**Ingestão:** Não induza o vômito. Lave a boca da vítima com água em abundância. Nunca forneça algo por via oral a uma pessoa inconsciente. Caso sinta indisposição, contate um médico.

**Contato com a pele:** Retire a roupa contaminada e lave-a antes de usá-la novamente. Enxágue a pele com água e sabão ou tome uma ducha. Em caso de irritação cutânea, consulte um médico.

**Inalação:** Remova a pessoa para local arejado e a mantenha em repouso numa posição que não dificulte a respiração. Caso excesso de inalação do pó, remova a pessoa para o ar fresco, e administre oxigênio caso necessário. Caso sinta indisposição, contate um médico.

**Contato com olhos:** Enxágue cuidadosamente com água durante vários minutos. No caso do uso de lentes de contato, remova-as, se for fácil e enxágue novamente. Em caso de irritação ocular persistente, consulte um médico.

**Sintomas e efeitos mais importantes, agudos ou tardios:** Poderá causar leve irritação nos olhos e vias respiratórias.

**Notas para o médico:** Se necessário, o tratamento sintomático deve compreender, sobretudo, medidas de suporte como correção de distúrbios hidroeletrolíticos, metabólicos, além de assistência respiratória.

### 5. MEDIDAS DE PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO

#### Meios de extinção:

**Apropriados:** Compatível com neblina d'água, pó químico e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

**Não apropriados:** Jatos d'água de forma direta.

Data da Elaboração: 27/06/2017

Data de Revisão: 19/10/2022

Nº da Revisão: 03



**Cloroquímica®**

## FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

**CARBOXI METIL CELULOSE SÓDIO (CMC 30000)**

Página 3 de 9

**Perigos específicos da mistura ou substância:** A combustão do produto químico ou de sua embalagem pode formar gases irritantes e tóxicos como monóxido e dióxido de carbono e amônia. Não são esperados perigos específicos relacionados ao produto durante o incêndio.

**Medidas de proteção da equipe de combate a incêndio:** Equipamento de proteção respiratória do tipo autônomo (SCBA) com pressão positiva e vestuário protetor completo. Contêineres e tanques envolvidos no incêndio devem ser resfriados com neblina d'água.

### 6. MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO / VAZAMENTO

#### Precauções pessoais:

**Para o pessoal que não faz parte dos serviços de emergência:** Isole preventivamente de fontes de ignição. Não fume. Mantenha as pessoas não autorizadas afastadas da área. Pare o vazamento, se isso puder ser feito sem risco. Não toque nos recipientes danificados ou no material sem o uso de vestimentas adequadas. Evite exposição ao produto. Evite a formação de poeira. Utilize equipamento de proteção individual conforme descrito na seção 8.

**Para o pessoal de serviço de emergência:** Utilizar EPI completo com óculos de segurança com proteção lateral, luvas de segurança, vestimenta protetora adequada e calçados de segurança. O material utilizado deve ser impermeável. Em caso de vazamento, onde a exposição é grande, recomenda-se o uso de máscara de proteção respiratória (facial inteira ou semifacial) com filtro contra partículas sólidas, máscara facial inteira com linha de ar ou conjunto autônomo de ar respirável.

**Precauções ao meio ambiente:** Evite que o produto derramado atinja cursos d'água e rede de esgotos. Não descarte diretamente no meio ambiente ou na rede de esgoto. Informar as autoridades sanitárias, sobre a eventualidade.

**Métodos e materiais para contenção e limpeza:** Em contato com água ou solvente, o piso poderá ficar escorregadio. Colete o produto com uma pá limpa ou outro instrumento que não disperse o produto. Coloque o material em recipientes apropriados e remova-os para local seguro. Para destinação final, proceda conforme a Seção 13 desta FISPQ.

### 7. MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

#### Medidas técnicas apropriadas para o manuseio:

**Precauções para manuseio seguro:** Manuseie em uma área ventilada ou com sistema geral de ventilação/exaustão local. Evite exposição ao produto. Evite a formação de poeira. Evite contato com materiais incompatíveis. Utilize equipamento de proteção individual conforme descrito na Seção 8.

Data da Elaboração: 27/06/2017

Data de Revisão: 19/10/2022

Nº da Revisão: 03



**Cloroquímica®**

**FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE  
SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**

**CARBOXI METIL CELULOSE SÓDIO (CMC 30000)**

**Página 4 de 9**

**Medidas de higiene:** Lave as mãos e o rosto cuidadosamente após o manuseio e antes de comer, beber, fumar ou ir ao banheiro. Roupas contaminadas devem ser trocadas e lavadas antes de sua reutilização. Remova a roupa e o equipamento de proteção contaminado antes de entrar nas áreas de alimentação.

**Condições de armazenamento seguro, incluindo qualquer incompatibilidade:**

**Prevenção de incêndio e explosão:** Cuidado com eletricidade estática ao esvaziar o produto próximo de vapores inflamável. Evite a formação de poeira

**Condições adequadas:** Evite a umidade (produto higroscópico). Armazene em local seco, fresco e bem ventilado, ao abrigo da luz solar. Mantenha o recipiente fechado, armazenado em temperatura ambiente. Manter afastado de materiais incompatíveis, conforme descritos na Seção 10.

**8. CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL**

**Parâmetros de controle:**

**Limites de exposição ocupacional:** Não estabelecidos.

**Indicadores biológicos:** Não estabelecidos.

**Outros limites e valores:** Não estabelecidos.

**Medidas de controle de engenharia:** Promova ventilação mecânica e sistema de exaustão direta para o meio exterior. Estas medidas auxiliam na redução da exposição ao produto.

**Medidas de proteção pessoal:**

**Proteção dos olhos/face:** Óculos de segurança com proteção lateral.

**Proteção da pele e corpo:** Luvas de segurança, vestimenta protetora adequada e calçados de segurança. O material utilizado deve ser impermeável.

**Proteção respiratória:** Em casos de alto potencial de exposição use máscara de proteção respiratória (facial inteira ou semifacial) com filtro contra partículas sólidas.

**Perigos térmicos:** Não é necessário o uso de EPIs específicos, pois o produto não apresenta perigos térmicos.

**Data da Elaboração:** 27/06/2017

**Data de Revisão:** 19/10/2022

**Nº da Revisão:** 03



**Cloroquímica®**

**FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE  
SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**

**CARBOXI METIL CELULOSE SÓDIO (CMC 30000)**

**Página 5 de 9**

## **9. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

<b>Aspecto (estado físico, forma e cor):</b>	Sólido, pó fino, branco a levemente amarelado.
<b>Odor e limiar de odor:</b>	Inodoro.
<b>pH:</b>	6,0 - 8,5.
<b>Ponto de fusão/ponto de congelamento:</b>	Não disponível.
<b>Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição:</b>	Não disponível.
<b>Ponto de fulgor:</b>	> 370 °C.
<b>Taxa de evaporação:</b>	Não disponível.
<b>Inflamabilidade (sólido; gás):</b>	Não disponível.
<b>Limite inferior/superior de inflamabilidade ou explosividade:</b>	Não disponível.
<b>Pressão de vapor:</b>	Não disponível.
<b>Densidade de vapor:</b>	Não disponível.
<b>Densidade relativa:</b>	Não disponível.
<b>Solubilidade(s):</b>	Insolúvel em álcool, éter e outros solventes orgânicos. Solubilidade total em água.
<b>Coeficiente de partição - n-octanol/água:</b>	Não disponível.
<b>Temperatura de autoignição:</b>	Não disponível.
<b>Temperatura de decomposição:</b>	Não disponível.
<b>Viscosidade:</b>	> 30000 (solução 2%).
<b>Outras informações:</b>	Não disponível.

## **10. ESTABILIDADE E REATIVIDADE**

**Estabilidade:** Produto estável em condições normais de temperatura e pressão.

**Reatividade:** Dados não disponíveis.

**Possibilidade de reações perigosas:** Dados não disponíveis.

**Condições a serem evitadas:** Temperaturas elevadas e contato com materiais incompatíveis.

**Data da Elaboração:** 27/06/2017

**Data de Revisão:** 19/10/2022

**Nº da Revisão:** 03



## FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

**CARBOXI METIL CELULOSE SÓDIO (CMC 30000)**

Página 6 de 9

**Materiais incompatíveis:** Agentes oxidantes.

**Produtos perigosos da decomposição:** A combustão do produto químico ou de sua embalagem pode formar gases irritantes e tóxicos como monóxido e dióxido de carbono e amônia.

### 11. INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

**Toxicidade aguda:** Não tóxico. Não é esperado qualquer efeito adverso, eventualmente irritação estomacal, náusea, vômito e diarreia. Pode causar leve irritação se inalado.

**Corrosão/irritação à pele:** Não é esperada qualquer irritação. Não é absorvido pela pele.

**Lesões oculares graves/irritação ocular:** Pode causar uma pequena irritação mecânica.

**Sensibilização respiratória ou à pele:** Dados não disponíveis.

**Mutagenicidade em células germinativas:**

Teste Ames:

Resultado: não tóxico.

**Carcinogenicidade:** Dados não disponíveis.

**Toxicidade à reprodução:** Dados não disponíveis.

**Toxicidade para órgãos-alvo específicos – exposição única:** Dados não disponíveis.

**Toxicidade para órgãos-alvo específicos – exposição repetida:** Em forma de poeira, exposições extremamente longas, acima das recomendadas nas instruções, podem congestionar os pulmões, mecanismo de efeito adverso aos pulmões e difícil respiração.

**Perigo por aspiração:** Dados não disponíveis.

### 12. INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

**Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto:**

**Ecotoxicidade:** Não existem informações disponíveis.

**Persistência e degradabilidade:** Não existem informações disponíveis.

**Potencial bioacumulativo:** Não existem informações disponíveis.

**Mobilidade no solo:** Produto insolúvel em água.

Data da Elaboração: 27/06/2017

Data de Revisão: 19/10/2022

Nº da Revisão: 03



## FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

**CARBOXI METIL CELULOSE SÓDIO (CMC 30000)**

Página 7 de 9

**Outros efeitos adversos:** Poderá afetar a vida aquática, devido à elevada DBO.

### 13. CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

#### Métodos recomendados para destinação final:

**Produto:** Não descartar diretamente em sistemas de esgotos e cursos d'água. Deve ser eliminado de acordo com a legislação local. O tratamento e a disposição devem ser avaliados especificamente para cada produto. Devem ser consultadas legislações federais, estaduais e municipais, dentre estas: Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).

**Restos de produtos:** Mantenha os restos do produto em suas embalagens originais e devidamente fechadas. O descarte deve ser realizado conforme o estabelecido para o produto.

**Embalagens usadas:** Não reutilize embalagens vazias. Estas podem conter restos do produto e devem ser mantidas fechadas e encaminhadas para descarte apropriado conforme estabelecido para o produto.

### 14. INFORMAÇÕES SOBRE O TRANSPORTE

#### Regulamentações nacionais e internacionais

**Terrestre:** Resolução nº 5947 de 1º de Junho de 2021 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), *Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos, e dá outras providências.*

**Hidroviário:** DPC - Diretoria de Portos e Costas (Transporte em águas brasileiras)  
Normas de Autoridade Marítima (NORMAM)  
NORMAM 01/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto  
NORMAM 02/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação Interior  
IMO - "*International Maritime Organization*" (Organização Marítima Internacional)  
*International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code).*

**Aéreo:** ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil - Resolução nº 129 de 8 de dezembro de 2009.

RBAC Nº 175 - (REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL) - TRANSPORTE DE ARTIGOS PERIGOSOS EM AERONAVES CIVIS.

IS Nº 175-001 - INSTRUÇÃO SUPLEMENTAR – IS

ICAO - "*International Civil Aviation Organization*" (Organização da Aviação Civil Internacional)  
- Doc 9284-NA/905

Data da Elaboração: 27/06/2017

Data de Revisão: 19/10/2022

Nº da Revisão: 03





**Cloroquímica®**

**FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE  
SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**

**CARBOXI METIL CELULOSE SÓDIO (CMC 30000)**

Página 8 de 9

IATA - "International Air Transport Association" (Associação Internacional de Transporte Aéreo)

*Dangerous Goods Regulation (DGR).*

**Número ONU:** Não é classificado como perigoso para o transporte nos diferentes modais.

**Nome apropriado para embarque:** N.A.

**Classe ou subclasse de risco principal:** N.A.

**Classe ou subclasse de risco subsidiário:** N.A.

**Número de risco:** N.A.

**Grupo de embalagem:** N.A.

**15. INFORMAÇÕES SOBRE REGULAMENTAÇÕES**

**Regulamentações específicas para o produto químico:**

Decreto Federal nº 10.088, de 5 de novembro de 2019 – Anexo LX.

Norma ABNT-NBR 14725-4: 2014.

Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).

Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010.

Portaria nº 229, de 24 de maio de 2011 - Altera a Norma Regulamentadora nº 26.

**16. OUTRAS INFORMAÇÕES**

Nos locais onde se manipulam produtos químicos deverá ser realizado o monitoramento da exposição dos trabalhadores, conforme PGR (Programa de Gerenciamento de Riscos) da NR-9. Funcionários que manipulam produtos químicos, em geral, devem ser monitorados biologicamente conforme o PCMSO (Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional) da NR-7.

As informações e recomendações constantes desta publicação foram pesquisadas e compiladas de fontes idôneas, dos MSDS dos fornecedores e de legislações aplicáveis ao produto.

Os dados dessa ficha referem-se a um produto específico e podem não ser válidos onde esse produto estiver sendo usado em combinação com outros. A Empresa CLOROQUÍMICA LTDA, com os fatos desta ficha, não pretende estabelecer informações absolutas e definitivas sobre o produto e seus riscos, mas subsidiar com informações, diante do que se conhecem os seus funcionários e clientes para sua proteção individual, manutenção da continuidade operacional e preservação do Meio Ambiente.

**SIGLAS UTILIZADAS**

ABNT-NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas - Norma Técnica Brasileira
CAS	Chemical Abstracts Service

Data da Elaboração: 27/06/2017

Data de Revisão: 19/10/2022

Nº da Revisão: 03

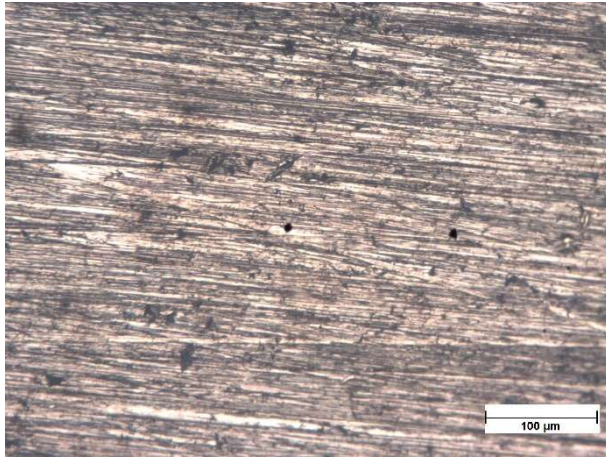
**CARBOXI METIL CELULOSE SÓDIO (CMC 30000)**

Página 9 de 9

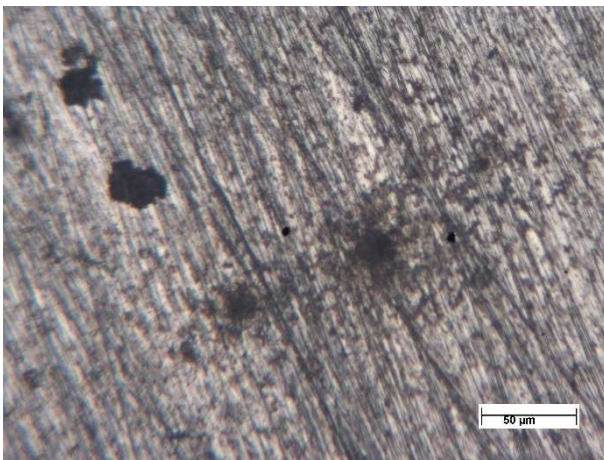
DPC	Diretoria de Portos e Costas
EmS	Emergency Response Procedures for Ships Carrying Dangerous Goods
EPI	Equipamento de Proteção Individual
IATA–DGR	International Air Transport Association – Dangerous Goods Regulation
IMDG	International Maritime Dangerous Goods Code
IMO	International Maritime Organization
IS	Instrução Suplementar
N.A.	Não aplicável
NR	Norma Regulamentadora
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PGR	Programa de Gerenciamento de Riscos
RBAC	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil

## ANEXO C

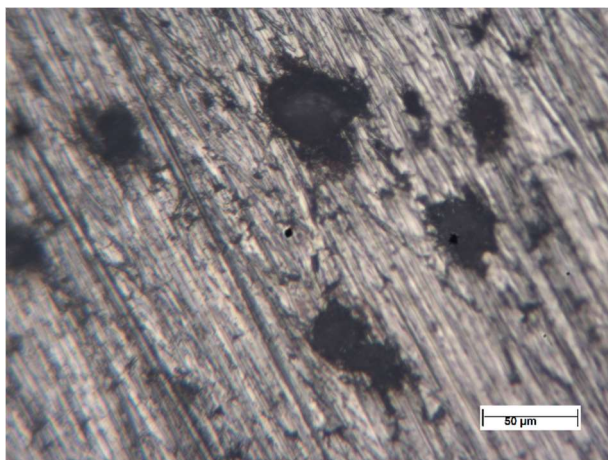
Imagens Microscópicas do aço 1020 imersos no fluido de perfuração sem NaCl/HCl.



Com 3% de NaCl sem HCl



Imagens Microscópicas do aço 1020 imersos no fluido de perfuração Sem NaCl com HCl.



Fluido contendo 3% de NaCl com HCl.

