

---

## Corrosion under insulation: a review

### Corrosão sob isolamento: uma revisão

Received: 2023-06-30 | Accepted: 2023-07-01 | Published: 2023-07-04

---

#### Iago da Silva Souza

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0587-2352>  
Instituto de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia, Brasil  
E-mail: [iagosilvasouza98@gmail.com](mailto:iagosilvasouza98@gmail.com)

#### Luiz Antonio Pimentel Cavalcanti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4932-9387>  
Instituto de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia, Brasil  
E-mail: [luiz.cavalcanti@ifba.edu.br](mailto:luiz.cavalcanti@ifba.edu.br)

#### Davi Franco Rêgo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7806-0949>  
Instituto de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia, Brasil  
E-mail: [davifr@ifba.edu.br](mailto:davifr@ifba.edu.br)

#### Ivan Costa da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-5179>  
Instituto de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia, Brasil  
E-mail: [ivan.silva@ifba.edu.br](mailto:ivan.silva@ifba.edu.br)

#### Cláudia Teresa Teles Farias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3976-613X>  
Instituto de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia, Brasil  
E-mail: [cttfarias@gmail.com](mailto:cttfarias@gmail.com)

---

#### ABSTRACT

Corrosion under insulation (CUI) occurs from electrochemical reactions on the surface of thermally insulated industrial equipment and has water as an electrolyte. CUI generates many costs for companies due to maintenance and can also cause problems to human and environmental integrity. In this work, vast bibliographic research was carried out on corrosion under insulation, in articles published between 1998 and 2022, with the objective of evaluating the CUI in Industry, factors that influence it, corrosion mechanism, non-destructive inspection techniques and techniques that can work as a mitigation for this problem. As a result, it was confirmed that corrosion under insulation is a serious problem for the industry, especially the petrochemical one, as its detection is not so simple and is expensive when done visually. To solve this difficulty in identification and detection, non-destructive tests are used, through various technologies, it is possible to prevent the insulation from being damaged and, in some cases, the inspection can be carried out without stopping the process. In addition, serious situations can be generated due to the non-monitoring of the CUI, such as: Economic, human and environmental integrity impacts.

**Keywords:** Corrosion under insulation; CUI; Mechanism Corrosion;

---

## RESUMO

A corrosão sob isolamento (CUI) ocorre a partir de reações eletroquímicas na superfície do equipamento industrial isolado termicamente e tem como eletrólito a água. A CUI gera muitos custos para as empresas por conta da manutenção e, também pode gerar danos à integridade humana e ambiental. Neste trabalho foi realizada uma vasta pesquisa bibliográfica sobre corrosão sob isolamento, em artigos publicados entre 1998 e 2022, com o objetivo de avaliar a CUI na Indústria, fatores que a influenciam, mecanismo de corrosão, técnicas de inspeção não destrutivas e técnicas que podem mitigá-la. Como resultado, foi ratificado que a corrosão sob isolamento é um grave problema para a indústria, principalmente a petroquímica, pois a sua detecção não é tão simples e é custosa quando feita de maneira visual. Para sanar essa dificuldade na identificação e detecção, ensaios não destrutivos são utilizados, por meio de diversas tecnologias, pode-se evitar que o isolamento seja danificado e, em alguns casos, a inspeção pode ser realizada sem parar o processo. Além disso, graves situações podem ser geradas por conta do não monitoramento da CUI, tais como: Impactos econômicos, à integridade humana e ambientais.

**Palavras-chave:** Corrosão sob isolamento; CUI; Mecanismo de corrosão;

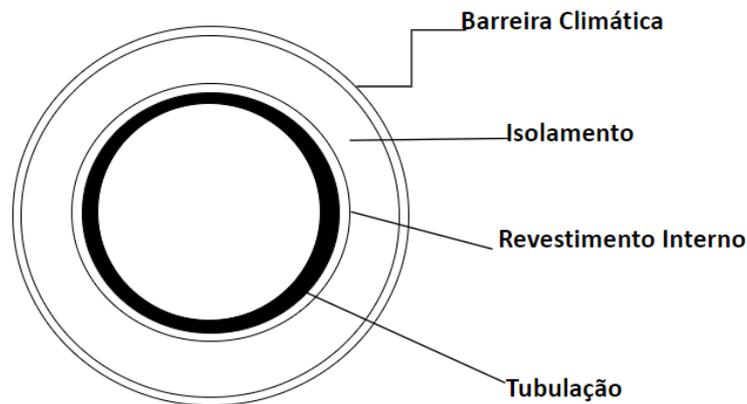
## INTRODUÇÃO

A corrosão é um processo de deterioração dos materiais, por meio de reações químicas e eletroquímicas, associadas ou não a solicitações mecânicas, causando o retorno do elemento a um estado de mais baixa energia (CALLISTER, 2019; GENTIL, 2022). A corrosão sob isolamento (*CUI- Corrosion Under Insulation*) é um exemplo dessa degradação, ocorrendo em sistemas isolados termicamente, como tubulações, torres e vasos. A água é a principal causadora da CUI, pois atua como um eletrólito, proporcionando a movimentação das cargas no meio e as reações eletroquímicas (JAVAHERDASHTI, 2014).

A corrosão sob isolamento tem sido um problema, principalmente para a indústria petroquímica, por mais de 70 anos. Entretanto, a primeira norma padrão relacionada à CUI foi escrita há 50 anos, (*ASTM C 692-1971*). Em seguida, houve a criação da *NACE RP0198-98 (National Association of Corrosion Engineers)* em 1998, que definiu metodologias e procedimentos para reduzir e combater a corrosão sob isolamento, e houve revisões em 2004, 2010 e 2017 (*NACE Standard SP0198, 1998; NACE Standard SP0198, 2004; NACE Standard SP0198, 2010; NACE Standard SP0198, 2017*). Estudos afirmam que a CUI é responsável por 40% a 60% dos custos de manutenção na Indústria (JAVAHERDASHTI, 2014; KO *et. al*, 2016; *NACE Standard SP0198, 2017*; SWIFT & CHMIELARSKI, 2019). É, portanto, de importância primordial a detecção de CUI para mitigação dos custos de manutenção e dos riscos de acidentes (WU, 2021).

A Figura 1 representa uma tubulação isolada e as barreiras que existem nesse sistema. A água, para causar CUI, precisa passar pelo revestimento externo, isolamento e revestimento interno para entrar em contato com a superfície do equipamento (WILDS, 2017).

**FIGURA 1-** Exemplo de tubulação com revestimento externo, isolamento, revestimento sob o isolamento e tubulação.



**Fonte:** O próprio do autor (2023).

A CUI ocorre quando há entrada de água entre o substrato e o isolamento, formando uma pilha eletroquímica, sendo intensificada quando há ciclos de temperatura, havendo a condensação e evaporação da água e a entrada de água no sistema equipamento-isolamento (CAINES *et al.*, 2015; ELTAI *et al.*, 2016; FRUGE, 2008; GEARY & PARROTT, 2016; HOFFMAN, 2017).

No presente trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito da CUI na indústria, os fatores que a influenciam, os mecanismos de corrosão, os ensaios não destrutivos para inspeção e as técnicas e materiais utilizados para mitigar os efeitos da corrosão sob isolamento.

### A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA CUI PARA A INDÚSTRIA

A CUI é um grande problema para a indústria petroquímica por ser um tipo de corrosão que ocorre sob o isolamento, impossibilitando a visibilidade, dificultando a detecção do defeito e sendo responsável por milhares de dólares gastos em manutenção na Indústria. As Figuras 2 e 3 retratam como a corrosão sob isolamento se torna “invisível” com a presença do isolamento, ao mostrar como o sistema estava antes de retirar o isolamento (Figura 2) e após a retirada o isolamento, que revela extensa corrosão na superfície da tubulação (Figura 3).

**Figura 2-** Tubulação isolada em uma linha de etileno com 1000 psig de pressão antes da remoção do isolamento



**Fonte:** API Recommended Practice 571 (2011).

**Figura 3-** Vista aproximada da tubulação, mostrando a corrosão sob isolamento no tubo da Figura 2 após a remoção do isolamento



**Fonte:** API Recommended Practice 571 (2011).

Eltai *et al.* (2019) relataram que os materiais de isolamento e revestimento são muito importantes na proteção dos substratos para a prevenção de *CUI*. Um documento publicado pela *NACE* em 1998 enfatizou que a solução geral para combater a *CUI* é usar revestimento protetor sob o material isolante e a importância de realizar preparação das superfícies dos materiais para reduzir a absorção de água e a permeação de espécies corrosivas em direção a superfície do metal.

Essa corrosão não afeta somente o ramo de petróleo e gás, mas também outros setores, como as estruturas aeroespaciais. A mecânica de degradação por corrosão é muito importante para que se opere de maneira segura os componentes da aeronave, visto que a menor falha pode ocasionar danos às vidas das pessoas. A corrosão sob isolamento ocorre em aeronaves, pois se utilizam revestimentos e isolamentos para evitar corrosão, surgindo outro agravante com a entrada de umidade na região entre o substrato e o isolante (HERNANDEZ & FOULIARD, 2022).

Caines *et al.* (2017) realizou um estudo que mostra a diferença da corrosão sob isolamento e sem isolamento, mostrando que, de fato, a *CUI* é mais severa. Para essa análise, foi utilizado um método de ruído potencial eletroquímico, que foi confirmado por inspeção visual e dados de perda de massa. Os autores desenvolveram um método simplificado de ruído eletroquímico para registrar mudanças na ddp de ocorrência natural entre dois eletrodos. Por meio deste método foi possível encontrar o potencial de cada eletrodo individual a partir dos registros de tempo acoplados e que foi demonstrado pela relação entre a taxa de perda de massa dos dois sistemas.

## FATORES QUE INFLUENCIAM A CUI

Os fatores importantes no desenvolvimento e no surgimento da *CUI* são: material isolante, material do substrato metálico, a atmosfera e a temperatura (ELTAI *et al.*, 2019).

A *NACE* SP0198-2010 lista alguns materiais isolantes, como o silicato de cálcio, fibras minerais artificiais, fibras cerâmicas e materiais à base de amianto e magnésio, devendo destacar que os materiais isolantes de amianto possuem cloretos, que são espécies extremamente corrosivos, principalmente em casos de aços inoxidáveis, pois atacam a sua película passivadora. Dessa forma, esse material pode atuar como fonte de contaminação da água através da lixiviação das espécies corrosivas presentes em alguns isolantes (JAVAHERDASHTI, 2014).

Já, sobre a escolha do substrato metálico, deve-se entender a aplicação de cada material em cada situação e o custo-benefício para a empresa. Exemplificando, tem-se os aços mais populares na indústria, como o aço carbono, aço inoxidável austenítico/duplex e o aço inoxidável. Estes materiais possuem diferenças microestruturais, o que fornece diferenças mecânicas e diferentes respostas eletroquímicas à corrosão (HOUBEN *et al.*, 2012). Em cada meio deve-se empregar um material específico para resistir a corrosão, em meios com a água aerada, contaminada com espécies corrosivas, o aço carbono está em grande ameaça à corrosão. Para substratos de aço austenítico/duplex, estes contaminantes, especialmente o cloreto, danificam o protetor filme de óxido de cromo, o que intensifica a corrosão, podendo provocar rachaduras por corrosão sob tensão.

A atmosfera atua como uma fornecedora de espécies corrosivas, principalmente em grandes centros urbanos e áreas marinhas, e também fornecendo água para o sistema, regiões que têm alta taxa de pluviosidade ou água provenientes da própria indústria, derivadas das torres de resfriamento, água condensada ao entrar em contato com o equipamento frio e líquidos de derramamento do processo.

As espécies potencialmente corrosivas, como cloretos e fluoretos, provêm de alguns materiais isolantes/atmosfera e contribuem para a corrosão quando são depositados e concentrados na superfície do tubo. A presença de íons lixiviados é de particular preocupação no caso de corrosão sob tensão externa (*ESCC*, do inglês *External Stress Corrosion Cracking*) em aços inoxidáveis austeníticos. Muitas especificações de isolamento determinam que a concentração de íons lixiviáveis não deve exceder 90 ppm, embora limites mais baixos possam ser solicitados para isolamento de célula porosa, onde os lixiviados geralmente podem ser transportados mais facilmente para a superfície. Percebe-se que a escolha do material para o isolamento é importante, mas deve-se considerar que o ambiente é uma fonte significativa de íons corrosivos, como no caso de regiões *offshore* ou litorâneas (KO, 2016; MARROIG *et al.*, 2012).

A temperatura operacional ou ambiente e os ciclos de temperatura podem influenciar no desenvolvimento da CUI, pois nas temperaturas em que se encontra água no estado líquido, a probabilidade de ocorrência desse processo corrosivo é aumentada. Swift e Chmilielarsk (2019) abordam que tanto para a *NACE*, *CINI* e *API* (normas que tratam sobre a corrosão sob isolamento térmico) relatam que a faixa mais perigosa para ocorrência de CUI é entre 77°C e 110°C. Segundo a *API 581*, a taxa de corrosão sob isolamento é nula para temperaturas abaixo de -12°C e acima de 175°C, tendo esse resultado questionado durante uma parada de manutenção das plantas, quando algumas taxas de corrosão por CUI perceptíveis foram encontradas em 6% da população total de tubos corroídos, que estavam em operação abaixo de -12°C ou mais de 176°C (MOHSIN *et al.*, 2019).

Existem normas técnicas que estão relacionadas à CUI e dentre elas está a *API-570* que lista regiões suscetíveis à corrosão, áreas estas mais vulneráveis a entrada de água por conter descontinuidades que facilitam a entradas de umidade no sistema isolamento-material tais: válvulas, alças de elevação, plataforma e suportes de escada e suportes de tubos. Outro problema bastante crítico são regiões com temperaturas oscilantes o que provoca a condensação e evaporação, portanto, um convite para a entrada de água nesse sistema.

## MECANISMO DA CUI

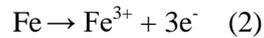
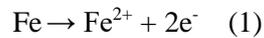
A CUI se desenvolve quando o metal é exposto à água por um período de tempo, e para cada tipo de aço, a corrosão ocorre de forma diferente, com taxa em função dos contaminantes corrosivos, temperaturas de operação, material isolante e condições do ambiente externo, como pluviosidade. Logo, não se pode pensar apenas em aços mais resistentes à corrosão em relação ao material, mas, principalmente, deve-se analisar as condições em que o material está sendo exposto, assumindo uma combinação material/meio (ZEEMANN, 2022). Por exemplo, o aço inoxidável tem alta resistência a corrosão por conta da sua película passivadora, todavia, na presença de íons cloretos, este material sofrerá corrosão.

A água presente na atmosfera, na forma de vapor, pode se condensar e potencialmente se acumular na superfície do isolante. Ao penetrar pelo isolamento, a água poderá entrar em contato com a superfície metálica e se acumular na forma líquida, o que propicia as condições eletroquímicas ideais para que ocorra a corrosão (GILMOUR, 2012; L. J. & D. L., 1992).

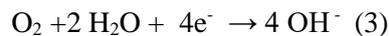
A corrosão sob isolamento acontece através de diferentes mecanismos, como a corrosão galvânica, provocada pelo contato de dois metais com diferenças de potenciais imersos em um eletrólito, que permite o fluxo de corrente entre esses metais e ocorrendo igualmente com mesmo eletrodo, sendo a forma mais comum de pilha eletroquímica formada na Indústria. A corrosão também pode ser alcalina ou ácida, pois à medida que a água se difunde para dentro ânions (alcalinos) e/ou cátions (halogênios, nitratos e sulfatos) se difundem na água e se deslocam para a superfície dos tubos. Temperaturas altas também podem provocar o aumento da taxa de

corrosão, porque provocam a evaporação da água fazendo com que íons continuem na superfície do tubo e com a entrada de mais água no sistema a solução, agora mais concentrada, se torna mais corrosiva e pode comprometer a integridade dos tubos por conta dos ataques localizados (WILDS, 2017).

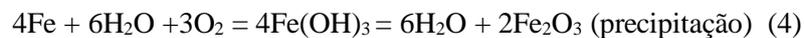
As Equações 1 e 2 representam a oxidação do ferro metálico presente no aço:



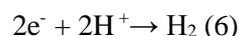
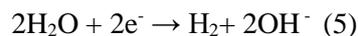
Os elétrons são transferidos para o cátodo, onde ocorre a redução. Como a maioria dos casos, se a superfície está em contato com água que contém oxigênio dissolvido (meio aerado), ocorre a reação conforme a Equação 3:



Este  $\text{OH}^-$  reage com os íons de  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ , formando os produtos de corrosão insolúveis:  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  e  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , respectivamente, Eq. 4:



Além disso, no cátodo também pode acontecer outras reações, além da que considera o meio aerado (Eq. 3), podendo acontecer as seguintes reduções no meio básico ou neutro não aerado (Eq. 5) e no meio ácido (Eq.6) [28]:



No caso do aço carbono isolado, ocorre corrosão em contato com água aerada (com oxigênio). O isolamento fornece um espaço retentor de água e espécies corrosivas, podendo também absorver e transportar umidade por ação capilar e contribuir com a lixiviação de contaminantes e aceleração da taxa de corrosão. Os contaminantes podem vir do meio que o equipamento está inserido ou do próprio isolante, destacando que os contaminantes podem aumentar a condutividade da água no meio (CORDON, 2017).

A *CUI* no aço inoxidável austenítico é manifestada por corrosão sob tensão induzida por cloreto, sendo a fonte de cloretos externa ao ambiente do processo. O *ESCC* do aço inoxidável austenítico ocorre quando o equipamento entra em contato com água aerada, cloretos ou contaminantes na faixa de temperatura de 50 a 150°C na presença de tensões de tração. A trinca acontece normalmente de forma transgranular e é desencadeada por tensão de tração suficiente no material, logo se a tensão de tração for eliminada ou significativamente reduzida, não ocorrerão trincas. O íon cloreto é prejudicial à camada protetora passiva dos aços inoxidáveis e, uma vez que a camada passiva é penetrada, as células de corrosão localizadas tornam-se ativas. Estudos mostram que os materiais isolantes com teor de cloreto de apenas 350 partes por milhão (ppm) podem contribuir para o *ESCC* (AHLUWALIA & HIRA, 2006).

## TÉCNICAS DE INSPEÇÃO (END) PARA A DETECÇÃO DE CUI

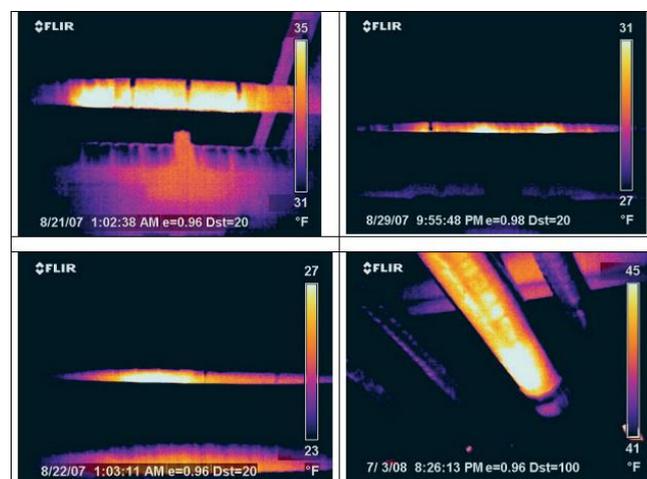
Quando se trata de corrosão sob isolamento, pode-se realizar a inspeção de forma visual e com o apoio de ensaios não destrutivos. Entretanto, a inspeção visual gera custos por ser necessária a retirada do isolamento térmico e parada do processo industrial (JAVAHERDASHTI, 2014; NGUYEN, 2021). Atualmente, há um desenvolvimento de métodos de inspeção não destrutivos para auxiliar na detecção da *CUI*, sem necessidade de remoção do isolamento. A corrosão sob isolamento é especialmente traiçoeira por ocorrer de maneira silenciosa e imperceptível às inspeções visuais. É comum que espécies que estão aparentemente em perfeitas condições de operação estejam em avançado estágio de corrosão.

## TERMOGRAFIA

O ensaio termográfico mede a variação térmica em uma amostra por meio de uma emissão de calor sobre a amostra (termografia ativa) e também utilizando o próprio calor do corpo (termografia passiva) (FIGUEIREDO, 2016; HE, 2017; NETO, 2019; RODRIGUEZ, 2010). Como vantagens, na termografia o operador consegue acompanhar a inspeção em tempo real e sem contato direto com a área inspecionada. Com uma câmera de infravermelho, há a produção de uma imagem que é emitida pelo corpo de provas a partir das diferentes condições de temperatura presentes no corpo. Quando se trata de um equipamento isolado, por meio termografia poderá ser identificadas as regiões que contém água no sistema substrato-isolamento (JAVAHERDASHTI, 2014; WU, 2021).

A Figura 5 mostra regiões imagens termográficas de um trecho em que há água sob o isolamento. Nas imagens, pode-se perceber a diferença de temperatura, sendo que a parte amarela representa a região com água e o restantes a regiões sem água, o que torna clara a aplicabilidade do ensaio para a detecção de água no sistema isolado pela variação de temperatura (BURLEIG & SANDERS, 2012).

**Figura 5.** Imagens mostrando água aprisionada no isolamento.



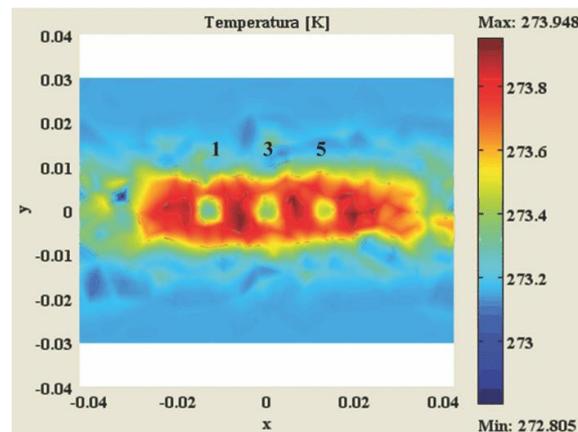
Fonte: BURLEIGH & SANDERS (2012).

## TERMOGRAFIA POR CORRENTES PARASITAS PULSADAS - PECT

A *PECT* (do inglês *Pulsed Eddy Current Thermography*) é um método novo de caracterização em que, diferente da termografia infravermelha típica (*IRT, Infrared Thermography*) que usa uma fonte externa de calor ou a própria temperatura do corpo, a fonte de calor é gerada dentro do material por meio da difusão das correntes parasitas ocasionadas pelo campo magnético, permitindo assim uma medição mais precisa da dissipação de calor do defeito. Estudos mostram que a localização das variações de temperatura devido à perda de material se mostra bem clara usando a resposta térmica após a excitação (CLARK *et al.*, 2003; GRINZATO *et al.*, 2007; HE *et al.*, 2011; MALDAGUE, 2002; VENKATARAMAN & RAJ, 2003). Outra vantagem dessa técnica é que o calor é gerado em uma camada fina abaixo da superfície, logo, as propriedades do material, como o coeficiente de absorção, não influenciarão no calor gerado (HE *et al.*, 2014).

He *et al.*, (2012) conseguiu detectar defeitos no material e perdas metálicas utilizando a *PECT*, que após aplicar o campo magnético no material e gerando calor por efeito Joule por conta da difusão das correntes parasitas, foi possível localizar defeitos no material pela diferença de temperatura (Figura 6).

**Figura 6-** Imagens térmicas dos defeitos a partir da técnica de *PECT*.



**Fonte:** HE *et al.*, (2012).

Hernandez *et al.*, (2022) identificou que a corrosão gera muitos custos às empresas aeroespaciais por conta dos atrasos nos voos e reparos, incluindo a *CUI*. Os pesquisadores utilizaram a *PECT* para detectar e caracterizar defeitos gerados pela corrosão sob o isolamento, a partir de técnicas de análises para complementar e obtendo bons resultados com o método de termografia de correntes parasitas pulsadas.

## ENSAIO ULTRASSÔNICO

O ensaio por ultrassom se baseia na emissão e captação de ondas mecânicas no corpo de prova. Nesta técnica, a onda é emitida por um transdutor e ao chegar no final da espessura, encontrado a parede oposta, retorna e é capturada por um sensor. O tempo de propagação e retorno da onda é utilizado para determinar a espessura do material analisado. Dessa forma, esta é uma técnica muito aplicada para detecção de corrosão, pois o processo corrosivo provoca redução na espessura (HONARVAR & VARVANI-FARAHANI, 2020). Entretanto a intervenção no isolamento, necessário à realização do ensaio por ultrassom, é um possível ponto de falha. A recolocação do isolamento pode eventualmente possibilitar a entrada de água sob o isolamento, o que provocará CUI (ELTAI *et al.*, 2019). Uma alternativa é utilizar a técnica de ultrassom por ondas guiadas, pois essa pode ser aplicada a CUI sem retirar o isolamento.

## ONDAS GUIADAS

Essa técnica é utilizada para verificar a integridade de tubulações que podem estar enterradas ou sob isolamento térmico. O ultrassom por ondas guiadas só precisa de um pequeno acesso à tubulação para que possa ser utilizado, já que as ondas se propagam ao longo da tubulação e são guiadas pelas suas superfícies ou pela sua forma, sendo o comprimento de onda da ordem de grandeza da espessura. Ao encontrar algum defeito, há a reflexão e detecção por parte da sonda, auxiliando na localização da descontinuidade (BERTONCINI *et al.*, 2008; BRAY *et al.*, 1998; GALVAGNI *et al.*, 2012).

## CORRENTES PARASITAS PULSADAS - PEC

A técnica de Correntes Parasitas Pulsadas (do inglês *PULSED EDDY CURRENT- PEC*) torna-se promissora para a inspeção da CUI, visto que é capaz de detectar e medir descontinuidades em equipamentos metálicos presentes sem a retirada do isolamento para aplicar a técnica, por este não interferir no campo magnético (ANGANI *et al.*, 2011; HE *et al.*, 2010; TIAN & SOPHIA ; WU *et al.*, 2021).

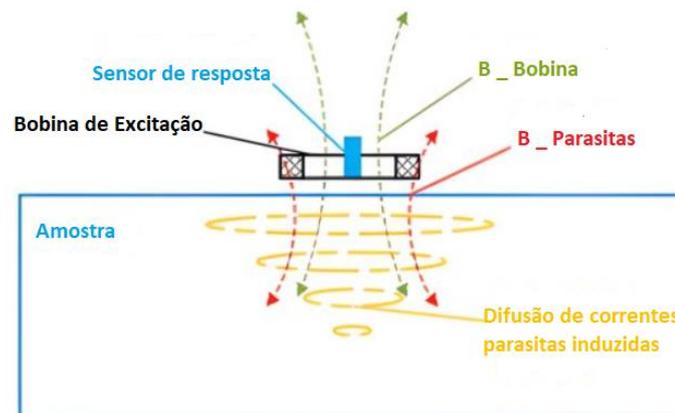
A distância entre a sonda PEC e o material a ser inspecionado (*Liftoff*) é muito importante na medição e detecção de descontinuidade, pois interfere na qualidade do sinal e se a espessura do isolamento for mais que o limite de liftoff o campo magnético não conseguirá percorrer todo o material da melhor forma, podendo impossibilitar a obtenção dos sinais (BATISTA *et al.*; HE *et al.*, 2012; KISHORE *et al.*, 2018; YUN TIAN *et al.*, 2013).

O funcionamento do ensaio por correntes parasitas pulsadas é explicado pela lei de Faraday e a lei de Lenz. A lei de Faraday diz que a variação de fluxo magnético associado a um circuito fechado leva à indução de um campo elétrico e, conseqüentemente, uma corrente proporcional à variação de fluxo que a gerou. Já a segunda resulta de uma intervenção no sentido

de reafirmar a terceira lei de Newton no escopo da eletrodinâmica - o campo secundário (de resposta) se projeta no sentido de se opor à variação do campo primário (FILHO, 2014).

Para descrever como acontece a técnica *PEC* e sua fundamentação teórica, uma bobina de excitação é acionada pelo gerador de pulsos e assim se induz corrente parasita na amostra através de acoplamento eletromagnético. Por sua vez, a circulação da corrente parasita também induz um campo magnético secundário, como descrito na Figura 8.

**Figura 8-** Ilustração do princípio de funcionamento da ECT.



Fonte: SOPHIAN *et al.* (2017).

## INSPEÇÃO UTILIZANDO MICROONDAS

O método de inspeção por microondas é utilizado para a detecção de água na camada de isolamento, não a corrosão em si, mas é uma técnica muito importante visto que a água é a grande causadora da *CUI* (JONES *et al.*, 2012). Quando o sinal se propaga através do sistema, ao encontrar água presa ou sob o isolamento, haverá uma descontinuidade de impedância que causará reflexos no sinal. Estes reflexos poderão ser detectados e, assim, a água será localizada no sistema (ZHU *et al.*, 2019).

## RETROESPALHAMENTO DE NÊUTRON

Assim como a técnica por microondas, o retroespalhamento de nêutrons detecta o conteúdo de água, mas neste caso isso ocorre pela interação de nêutrons com átomos de hidrogênio. Essa técnica usa o princípio de que a energia dos nêutrons emitidos pode ser atenuada pelos núcleos de hidrogênio presentes na água, logo quanto mais baixas energias forem detectadas indicam que a presença de baixa umidade, ou seja, a contagem de energia é proporcional a quantidade de umidade. Cabe lembrar que essa técnica não detecta corrosão diretamente, mas como a água é a causadora da *CUI*, essa técnica possui uma eficácia na identificação de áreas potenciais para que a corrosão aconteça (ELTAI *et al.*, 2019; JAVAHERDASHT, 2014; WU *et al.*, 2021).

## INSPEÇÃO POR RADIOGRAFIA

Esse ensaio se baseia na diferença de atenuação da radiação penetrante promovida por mudanças no material. Diferentes tipos de materiais fornecerão diferentes coeficientes de atenuação. Sendo aplicado para detectar corrosão pois esta será detectada por causar variações na intensidade da radiação transmitida (ZHU *et al.*, 2019). O ensaio radiográfico pode ser dividido em alguns tipos: Radiografia em tempo real (raios-X), radiografia de perfil (raios-X ou raios gama), radiografia computadorizada (raios-X) (MARGRET *et al.*, 2018). A Figura 9 exemplifica como ocorre a obtenção das imagens radiográficas e como a variação na espessura é expressa por meio de imagens.

**Figura 9.** Ensaio radiográfico para a detecção de variação de espessura na tubulação isolada. (9a) Operador captando dados sobre a tubulação; (9b) Imagens radiográficas representando a variação na espessura da parede do tubo.



Fonte: AMER *et al.* (2018).

## RADIOGRAFIA COMPUTADORIZADA

Durante a inspeção, a estrutura será exposta a raios-X como nos testes convencionais, mas, em vez de filme, as imagens são capturadas em placas de imagens que podem ser reutilizadas. Esta placa é digitalizada por um scanner a laser que produzirá imagens digitais para que o inspetor possa observar (AMER *et al.*, 2018; HERNANDEZ *et al.*, 2019; MARGRET *et al.*, 2018).

## RADIOGRAFIA EM TEMPO REAL

A radiografia em tempo real torna possível a visualização da superfície externa da tubulação que está sob o isolamento, porque a radiação não penetra na parede do tubo, mas sim apenas no isolamento. Desta forma, obtém-se imagem radiográfica do perfil da parede externa do tubo (HERNANDEZ *et al.*, 2019). Uma alteração no perfil do diâmetro externo é um indicativo de um acúmulo de corrosão. O método é limitado a pequenas estruturas e requer acesso às regiões laterais da estrutura, visto que tem um dispositivo com uma fonte de radiação e um detector de imagem (KANT *et al.*, 2019).

## MATERIAIS QUE PODEM SER UTILIZADOS PARA EVITAR A CUI

A *NACE-SP0198* (2017) enfatizou que a solução geral para combater a *CUI* é usar revestimento protetor sob o material isolante, pois este atua como uma barreira após o isolamento. Mas também se faz necessário uma preparação superficial para garantir uma melhor aderência e garantir que as reações eletroquímicas possam ocorrer na superfície do material (ELTAI *et al.*, 2019; JAVAHERDASHT, 2014).

A aspersão térmica (*Thermal Spray- TSA*) é um método muito utilizado para revestir tubulações para evitar corrosão por conta da proteção superficial que essa técnica proporciona, tendo uma boa aderência ao material o que evita o contato do meio com o substrato. Essa técnica consegue aumentar a vida útil do equipamento de 13 anos a 25 anos, o que representa uma vantagem muito interessante quando se pensa em custos para a empresa. A aplicação do *TSA* é muito cara, requerendo um alto investimento para revestir as tubulações, todavia a manutenção desse revestimento é barato, isto torna o projeto de revestimento, a longo prazo, menos custoso (JAVAHERDASHT, 2014). Fitzgerald (2005) sugere que revestimentos orgânicos até cerca de 100°C e que para temperaturas mais altas, o *TSA* é indicado. Além disso, este revestimento só é indicado para temperaturas mais elevadas, por conta do preço, já que os revestimentos orgânicos são mais baratos e pode ser muito bem aplicado até 100°C.

Haraldsen (2010) investigou o desempenho de silicones de alta espessura em comparação com um "epóxi fenólico" e o *TSA*. Neste estudo, os dois silicones de alta espessura forneceram muito pouca proteção contra corrosão sob condições úmidas e aquecimento até 120 ° C.

O silicato de zinco suporta temperaturas mais elevadas que os revestimentos orgânicos e atua protegendo contra a corrosão. Porém, em ambientes quentes e úmidos há a possibilidade de haver a dissolução do zinco acima de 60°C e, a depender do pH, a sua polaridade pode ser invertida e em vez de sacrificado no lugar do substrato, o ferro passa a proteger o zinco, ocorrendo a corrosão (JAVAHERDASHT, 2014).

Outra forma de mitigar os efeitos da *CUI* é realizar furos nas partes superior e inferior do revestimento externo, a fim de promover a evaporação da umidade presente no material isolante. Pojtanabuntoeng *et al.* (2017), realizaram essa perfuração e verificaram que a corrosão sob isolamento foi reduzida significativamente com o uso de um isolamento hidrofóbico.

O uso de avaliação de inspeção baseada em risco (*RBI*) conduzida de acordo com API RP 581 fornece uma metodologia de tomada de decisão ideal para priorizar atividades de manutenção e inspeção relacionadas ao *CUI* (API-RP-581, 2008). A intenção de usar *RBI* é gerenciar a probabilidade de falha em tubulações e vasos enquanto estabelece um programa de inspeção ideal, sendo amplamente incorporada à avaliação de corrosão sob isolamento (DNV-RP-G101 Practice, 2010; WIGGEM *et al.*, 2021). A *RBI* tem duas maneiras de ser realizada: qualitativamente e quantitativamente - a forma qualitativa analisa cada etapa da inspeção e

fornece as suas classificações descritivas, já a maneira quantitativa emprega um modelo numérico, levando em consideração a entrada e saída, para estimar o impacto global da possibilidade de corrosão (ERICKSON *et al.*, 2010; JAVAHERDASHT, 2014; RACHMAN & RATNAYAK, 2019).

De acordo com estudos recentes realizados por Wang *et al.* (2022), o uso do aerogel multidimensional C@NiCo-LDHs@Ni apresentou excelentes resultados atuando como isolamento térmico porque se mostrou resistente à compressão e à corrosão em ambientes de altas temperaturas. Esse tipo de aerogel é capaz de cobrir os defeitos de microporosidade do carbono, o que confere a capacidade de reter íons potencialmente corrosivos, como os íons  $Cl^-$  (cloreto), e também prolonga o caminho do meio corrosivo até o equipamento, retardando o processo degradativo do material.

Swift e Inncoa (2018) observaram que uma manta de aerogel com maior flexibilidade tem um melhor acoplamento à superfície do tubo, o que é capaz de reduzir a probabilidade de que a água possa se acumular na superfície do metal. O uso de coberturas de aerogel menos flexíveis provocam a criação de rugas e vincos entre a superfície do tubo e a camada de material, ocasionando corrosão localizada nos espaços formados. Além disso, os autores discutem algumas das características das estruturas de células fechadas, encaixe de compressão, cobertura adesiva completa, hidrofobicidade e redução do espaço anular, todos os quais agir para reduzir a propagação de CUI, que é especialmente importante em áreas de terminação, suportes de tubos ou onde podem ocorrer saliências. Dessa forma, é mostrado as vantagens desses sistemas e materiais utilizados.

## CONCLUSÕES

A corrosão sob isolamento é um grave problema para a Indústria, principalmente a petroquímica, pois a sua detecção não é simples e é custosa quando feita de maneira visual. Para sanar essa dificuldade na identificação e detecção, ensaios não destrutivos são utilizados, por meio de diversas tecnologias, pode-se evitar que o isolamento seja danificado e, em alguns casos, a inspeção pode ser realizada sem parar o processo.

Além disso, graves situações podem ser geradas por conta do não monitoramento da CUI, tais como: impactos econômicos, riscos à integridade humana e ambientais. Dessa forma, identifica-se a importância do conhecimento acerca dos mecanismos de reação presentes na corrosão para poder buscar maneiras mais eficientes de mitigar esses danos e ainda, destacando os fatores que aumentam a probabilidade de ocorrência da CUI, medidas que podem ser tomadas para solucionar em caso de CUI, maneiras de mitigar esse tipo de corrosão e técnicas de detecção.

O uso de revestimentos internos é indispensável quando se pensa em evitar esse tipo de processo corrosivo, porque este atua como uma barreira adicional, evitando que a água presente

no isolamento entre em contato com o substrato - considerando que a água infiltra pelo revestimento externo e se difunde pelo isolamento térmico.

## REFERÊNCIAS

AHLUWALIA, H. S. Cui: An in-Depth Analysis. **Insulation outlook**, nov., 2006. Disponível em: <<https://insulation.org/io/articles/cui-an-in-depth-analysis/>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

ANGANI C.S., PARK D.G., KIM C.G., LEELA P., KISHORE M., CHEONG Y. M.. Pulsed Eddy Current Differential Probe To Detect The Defects In A Stainless Steel Pipe. **JOURNAL OF APPLIED PHYSICS**, vol. 109, no 7, 2011.

AMER, A.; CUNNINGHAM, V.; ALSHEHRI, A.; AL-TAIE, I. Inspection challenges for detecting corrosion under insulation (CUI) in the oil and gas industry. **In Proceedings of the 17th Middle East Corrosion Conference and Exhibition (MECC)**, Al Khobar, Saudi Arabia, 30 September–3 October 2018.

API-RP-581. **Inspeção Baseada em Risco Technologies**, 2008;

BATISTA, Caio; REBELLO, Mateus; CARMO, Carla Beatriz Fagundes; SANTOS, Ygor; SILVA, Ivan; FARIAS, Cláudia. Emprego da Técnica de PEC na Detecção de Descontinuidades em Equipamentos Sob Isolamento. **INTERCORR2016\_188**.

BERTONCINI, F.; RAUGI, M.; TURCU, F.. Pipeline long-range inspection and monitoring by an innovative magnetic collar for magnetostrictive guided-wave systems. **e-Journal Nondestruct. Test**, December, p. 1–10 (GWUT–2008–4), 2008.

BRAY, A.V.; CORLEY, C.J.; FISCHER, R.B.; ROSE, J.L.; QUARRY, M.J. Development of guided wave ultrasonic techniques for detection of corrosion under insulation in metal pipe. **In Proceedings of the 1998 ASME Energy Sources Technology Conference**, Houston, TX, USA, 2–4 February 1998; pp. 1–3.

BURLEIGH, Douglas; SANDERS, H. Infrared Evaluation of Insulated Pipelines to Detect Water that Could Cause Corrosion under Insulation (CUI). **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering**, 2012, 8354. 21-. 10.1117/12.920011.

CAINES, S.; KHAN, F.; SHIROKOFF, J.; QIU, W. Experimental design to study corrosion under insulation in harsh marine environments. **J. Loss Prev. Process Ind.**, 33, 39–51, 2015.

CAINES, Susan; KHAN, Faisal; SHIROKOFF, John; QIU, Wei. Demonstration of increased corrosion activity for insulated pipe systems using a simplified electrochemical potential noise method. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, Vol. 47, pág. 189-202, 2017. Disponível em: (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423016303904>). Acesso em: 25 jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.03.012>

CALLISTER, W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais*. 5ª Ed, Rio de Janeiro: **Editora LTC - Livros Técnicos e Científicos S/A.**, 2019.

CLARK, M.R.; MCCANN, D.M.; FORDE, M. Application of infrared thermography to the non-destructive testing of concrete and masonry bridges. **NDT Int.**, v. 36, p. 265-275, 2003.

CORDON, M.; HARVEY, D.; KIESEL, M.. Corrosion Under Insulation. **Purdue Engineering**, Dec. 4, 2017.

Damage mechanisms affecting fixed equipment in the refining industry. **API Recommended Practice 571**. 2. ed. Apr. 2011.

DNV-RP-G101 Practice. Risk-based inspection of offshore topsides static mechanical equipment. Hovic, Norway: DET NORSKE VERITAS, 2010.

ELTAI, E.; ALKHALIFA, K.; AL-RAYASHI, A.; MAHDI, E.; HAMOUDA, A.M.S. Investigating the corrosion under insulation (CUI) on steel pipe exposed to Arabian gulf sea water drops. **Key Eng. Mater.** 2016, 689, 148–153.

ELTAI, Elsadig O.; MUSHARAVATI, Faray; MAHDI, El-sadig. Severity of corrosion under insulation (CUI) to structures and strategies to detect it. **Corrosion Reviews**, vol. 37, no. 6, 2019, pp. 553-564.

ERICKSON, TH; DASH, LC; MURALI, JJ; AYERS, R. Predicting The Progression Of Wetness And Corrosion Under Insulation Damage In Aboveground Pipelines. **In Proceedings of the Corrosion**, San Antonio, TX, EUA, 2010.

FIGUEIREDO, C. A. S.. **Avaliação de Ligações em Madeira em Estruturas de Coberturas Antigas por Técnica Termográfica**. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte/MG, 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/MMMD-AMPPJV>>.

FILHO, R. F. P.. **Estudo de um sistema de frenagem eletromagnética empregando correntes parasitas**. 267 pág. Tese de Doutorado. Pós graduação em Engenharia Elétrica e Computação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2014.

FITZGERALD, B.J.; Winnik, S.. A strategy for preventing corrosion under insulation on pipelines in the petrochemical industry. **Journal Protective Coatings and Linings**, 2005 .

FRUGE, D.; BISHOP, K. Corrosion under Insulation. **In Proceedings of the 20th Annual Ethylene Producers Conference**, New Orleans, LA, USA, 7–10 Apr. 2008.

GALVAGNI, A.; CAWLWY, P.; LOWE, M.. Monitoring of Corrosion in Pipelines Using Guided Waves and Permanently Installed Transducers. 2012.

GEARY, W.; PARROTT, R. Two corrosion under insulation case studies. **Loss Prev. Bull.**, 250, 2–6, 2016

GENTIL, V. Corrosão. 7º Ed. Rio de Janeiro, RJ. **LTC Editora S.A.**, 345 p., 2022.

GILMOUR, S. **CSB to Pursue Full Investigation of August 6 Fire at Chevron Refinery in Richmond**, California. 2012. Disponível em: <<https://www.csb.gov/csb-to-pursue-full-investigation-of-august-6-fire-at-chevron-refinery-in-richmond-california/>>. Acesso em: 8 dez 2021.

GRINZATO, E.; VAVILOV, V.; BISON, P.G.; MARINETTI, S. . Hidden corrosion detection in thick metallic components by transient IR thermography. **Infrared Phys. Technol.**, 49 (3 Spec. Iss.) (2007), pp. 234-238.

HARALDSEN, K. Corrosion under insulation –testing of protective coating systems at high temperature. Paper no 10022, **NACE Corrosion 2010**.

HERNANDEZ, J.; FOULIARD, Q.; VO, K.; SEETHA, R. Detection of corrosion under insulation on aerospace structures via pulsed eddy current thermography. **Aerospace Science and Technology**, Vol. 121, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1270963821008270#br0370>>. Acesso em: 15 Jun 2022.

HE, Y.; GAO, B.; SOPHIAN, A.; YANG, R. **Active Thermography and Eddy Current Excited Thermography, in Transient Electromagnetic-Thermal Nondestructive Testing**. Y. He and Butterworth-Heinemann, Eds., pp. 93–121, 2017.

HE, Y.; TIAN, Guiyun; CHENG, Liang; ZHANG, Hong; JACKSON, Paul. Parameters influence in steel corrosion evaluation using PEC thermography. **Proceedings of 2011 17th International Conference on Automation and Computing, ICAC 2011**, September (2011), pp. 255-260.

HE, Y.; TIAN, G.; PAN, M.; CHEN, D.; ZHANG, H.. An investigation into eddy current pulsed thermography for detection of corrosion blister. *Corros. Sci.*, v. 78 , pp. 1-6, 2014.

HE, Y.; PAN, M.; LUO, F.. **Defect characterisation based on heat diffusion using induction thermography testing** *Review of Scientific Instruments*.v. 83 2012.

HE, Y.; LUO, F.; PAN, M.C.; HU, X.C.; LIU, B.; GAO, J.. Defect edge identification with rectangular pulsed eddy current sensor based on transient response signals. **NDT & E International**, Vol. 43, no 5, 409–415, 2010.

HE, Y.; TIAN, G.; ZHANG, H.; ALAMIN, M.; SIMM, A.; JACKSON, P.. Steel Corrosion Characterization Using Pulsed Eddy Current Systems. **IEEE SENSORS JOURNAL**, vol. 12, no. 6, 2012.

HOFFMAN, A. Moisture as a cause of CUI. **Corros. Mater.** 2017, 42, 46–47.

HOUBEN, J.; FITZGERALD, B.; WINNIK, S.; CHUSTZ, K.; SURKEIN, M. Deployment of CUI prevention strategies and TSA implementation in projects. **Corrosion 2012**, USA.

HONARVAR, F ; VARVANI-FARAHANI, A. J. U.. A Review of ultrasonic testing applications in additive manufacturing: Defect evaluation material characterization, and process control. **Ultrasonics**, vol. 108, p. 106227, 2020.

JAVAHERDASHTI, R..Corrosion under Insulation (CUI): A review of essential knowledge and practice. **Journal Of Materials Science e Surface Engineering. Cannington**, 10 jun. 2014. p. 36-42.

JONES, R. E.; SIMONETTI, F.; LOWE, M. J. S.; BRADLEY, I. P.. Use of microwaves for the detection of water as a cause of corrosion under insulation. **Journal of Nondestructive Evaluation**, vol. 31, no. 1, pp. 65–76, 2012.

KANT, R.; CHAUHAN, P. S.; BHATT, G.; BHATTACHARYA, S. . Corrosion monitoring and control in aircraft: a review. **Sensors for Automotive and Aerospace Applications**, S. Bhattacharya, A. K. Agarwal, O. Prakash, and S. Singh, Eds., pp. 39–53, Singapore, Springer Singapore, 2019.

KISHORE, M.B; PARK, D.G ; ANGANI, C.S; LEE, D.H. Characterization Of Pulsed Eddy Current Signals To Discriminate Cladding Change Over Wall Thinning Of Ferromagnetic Pipe. **Materials Today: Proceedings**, Volume 5, Issue 12, Part 1, 2018, Pages 25843-25849, ISSN 2214-7853. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.577>.

KO, C. H. G.; VARNEY, J.; THOMPSON, N.; MOGHISSI, O. International measures of prevention, application, economics of corrosion technologies study. **NACE Impact Rep.** 2016.

KORB L. J.; OLSON, D. L. Metals Handbook Volume 13 - Corrosion. 1992.

MARROIG, M. C.; SOUZA, F. V. V.; MOTA, R. O.; QUINTELA, J. P.; MARGARIT, I. C. P.. Corrosão Associada a Isolamento Térmico de Dutos. **2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, Rio de Janeiro, Brasil.

MAINIER, F. B. **Material do curso Corrosão e Inibidores. In: Instituto Brasileiro de Petróleo.** Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

MALDAGUE ,Xavier P.V. . Introduction to NDT by active infrared thermography.

**Mater. Eval.**, 60 (9) (2002), pp. 1060-1073.

MARGRET, M.; MENAKA, M.; SUBRAMANIAN, V.; BASKARAN, R.; VENKATRAMAN, B.. Non-destructive inspection of hidden corrosion through Compton backscattering technique. **Radiation Physics and Chemistry**, vol. 152, pp. 158-164, 2018.

MOHSIN K., MOKHTAR A., TSE P. A fuzzy logic method: Predicting corrosion under insulation of piping systems with modeling of CUI 3D surfaces. **International Journal of Pressure Vessels and Piping**, 2019.

NACE Standard SP0198; Control of Corrosion under Thermal Insulation and FireProofing Materials—A Systems Approach. **NACE: Houston**, TX, USA, 2017.

NACE Standard RP0198; The Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials—A Systems Approach. **NACE: Houston**, TX, USA, 1998.

NACE Standard RP0198; The Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials—A Systems Approach. **NACE: Houston**, TX, USA, 2004

NACE Standard RP0198; The Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials—A Systems Approach. **NACE: Houston**, TX, USA, 2010.

NETO, J. M. O. **Estudo da Viabilidade da Termografia para a Detecção de Falhas por Contato em Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos.** Programa de Pós-Graduação em

engenharia mecânica. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/ PB, 2019. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3215>>..

NGUYEN, T. M.; VU, D. V. . “NDT application for detection of corrosion under insulation in Vietnam”. **Nuclear Science and Technology**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 48-54, 2021. DOI: 10.53747/jnst.v11i1.131. Disponível em: <http://jnst.vn/index.php/nst/article/view/131>. Acesso em: 5 mar. 2021.

PICON, C. A.; FERNANDES, F. A. P.; FILHO, G. T.; RODRIGUES, C. A. D.; CASTELETTI, L. C.. Study of pitting corrosion mechanism of supermartensitic stainless steels microalloyed with Nb and Ti in sea water. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, pg. 065-069, 2010.

POJTANABUNTOENG, T.; EHSANI, H.; KINSELLA, B.; BRAMELD, M.. Comparison of Insulation Materials and Their Roles on Corrosion under Insulation. In **Proceedings of the Corrosion 2017**, Nova Orleans, LA, EUA, 2017.

RACHMAN, A., RATNAYAK. RMC Machine learning approach to risk-based inspection screening assessment. *Reliable Eng. System Saf.* **2019** , vol. 185 , pag. 518-532, 2019.

REINER, L.. Development of a New Corrosion Inhibitor dor Corrosion Under Insulation at Elevated Temperatures. **NACE INTERNACIONAL**, 15835 Park Ten Place. Houston, Texas 77084, p. 1-10, 2020.

RODRÌGUEZ, Fernando de Jesús López. **DETECÇÃO DE DEFEITOS EM MATERIAIS CERÂMICOS USANDO TERMOGRAFIA**. Dissertação de mestrado- Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/94002>>.

SOPHIAN, A.; TIAN, G.; MENGBO, F. Pulsed Eddy Non-destructive Testing and Evaluation: A Review. **Chinese Mechanical Engineering Society and Springer**, Verlag Berlin, Heidelberg, 2017, Pages 500-514. DOI: 10.1007/s10033-017-0122-4.

SWIFT M., Corrosion Under Insulation – Spread Of Corrosion Assessment For Insulation Systems In A High Humidity Environment With Cycling Process Temperatures. **A test conducted by the world renowned corrosion institute InnCoa**, 2018. Disponível em: [https://local.armacell.com/fileadmin/cms/engineeredsystems/downloads/en/White\\_Papers/CUI\\_II\\_Tech\\_Paper\\_layout\\_EN\\_201807\\_a\\_web.pdf](https://local.armacell.com/fileadmin/cms/engineeredsystems/downloads/en/White_Papers/CUI_II_Tech_Paper_layout_EN_201807_a_web.pdf) >. Acesso em: 16 fev. 2022.

SWIFT, M.; CHMIELARSKI, J., Corrosion Under Insulation: A Holistic Approach To Insulation System Design To Reduce Risk Of Cui On Industrial Piping. **Armcell**, 2019. Disponível em: <<https://local.armacell.com/en/energy/problems-we-solve/corrosion-under-insulation-CUI/CUI-fundamentals/>>. Acesso em: 09 mar. 2022.

TIAN, G. Y., SOPHIA, A.. Defect classification using a new feature for pulsed eddy current sensors. **NDT&E International**, v. 38, 77–82, 2005.

- TIAN, Y. G.; HE, Y.; ADEWALE, I.; SIMM, A. Research on spectral response of pulsed eddy current and NDE applications. **Sensors and Actuators A: Physical**. Vol. 189, pag 313-320, 2013.
- VENKATARAMAN, B.; RAJ, B Performance parameterst hermal imaging systems. **Insight**, 2003.
- WANG, Y.; DI, X.; CHEN, J.; SHE, L.; PAN, H.; ZHAO, B.; CHE, R. Multi-dimensional C@NiCo-LDHs@Ni aerogel: Structural and componential engineering towards efficient microwave absorption, anti-corrosion and thermal-insulation. **Carbon**, Vol. 191, 2022. Disponível: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008622322000926>>. Acesso: 27 set 2022.
- WIGGEN, F.; JUSTNES, M.; ESPELAND, S. Risk Based Management of Corrosion Under Insulation. **In Proceedings of the SPE International Oilfield Corrosion Conference and Exhibition**, Virtual, 16–17, 2021.
- WILDS N., Corrosion under insulation. **Energy Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies, Chapter 17**. Duxford, UK: Woodhead Publishing, 2017: 409-429;
- WU R., ZHANG H., YANG R., CHEN W., CHEN G.. Nondestructive testing for corrosion evaluation of metal under coating. **Hindawai Journal of Sensorns**, Vol. 1, 2021.
- ZEEMANN, A. Corrosão em Juntas Soldadas. **Infosolda**, 2003. Acesso em: 25 jun. 2022.
- ZHANG, H.; XU, L.; WU, R.; SIMM. Sweep frequency microwave NDT for subsurface defect detection in GFRP. **Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring**, vol. 60, no. 3, pp. 123–129, 2018.
- ZHU, W.; CAI, X.; YANG, L.; XIA, J.; ZHOU, Y.; PI, Z. . The evolution of pores in thermal barrier coatings under volcanic ash corrosion using X-ray computed tomography. **Surface and Coatings Technology**, vol. 357, pp. 372–378, 2020.