



Universidade Federal de Alagoas
Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação



Emitido em 14/09/2024 às 19:04

Projeto de Pesquisa

Dados do Projeto Pesquisa	
Código:	PVCA1737-2023
Título do Projeto:	Desenvolvimento de Revestimentos Híbridos (Siloxano-PMMA) e de Extrato de Partes de Plantas Aplicados como Barreira de Proteção e Inibição de Corrosão de Estruturas Metálicas Imersas em Ambientes Corrosivos de Cloreto
Tipo do Projeto:	INTERNO (Projeto Novo)
Natureza do Projeto:	Projeto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Tipo de Pesquisa:	Pesquisa Aplicada
Situação do Projeto:	EXCLUÍDO
Unidade de Lotação do Coordenador:	CAMPUS ARAPIRACA (11.00.43.63)
Unidade de Execução:	CAMPUS ARAPIRACA (11.00.43.63)
Centro:	CAMPUS ARAPIRACA (11.00.43.63)
Palavra-Chave:	híbridos, barreiras de proteção, extratos de plantas, inibidores naturais, estruturas metálicas
E-mail:	diogenes.meneses@arapiraca.ufal.br
Editais:	Editais 06 Pibiti Ufal 2023-2024
Cota:	Cota Edital 06 Pibiti Ufal 2023-2024 (01/09/2023 a 31/08/2024)
Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	
9	Indústria, Inovação e Infraestrutura
11	Cidades e Comunidades Sustentáveis
Área de Conhecimento, Grupo e Linha de Pesquisa	
Área de Conhecimento:	Química Analítica
Grupo de Pesquisa:	Microssistemas de Análise
Linha de Pesquisa:	Sistemas Microfluidicos
Comitê de Ética	
Nº do Protocolo:	Não possui protocolo de pesquisa em Comitê de Ética.
Resumo	
RESUMO	
<p>Ambientes oxidantes podem ser extremamente agressivos a peças e estruturas metálicas de aço podendo desencadear processos de corrosão dependendo do tipo do ambiente agressivo em que estão expostas essas. A corrosão poderá se agravar se a peça estiver sem a devida proteção e exposta a meios agressivos de cloreto ou sulfetos, atmosfera salina ou umidade elevada, ambientes típicos de cidades litorâneas e de áreas industriais. Existem diferentes tecnologias de proteção e de inibição de corrosão de estruturas metálicas utilizadas industrialmente. Um dos sistemas de proteção barreira investigados são os revestimentos híbridos polisiloxano-PMMA, sintetizados pelo processo sol gel, material com características transparentes, boa resistência à abrasão, baixo coeficiente de expansão térmica. Como sistemas de controle de corrosão estão o uso de espécies químicas que atuam como inibidoras de corrosão, como por exemplo investigação de extratos naturais de partes de plantas com potencial antioxidante, que poderão ser uma das alternativas aos sistemas a base de cromatos sendo utilizados como inibidores naturais de corrosão. Os inibidores interferem no meio corrosivo (agressivo) quando adicionados a baixas concentrações diminuindo a taxa de corrosão. Nessa proposta, sistemas de proteção barreira e de inibição contra corrosão serão investigados. Como sistemas de proteção revestimentos híbridos siloxano-PMMA serão sintetizados pelo processo sol gel modificados com Ce, Mo e Zr e depositados por dip-coating sobre peças metálicas de aço carbono 1020. Como sistemas de inibição de corrosão serão utilizados extratos de partes de plantas (Ex: Jambo, Propólis, Mertiolate). Os sistemas de revestimento híbridos de proteção e os sistemas extratos naturais de inibição de corrosão dos cupons metálicos de aço serão investigados em solução agressiva de 3,5% NaCl. A estrutura dos híbridos (estado sólido) será estudada usando ressonância magnética nuclear (RMN) de ^{13}C e ^{29}Si, análise termogravimétrica (TGA), espectroscopia por infravermelho (FTIR) e microscopia óptica (MO). Ensaios de corrosão serão realizados utilizando medidas de potencial de circuito aberto (OCP), polarização linear, impedância eletroquímica (EIS). Ensaios de perda de massa serão utilizados para avaliar a eficiência de proteção do aço revestido com os híbridos, e avaliar a eficiência dos sistemas de inibição dos extratos de plantas (jambo, própolis, mertiolate) desenvolvidos.</p>	
Introdução/Justificativa	
(incluindo os benefícios esperados no processo ensino-aprendizagem e o retorno para os cursos e para os professores da UFAL em geral)	
INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA	
<p>As ligas de alumínio assim como as ligas de aço possuem uma ampla faixa de aplicação, especialmente na indústria de construção civil (MROWKA-NOVOTINIK, 2007). A maioria das ligas alumínio são resistentes à corrosão devido à formação rápida e espontânea de um filme passivo de óxido de alumínio (Al_2O_3) de espessura nanométrica, que evita o prosseguimento da oxidação impedindo que o substrato metálico se deteriore quando exposto ao ar atmosférico. As ligas de aço são bastante resistentes, porém podem ser susceptíveis a diferentes tipos de corrosão dependendo do tipo de ambientes em que estão expostos (SARMENTO et al., 2010).</p> <p>Em ambientes de umidade elevada (85%), meios salinos de cloretos ou atmosfera salina de cloretos e sulfetos, ambientes típicos de cidades litorâneas e de áreas industriais, o filme de óxido passivo pode se romper, ou mecanicamente, ou por ataque químico localizado facilitando a penetração de espécies como água, sulfetos, O_2, CO_2, e íons de cloreto que desencadeiam processo de corrosão (PANOSSIAN, 1993; SZKLARSKA-SMIALOWSKA, 1999). O filme passivo formado na superfície das ligas metálicas de alumínio possuem defeitos e microfissuras que podem facilitar ainda mais os processos de iniciação de corrosão por pite (VARGEL, 2004).</p> <p>Essas estruturas metálicas (ligas de Al e ligas de Aço) são susceptíveis a diferentes tipos de corrosão em diferentes ambientes agressivos, e principalmente em ambientes salinos de cloreto e que, portanto devem ser protegidas por um sistema de barreira de proteção com o intuito de minimizar os problemas de corrosão em equipamentos, componentes e dispositivos metálicos, peças de estruturas metálicas de ligas de Al ou de ligas de aço (VARGEL, 2004; WERNICK, PINNER, SHESABY, 1987).</p> <p>A corrosão pode ser atenuada por vários métodos desde a modificação da composição da liga por adição de elementos mais nobres, ou por métodos de</p>	

deposição de revestimentos ou por inibidores de corrosão. Dentre os métodos de deposição existentes e investigados têm-se as técnicas de deposição eletroquímica (VILLA NOVA, 2007), aspersão térmica (MAGNANI, 2008), conversão química de cromatos (KENDIG et al., 2001), conversão química na ausência de cromatos (OLEINIK e KUZNETSOV, 2007) e a deposição pela tecnologia do processo sol-gel (WANG e BIERWAGEN, 2009).

Pelo método sol-gel um dos sistemas de proteção investigados são os revestimentos híbridos orgânico-inorgânicos a base de polisiloxano-PMMA, material com características interessantes como transparência, boa resistência à abrasão, baixo coeficiente de expansão térmica, e ambientalmente correto (SARMENTO et al., 2010). Por isso, tem despertado interesse de pesquisadores como uma das alternativas de substituir as camadas de conversão de cromatos (CCC). Essas camadas (CCC) foram proibidas em processos industriais pela legislação europeia desde 2007 pelo uso de espécies químicas a base de cromo hexavalente (VI), as quais consideradas tóxicas e carcinogênicas (MEMON et al., 2009).

Alguns trabalhos têm investigado os híbridos polisiloxano-PMMA como uma barreira física de proteção contra a corrosão para evitar a difusão de espécies corrosivas de cloreto para a interface do revestimento/liga, tanto em ligas de aço como ligas de Al (SARMENTO et al., 2010; LIU, SUN, CHUNG, 2005; METROKE, APBLETTA, 2004; ONO, TSUGE, NISHI, 2004; TEIXEIRA, 2010).

Para potencializar o efeito de proteção barreira de ligas metálicas e conferir maior caráter passivante proporcionado pelos revestimentos híbridos, espécies químicas com potencial capacidade de atuarem como inibidores de corrosão têm sido inseridos na matriz de alguns sistemas híbridos. Um dos íons metálicos o molibdênio (Mo) com tal capacidade e por inibir a adsorção de cloreto será utilizado nesse projeto de pesquisa (OLEINIK, KUZNETSOV, 2007).

Além do molibdênio outros íons metálicos (Ce, Zr, Ti, Y) conhecidos na literatura científica por melhorar as propriedades anticorrosivas do revestimento com camadas de conversão química poderão ser adicionados à matriz dos sistemas híbridos, e será investigado o poder de proteção e os mecanismos de corrosão dos respectivos híbridos polisiloxano-PMMA modificados por essas espécies dopantes na matriz híbrida (OLEINIK, KUZNETSOV, 2007; DABALÁ, et al., 2001; DABALÁ, RAMOUS, MAGRINI, 2004; BETHENCOURT et al., 2004).

Existem propostas na literatura de mecanismos de atuação envolvendo revestimentos a base de cério ou molibdênio em camadas de conversão química, no entanto, e poucos trabalhos têm estudado os mecanismos de atuação dos íons Ce, Mo, Zr, Ti em revestimentos híbridos orgânico-inorgânico (SUEGAMA et al., 2010; GIRARDI et al., 2008; POSNIAK et al., 2008).

Um dos métodos de controle de inibição de corrosão para proteção de estruturas metálicas são uso de espécies químicas (orgânicas ou inorgânicas) como inibidoras de corrosão a base de compostos cromatos ou dicromatos, que são espécies químicas altamente tóxicas e carcinogênicas devido ao uso do cromo (VI) em suas composições químicas e que devem ser banidas de processos industriais como já fez o parlamento europeu que limitou e proibiu seu uso por projeto de lei desde 2007 (Directive 2000/53 EC, 2002). Os inibidores interferem no meio corrosivo (agressivo) quando adicionados a baixas concentrações que fazem diminuir a taxa de corrosão dessas estruturas metálicas. Atuam formando um filme ou uma camada adsorvida na superfície da estrutura metálica, alterando seu potencial de corrosão para valores mais nobres ou mais positivos.

Extratos naturais de partes de plantas que possuam atividades antioxidantes podem ser uma das alternativas para atuarem como inibidoras de corrosão de estruturas metálicas expostas a ambientes agressivos como o biodiesel que originalmente possui uma natureza corrosiva. São fontes de recursos naturais renováveis de produção de óleos e extratos, possuem baixa toxicidade, possuem baixo custo de produção e estão associados ao uso de uma metodologia tecnológica ambientalmente verdes que poderão ser aplicadas na proteção de estruturas metálicas para inibição de corrosão quando adicionadas ao biodiesel.

Quando produtos naturais são extraídos a partir de partes das plantas como folhas, sementes, cascas, galhos ou frutos, esses extratos possuem componentes e metabólitos secundários (alcaloides, terpenóides, antocianinas, esteroides, flavonoides) que mesmo em baixíssimas concentrações podem ter aplicações industriais diversas (fármacos, corantes, aromas, inseticidas, etc), como também potenciais inibidores naturais de corrosão.

Pesquisadores tem investigado nas últimas décadas extratos de produtos naturais de partes de plantas para atuarem e serem aplicados como antioxidantes ou inibidores naturais de corrosão em substituição aos tratamentos convencionais a base de cromo (IV), que são espécies químicas altamente poluidoras do meio ambiente, e uma ameaça a saúde pública devido suas propriedades tóxicas e carcinogênicas, e que ainda são utilizados industrialmente na proteção (inibição de corrosão) de estruturas metálicas utilizadas como peças automotivas, dutos (tubulações e oleodutos) e na indústria de construção civil.

Investigações científicas têm relatados a ação antioxidante de extratos de partes de plantas de algumas espécies vegetais como potenciais inibidores de corrosão em ambientes corrosivos. Estes potenciais inibidores podem formar um filme de adsorção na superfície metálica por espécies químicas presentes nos extratos vegetais (DEYAB, 2016; BAMMOU et al, 2014; VRACAR et al, 2012) ou inibir (atrasar) significativamente os processos de auto-oxidação do biodiesel e assim hipoteticamente alterar o potencial de corrosão do meio agressivo (biodiesel de óleo de soja) ou outro meio agressivo (NaCl-3,5%) para valores mais positivos (mais nobres) em comparação aos potenciais dos meios agressivos na ausência do inibidor natural ou do inibidor sintético.

Com isso esse projeto de investigação científica estará fundamentado em duas linhas de pesquisa de desenvolvimento, uma relacionada a proteção de aço carbono pelo desenvolvimento de revestimentos híbridos siloxano PMMA modificados por íons dopantes (Mo, Ce, Zr), a outra relacionada a sistemas de inibição de corrosão por desenvolvimento de inibidores de corrosão a base de extratos de partes de plantas com potencial antioxidante, e provavelmente como inibidor de corrosão.

O sistema de proteção com revestimento híbrido siloxano-PMMA estará fundamentado na compreensão do mecanismo de atuação dos íons dopantes (Mo, Zr, Ce) de forma que possam potencializar a proteção de superfícies de ligas de alumínio ou de ligas de aço do ataque corrosivo de ambientes salinos de cloreto, e em virtude de que não há relatos na literatura científica referentes ao desempenho de híbridos siloxano-PMMA dopados com esses íons metálicos que serão investigados na proteção contra a corrosão de ligas de alumínio (Ex. AA6063T5,) ou de ligas de aço carbono (Ex. aço carbono 1020) nos sistemas híbrido na proteção contra a corrosão dessas ligas utilizadas na indústria.

O sistema de inibição de corrosão estará fundamentado pelo desenvolvimento de extratos de partes de plantas (Ex.: Semente de Jambo ou Própolis ou Mertiolate). Serão estudadas e investigadas suas composições químicas (componentes fitoquímicos) e avaliados como potenciais inibidores de corrosão frente ao ambiente agressivo salino (cloreto) e comparados a inibidores sintéticos (Ex.: BHT) com a intenção de atenuar os processos de corrosão em solução de NaCl-3,5%.

As hipóteses desta pesquisa e a questão da pesquisa estão elencadas abaixo:

Para Sistemas de Proteção a Corrosão

H1. Os silanos (siloxanos) são compostos híbridos orgânico-inorgânicos que possuem a capacidade de facilitar a adesão de espécies químicas na sua estrutura híbrida. Tal capacidade desses materiais híbridos permite admitir que espécies químicas consideradas como inibidores catódicos (Ce, Zr, Mo,) potencializar o efeito barreira de proteção contra corrosão de estruturas metálicas devido a melhor reticulação de silício (Si) na estrutura híbrida por formação redes cruzadas de Si (-Si-O-Si-) produzidas.

H2. Os revestimentos híbridos sintetizados com a inserção de inibidores de corrosão (Mo, Ce ou Zr) catódicos podem reforçar as propriedades de barreira física pela adição desses inibidores e ainda poderão inibir o início de processos de corrosão de estruturas metálicas por que tais inibidores como o cério possuem a capacidade de auto regeneração de defeitos pelo fato de seus íons se difundirem através do revestimento até o defeito, devido a formação de óxidos e hidróxidos insolúveis.

Para Sistemas de Inibição de Corrosão

H1. A ação antioxidante ou a eficiência de inibição de corrosão de alguns dos extratos tem sido associado às espécies químicas orgânicas (componentes e metabólitos secundários), principalmente de espécies alcalóidicas, que são bases orgânicas nitrogenadas de estrutura cíclica que contém heteroátomos de nitrogênio no estado de oxidação negativo, oxigênio, enxofre, fósforo. Esses compostos bio(químicos) apresentam uma grande diversidade de estruturas químicas encontrada em diferentes espécies e famílias de vegetais.

III.2 Espécies vegetais de diferentes famílias possuem metabólitos que podem ser extraídos por solvente etanólico ou aquoso e que podem ser

investigados o seu potencial antioxidante para atuarem como inibidores de corrosão atenuando a agressividade corrosiva de ambientes salinos de cloreto (NaCl-3,5%) em estruturas metálicas, principalmente de peças automotivas de combustão interna do sistema veicular.

Objetivos

OBJETIVOS

Geral

O projeto de pesquisa estará direcionado na investigação da corrosão de peças (cupons) aço carbono 1020 no intuito de desenvolver sistemas de proteção com revestimentos híbridos, e sistemas de inibição por extratos etanólicos ou aquosos de partes de plantas (Jambo, Própolis, Mertiolate). Nos sistemas de proteção os cupons metálicos serão revestidos com os híbridos siloxano-PMMA dopados ou não com íons (Mo, Ce, Zr), sendo sintetizados pelo método sol-gel, depositados nos cupons pela técnica dip-coating. O efeito barreira de proteção desses revestimentos serão investigados por ensaios de corrosão em solução (3,5% NaCl) (WANG, BIERWAGEN, 2009; BEVENUTTI, MORO, COSTA, 2009). Os sistemas de inibição serão desenvolvidos a partir de extratos etanólicos (ou aquosos) de partes de plantas, serão estudadas e investigadas suas composições químicas (componentes fitoquímicos) e avaliados como potenciais inibidores de corrosão em solução de NaCl-3,5%, na intenção de atenuar os processos corrosivos em aço carbono 1020 e aumentar a eficiência de proteção a corrosão pelo uso de extratos de produtos naturais.

Específicos

Nos sistemas de proteção por revestimentos híbridos a investigação focará nas seguintes metas:

- Desenvolver revestimentos híbridos orgânico-inorgânicos com ausência de defeitos estruturais, boa aderência à liga AA6063T5 ou aço carbono 1020, alta estabilidade térmica e mecânica, e eficiência de resistência à corrosão comparáveis aos revestimentos de proteção às camadas de conversão de cromatos.
- Sintetizar e caracterizar os revestimentos híbridos siloxano-PMMA dopados ou não com os íons metálicos Mo, Ce, Zr.
- Depositar pelo processo sol-gel os revestimentos sobre os cupons metálicos das ligas AA6063T5, aço carbono 1020, e da liga Ti-6Al-4V.
- Estudar os revestimentos na forma em pó (free standing filmes) por análise estrutural por medidas de FTIR, TGA, RMN (29Si e 13C).
- Avaliar a resistência à corrosão dos cupons metálicos revestidos com os sistemas híbridos siloxano-PMMA dopados ou não com os íons metálicos (Mo, Ce, Zr) por potencial de circuito aberto, curvas de polarização potenciodinâmica (Tafel), e por impedância eletroquímica (EIS) durante vários dias expostos em solução 3,5% NaCl.
- Obter as imagens por microscopia óptica (MO), a superfície dos cupons metálicos revestidos com os diferentes sistemas híbridos antes e depois de submetidas em solução 3,5% NaCl.
- Determinar a perda de massa e/ou taxa de corrosão das amostras (cupons metálicos) revestidos e imersos em solução 3,5% NaCl.

Nos sistemas de inibição por extratos de plantas a investigação focará nas seguintes metas:

- Obter os extratos etanólicos ou aquosos de partes das plantas (Semente de Jambo, Propólis, Mertiolate);
- Caracterizar por FTIR e HPLC os sistemas dos extratos das plantas investigadas;
- Determinar o potencial antioxidante (DPPH) e o teor de fenóis de cada extrato de planta investigada;
- Preparar a superfície das estruturas metálicas (cupons) por tratamento mecânico com lixas água de granulometria (60 a 1200) utilizando o aparelho da Politriz antes dos ensaios de corrosão
- Obter as imagens por microscopia óptica ou eletrônica da superfície dos cupons metálicos antes da imersão e após a imersão em solução 3,5% NaCl adicionado ou não dos extrato de plantas investigados.
- Realizar os Ensaios de Corrosão não Eletroquímicos (Perda de Massa) dos sistemas em estudo e determinar sua taxa de corrosão e eficiência de inibição de corrosão;
- Realizar os Ensaios de Corrosão Eletroquímicos de Potencial de Circuito Aberto (Eocp), Curvas de Polarização Potenciodinâmica (Curvas de Tafel) e Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS) e determinar potenciais de corrosão (Ecorr), densidade de corrente de corrosão (Icorr) e resistência de polarização (Rp) (cupons) dos respectivos sistemas investigados com e sem extratos de plantas

Metodologia

METODOLOGIA

Nos sistemas de proteção por revestimentos híbridos a investigação utilizará as seguintes metodologias elencadas abaixo nos seguintes itens.

4.1 Preparo das Superfícies dos Cupons de Aço Carbono 1020

A liga quando adquirida do mercado vem com marcas oriundas do processo de laminação, riscos e impurezas incrustadas. Esses fatores, assim como a composição química de liga poderão influenciar na maior ou menor facilidade de aderência ao revestimento híbrido (CAICEDO-MARTINEZ et al., 2002; ABALLE et al., 2004).

Os cupons metálicos de aço carbono 1020 passarão por um processo de tratamento mecânico com lixas água (CSi2) de diferentes granulometrias (100, 300, 600, 1200), desengordurados com etanol e lavados e rinsados cuidadosamente com água destilada Mili-Q e secos ao ar ambiente.

Portanto, é necessário um pré-tratamento de superfície dos cupons metálicos de aço carbono antes da deposição do revestimento. Esse tratamento terá a função de criar pontos de ancoragem e facilitar a melhor aderência ao filme/ revestimento.

4.2 Precursores Utilizados/Síntese dos Sóis Híbridos

A metodologia sol-gel será empregada na preparação dos sistemas híbridos siloxano-PMMA. A síntese envolve reações de hidrólise/policondensação dos precursores TEOS (tetraetoxisilano), MPTS (precursores 3-metacrilóxi-propil-trimetoxi-silano), água acidulada com ácido nítrico a pH 3 e etanol em quantidades apropriadas dos precursores. Essas reações serão realizadas num recipiente fechado durante 1h a 60°C com agitador magnético, onde produzem espécies silanóis, levando a formação dos polisiloxano (fase inorgânica). Essa etapa da reação é a responsável por modular o teor de Si na estrutura na fase polisiloxano. Em seguida a reação de polimerização do MMA (metil metacrilato) usando BPO (peróxido de benzoíla) como iniciador térmico da polimerização (fase orgânica) será realizada também em recipiente fechado em temperatura ambiente (25°C).

As reações de hidrólise/policondensação e as reações de polimerização serão realizadas separadamente, e somente após se completarem, as duas fases serão misturadas e homogeneizadas obtendo-se o sol híbrido. O gel somente se formará a partir da deposição a temperaturas superiores a 60 °C (ONO, TSUGE, NISHI, 2004). O MPTS é um alcóxido modificado por um grupo metacrilato que tem a função de acoplar a fase orgânica-PMMA (forma polimerizada do MMA) e a fase inorgânica-polisiloxano (forma policondensada do TEOS).

Os sóis híbridos serão sintetizados empregando as seguintes razões molares TEOS:MPTS:MMA = 2:1:2, BPO/MMA = 0,01, H2O/Si = 3,5, Etanol/H2O = 0,5. Essas razões molares foram utilizadas na tese do proponente e selecionadas tomando como base trabalhos desenvolvidos anteriormente (TEIXEIRA et al., 2010; SARMENTO et al., 2010; SARMENTO et al., 2006; SANTANA, 2019).

Por conta da facilidade dos alcóxi-silanos de acoplar espécies tanto orgânicas, como espécies inorgânicas, e por terem uma estrutura amorfa capaz de acomodar espécies metálicas, os íons metálicos dopantes (Mo, Ce, Zr) serão adicionados à estrutura da matriz híbrida siloxano-PMMA em concentrações de (100, 300, 500, 1000 e 3000 ppm).

4.3 Deposição do Híbrido nos Cupons do Aço carbono 1020

A deposição do filme híbrido nos cupons metálicos será feita pela técnica dip-coating. Esse processo consiste na retirada, a uma velocidade controlada do substrato imerso no sol híbrido. Durante o movimento de emersão a suspensão é arrastada com o substrato causando um aumento na área de

evaporação e secagem, isso leva à formação de uma camada de gel. Esse processo pode ser dividido em imersão, emersão, deposição, drenagem e evaporação. Os substratos revestidos serão levados à estufa por 24 h a uma temperatura de 55°C. Posteriormente, serão curados termicamente a uma temperatura de 100°C por 1h. Esse processo elimina o restante de água e aumenta o grau de polimerização pela quebra das ligações duplas de carbono (C=C) dos grupos metacrilato (MMA) e do MPTS, auxilia na densificação do revestimento pelo aumento do grau de policondensação, e acelera a formação das redes siloxano (Si-O-Si) (CABRAL et al., 2005).

4.4 Caracterização Física dos Revestimentos Híbridos

4.4.1 Caracterização Morfológica e Estrutural

Espectroscopia Infravermelha com Transformada de Fourier (FTIR)

Serão realizadas utilizando o espectrofotômetro FTIR SPECTRUM 2000 da Perkin Elmer, com resolução de 4 cm⁻¹ na região característica do espectro na região do infravermelho correspondente aos números de onda da faixa entre 4000 a 400 cm⁻¹.

Os espectros serão obtidos para os revestimentos sem o substrato chamados de free-standing films, com os revestimentos transformados em pó (estado sólido). Tal medida visa avaliar qualitativamente a presença dos modos vibracionais de espécies poliatômicas após a síntese dos sóis híbridos dopados. Os sóis híbridos transformados em pó após o tratamento de cura serão analisados para avaliar a eficiência de polimerização/policondensação por análise qualitativa dos espectros e dos picos referentes a espécies C-C e Si-O-Si (NAKAMOTO, 1970; CANEVAROLO, 2003).

Análise Termogravimétrica (TGA)

As curvas TG dos híbridos dopados serão obtidas utilizando-se um equipamento TA Instruments SDT Q600 nas condições de atmosfera de nitrogênio em fluxo contínuo de 70 mL min⁻¹, utilizando-se 7 mg da amostra (sol híbrido em pó) em cadinhos de alumina a uma taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹, e numa faixa de temperatura de 25 °C a 600 °C. A análise das curvas TG nos permitirá obter informações sobre a estabilidade da amostra, conhecer as alterações que o aquecimento pode provocar na massa e estabelecer a faixa de temperatura em que o material híbrido inicia sua degradação. Trata-se de um método quantitativo, pois a perda da massa que ocorre depende das características da amostra e de fatores instrumentais (CANEVAROLO, 2003).

c. Ressonância Magnética Nuclear (RMN)

As análises de RMN de ²⁹Si e ¹³C no estado sólido (pó) dos híbridos dopados serão realizadas com um espectrômetro Varian Inova operando a 300 MHz e 7,05 T com o objetivo de estimar o grau de policondensação e polimerização utilizando frequências de Larmor de 59,59 Hz e 75,42 Hz para ²⁹Si e ¹³C respectivamente.

Grau de policondensação (%CD) será calculado pelas razões das espécies TJ, QJ (Si-O-Si) estimado pela análise dos espectros de ressonância por uma expressão matemática conhecida na literatura (SARMENTO et al., 2010; SUEGAMA et al., 2010). O grau de polimerização será analisado pela alteração dos deslocamentos químicos característicos através da presença ou ausência de estruturas de grupos não polimerizados (SASSI, BUREAL, BAKKALI, 2002).

d. Microscopia Óptica (MO) / Estereomicroscópio

A superfície dos substratos revestidos com os híbridos será analisada por imagens obtidas de um estereomicroscópio/microscópio óptico (NIKON Eclipse TS100) antes e depois dos ensaios de corrosão em meio agressivos.

Ensaio de Corrosão

a. Perda de Massa e Taxa de Corrosão

Nas medidas de perda de massa ou taxa de corrosão, os substratos revestidos serão imersos num Becker de vidro contendo o meio agressivo (3,5%NaCl). As amostras serão pesadas antes das imersões. Para as medidas de perda de massa, as amostras serão removidas após imersão em diferentes períodos durante vários dias, rinsadas com água destilada, secas, e pesadas novamente (ASTM, 1994). A taxa de corrosão (CR) será determinada pela expressão $CR = 3,45 \times 10^6 \frac{w}{adt}$, sendo que w = perda de massa em gramas, a = área da superfície exposta (cm²), d = densidade da amostra (g/cm³), e t = tempo de exposição (h). A porcentagem de inibição será determinada por $I\% = (W_1 - W_2) \times 100 / W_1$, onde W1(perda de peso sem dopante) e W2 (perda de peso com dopante)

b. Potencial de Circuito Aberto (OCP)

Medidas de potencial de circuito aberto dos substratos revestidos em solução 3,5% NaCl durante várias horas e a cada período serão registradas. Uma célula eletroquímica constituída pelo eletrodo de referência Ag|AgCl|KCl (saturado), e o eletrodo de trabalho (substrato revestido). A área exposta ao meio agressivo de cloreto eletrólitos será de 1 cm². As medidas serão realizadas no potenciostato/galvanostato MQPG.

c. Polarização Linear/Curvas de Polarização Potenciodinâmica (CP)

Os experimentos serão realizados utilizando um Potenciostato/Galvanostato-MQPG conduzidos à temperatura ambiente. As curvas de polarização potenciodinâmica serão obtidos em 3,5% NaCl sem agitação. Uma célula eletroquímica de três eletrodos constituída de uma rede de platina como contra eletrodo e Ag|AgCl|KCl (saturado) como eletrodo de referência, a área do eletrodo de trabalho (amostra) exposta no meio agressivo de cloreto será de 1cm². As curvas de polarização serão obtidas a uma velocidade de varredura de 0,166mVs⁻¹ (ASTM G5) em diferentes períodos. As curvas serão obtidas entre -100 mV vs. Ecorr e + 250 mVs. Ecorr.

d. Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS)

Os experimentos serão realizados num Potenciostato/Galvanostato Gamry acoplado a um Sistema Eletroquímico de Impedância EIS 300, e conduzidos em uma célula de três compartimentos constituída de uma rede de Pt como contra eletrodo, Ag|AgCl|KCl (saturado) como eletrodo de referência, e o eletrodo de trabalho (substrato revestido) exposto no meio agressivo de cloreto numa área de 1cm². Um capacitor não eletrólítico será conectado entre o eletrodo de referência e a rede de Pt para minimizar ruído em baixas frequências, e alteração do ângulo de fase em altas frequências (MANSFELD, 1988). Os espectros de impedância serão registrados aplicando um sinal de excitação senoidal com amplitude de 20 mV (rms) no potencial OCP, na faixa de frequência de 300 kHz a 5 mHz numa razão de aquisição de 10 pontos por década. As medidas de EIS serão conduzidas em diferentes períodos de tempo.

Os circuitos equivalentes serão ajustados às medidas experimentais dos sistemas utilizando o software Zview que simula tais circuitos fornecendo um diagrama de impedância comparado ao obtido experimentalmente.

5. Inibição por Extrato de Plantas

Nos sistemas de inibição por extratos de plantas a investigação utilizará as seguintes metodologias elencadas abaixo.

Os sistemas de extratos de partes das plantas serão determinados sua atividade antioxidante(método DPPH) e serão determinados o teor de fenóis de cada extrato da planta investigada.

Inicialmente serão investigados os extratos de partes de plantas da semente de jambo (Syzygyun jambos), extrato de própolis liofilizado, extrato de mertiolate

A eficiência e os processos de inibição de corrosão dos sistemas serão investigados por ensaios de perda de massa (ensaios não eletroquímicos) e pelas técnicas eletroquímicas de potencial de circuito aberto (Eocp), polarização potenciodinâmica (extrapolação por curvas de Tafel), e por espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS).

5.1 Obtenção dos Extratos (Aquoso ou Etanólico) das Plantas

Os extratos em solução aquosa ou solução etanólica seguirão os procedimentos descritos na literatura, para extratos de própolis será utilizado procedimentos realizados por Ibrain e Alkurashi (2022) e por Park e Ikegak (1998). Grupos de pesquisadores e colaboradores na área de bioquímica e produtos naturais nos auxiliarão nos processos e procedimentos de extração por solvente das respectivas plantas investigadas.

5.2 Corpos de Prova (Cupons Metálicos)

As chapas de aço carbono 1020 serão comercializadas em empresas especializadas em aço 1020 localizadas na cidade de Maceió AL. Os cupons metálicos de aço carbono 1020 passarão por um processo de tratamento mecânico com lixas d'água (CSi2) de diferentes granulometrias (100, 300, 600, 1200), desengordurados com etanol e lavados e rinsados cuidadosamente com água destilada Milli-Q e secos ao ar ambiente.

5.3 Determinação do Teor de Fenóis Totais dos Extratos das Folhas da Planta

Para a determinação do teor de fenóis totais presentes nos extratos será utilizado o método de FolinCiocalteu com modificações. O extrato (7,5 mg) será dissolvido em metanol, transferido quantitativamente para um balão volumétrico de 25 mL e o volume final completado com metanol. Uma alíquota de 100 uL desta última solução será agitada por 1 min com 500 uL do reagente de Folin-Ciocalteu e 6 mL de água destilada; decorrido este tempo, 2 mL de Na₂CO₃ a 15% serão adicionados à mistura, sendo esta agitada por 1 minuto. A solução será completada para 10 mL com água destilada. Após 2 h, a absorbância das amostras será medida a 715 nm utilizando-se cubetas de vidro, tendo como branco o metanol e todos os reagentes, com exceção do extrato.

5.4 Caracterizações Física

A superfície das amostras (corpos de prova) metálicas, antes e após os ensaios de corrosão, serão analisadas e investigadas por microscopia óptica (MO) ou microscopia eletrônica de varredura (SEM/EDX) para observar a estrutura morfológica em cada sistema que será investigado.

5.5 Ensaio de Corrosão

Nos ensaios de corrosão as amostras (cupons metálicos) serão imersas nos ambientes agressivos (biodiesel de óleo de soja ou em 3,5% NaCl) na presença e ausência dos extratos da planta.

a. Perda de Massa e Taxa de Corrosão

Nas medidas de perda de massa ou taxa de corrosão, os cupons metálicos serão imersos nos diferentes sistemas de extratos puros ou sistemas de extratos com os ambientes agressivos (biodiesel ou 3,5% NaCl).

Serão imersas num Becker de vidro contendo o meio eletrolítico agressivo. Os cupons metálicos serão medidos suas áreas e serão pesadas antes e após as imersões.

Para determinar a perda de massa, as amostras serão removidas após imersão em intervalos de 7 dias durante 21 dias, rinsadas com água destilada, secas, e pesadas novamente a cada intervalo. A taxa de corrosão (CR) será determinada pela expressão $CR = 3,45 \times 10^6 \frac{w}{adt}$, sendo que w = perda de massa em gramas, a = área da superfície exposta (cm²), d = densidade da amostra (g/cm³), e t = tempo de exposição (h) (ASTM, G-102; DEYAB, 2016)

b. Potencial de Circuito Aberto (OCP)

Medidas de potencial de circuito aberto dos diferentes sistemas do extrato da planta com os ambientes agressivos (biodiesel ou 3,5% NaCl) durante várias horas e a cada intervalos de tempo serão registrados seus potenciais.

Uma célula eletroquímica de três compartimentos será utilizada, sendo constituída pelo eletrodo de referência Ag|AgCl|KCl (saturado) ou Ag|AgCl|EtOH|KCl, e o eletrodo de trabalho (cupons metálicos). A área exposta aos ambientes agressivos será de 1 cm². As medidas serão realizadas num multímetro ou Potenciostato/Galvanostato MQPG.

c. Polarização Linear/Curvas de Polarização Potenciodinâmica (CP)

Os ensaios eletroquímicos serão realizados utilizando o MQPG. Os experimentos eletroquímicos serão conduzidos à temperatura ambiente com amostras em triplicatas. As curvas de Tafel serão obtidos nos diferentes sistemas com extrato da planta com e da planta com e sem extrato em solução agressiva (3,5% NaCl).

Referências

- ABALLE, A.; BETHENCOURT, M.; BOTANA, F. J.; MARCOS, M.; SÁNCHEZ-AMAYA, J. M. Influence of the degree of polishing of alloy AA 5083 on its behaviour against localised alkaline corrosion. *Corrosion Science*, v. 46, p.1909-1920, 2004
- AMBROZIN, A. R. P.; KURI, S. E.; MONTEIRO, M. R. Corrosão metálica associada ao uso de combustíveis minerais e biocombustíveis. *Química Nova*, v. 32, n. 7, p. 19101916, 2009.
- ANAGRI, A.; BAITUCKHA, A.; DEBIEMME-CHOUVY, C.; LUCAS, I. T.; PULPYTEL, J.; MAI TRAN, T. T.; TABIBIAN, S.; AREFI-KHONSARI, F. Nanocomposite coating based on graphene and siloxane polymers deposited by atmospheric pressure plasma. Application to corrosion protection of steel. *Surface & Coatings Technology*, v. 377, 124928, 2019.
- ARAÚJO, J. M. A. *Química de Alimentos: Teoria e Prática*. 4.ed. Belo Horizonte: Editora UFV, 2004. 415p.
- ASTM Standard D 130, Standard Test Method for Corrosiveness to Cooper from Petroleum Products by Copper Strip Test, 2012.
- BAMMOU, L; BELKHAOUA, M; SALGHI, R; BENALI, O; ZARROUK, A; ZARROK, H; HAMMOUTI, B. Corrosion inhibition of steel in sulfuric acidic solution by the chenopodium ambrosioides extracts. *J. of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, v. 16, p. 8390. 2014.
- BARROS, I. B.; MOSCOSO, H. Z. L.; BASTOS, I. N.; JÚNIOR, V. F. V. Avaliação eletroquímica da inibição de corrosão em aço carbono por A. canelilla em meio ácido. *V Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais, Petrópolis/RJ*, 2014.
- BETHENCOURT, M.; BOTANA, F. J.; CANO, M. J.; MARCOS, M. Advanced generation of green conversion coatings for aluminium alloys. *Applied Surface Science*, v. 238, p. 278-281, 2004.
- BERDIMURODOV E.; ELIBOYEV I.; BERDIMURADOV K.; KHOLIKOV A.; AKBAROV K.; DAGDAG O.; RBAA M.; EL IBRAHIMI B.; VERMA D. K.; HALDHAR R.; ARROUSSE N. Green β-cyclodextrin-based corrosion inhibitors: Recent developments, innovations and future opportunities. *Carbohydrate Polymers*. V. 292, 15 September 2022.
- BEVENUTTI, E. V.; MORO, C. C.; COSTA, T. M. H. Materiais híbridos à base de sílica obtidos pelo método sol-gel. *Química Nova*, v. 32, n. 7, p. 1926-1933, 2009.
- BRUMMETT, C.; KANEZAKI, N.; MARUYAMA, T.; SHIMIZU, T.; Society of Automotive Engineers, São Paulo, v.37, p.1847, 2004.
- BRUSCIOTTI, F.; SNIHIROVA, D. V.; MONTIMOR, M. F.; LAMAKA, S. V.; FERREIRA, M. G. S. Hybrid epóxi-silane coating for improved corrosion protection of Mg alloy. *Corrosion Science*, v. 67, p. 82-90, 2013.
- CABRAL, A. M.; DUARTE, R. G.; MONTEMOR, M. F.; ZHELUDKEVICH, M. L.; FERREIRA, M. G. S. Analytical characterisation and corrosion behaviour of bis-[triethoxysilylpropyl]tetrasulphide pre-treated AA2024-T3. *Corrosion Science*, v. 47, p. 869-881, 2005.
- CAICEDO-MARTINEZ, C. E.; KOROLEVA, E. V.; THOMPSON, G. E.; SKELDON, P.; SHIMIZU, K.; HOELLRIGL, G.; CAMPBELL, C.; McALPINE, E. Influence of impurities in aluminium on surface treatment. *Corrosion Science*, v. 44, p. 2611, 2002.
- CANEVAROLO, J. S. V. *Técnicas de caracterização de polímeros*. São Paulo: Artliber, 2003.
- CHAKRABORTY, M.; BARUAH, D.C. Investigation of oxidation stability of Terminalia bellerica biodiesel and its blends with petrodiesel. *Fuel Processing Technology*, v. 98, p.51, 2012.
- CHRUSCIEL, J. J.; LESNIAK, E. Modification of epoxy resins with functional silanes, polysiloxanes, silsesquioxanes, silica and silicates. *Progress in Polymers Science* 41 67-121, 2015.
- CORROSION OF ALUMINIUM. Christian Vargel. Paris, Elsevier, 2004. ISBN 0080444954. 1987.
- DABALÀ, M.; ARMELAO, L.; BUCHBERGER, A.; CALLIARI, I. Cerium-based conversion layers on aluminum alloys. *Applied Surface Science*, v. 172, p. 312-322, 2001.
- DABALÀ, M.; RAMOUS, E.; MAGRINI, M. Corrosion resistance of cerium-based chemical conversion coatings on AA5083 aluminium alloy. *Materials and Corrosion*, v. 55, n. 5, 2004.
- DEGHANI A.; BAHLAKEH G.; RAMEZANZADEH B.; MOFIDABADI A. H. J. Application of L-citrulline loaded beta-cyclodextrin nano-carrier for fabrication of a corrosion protective silane film on mild-steel. *Progress in Organic Coatings*. V. 161, December 2021.
- DELOLMO, R.; TIRINGER, U.; MILOSEV, I.; VISSER, P.; ARRABAL, R.; MATYKINA, E.; MOL, J. M. C. Hybrid sol-gel coatings applied on anodized AA2024-T3 for active corrosion protection. *Surface & Coatings Technology*, v. 419, 127251, 2021.
- DEYAB, M. A. Corrosion inhibition of aluminum in biodiesel by ethanol extracts of Rosemary leave. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 58, p. 536541, 2016.
- EUROPEAN UNION. The European Commission. Prohibits the use of lead, mercury, cadmium or hexavalent chromium in materials and components of

vehicles put on the market after 1 July 2003: Directive 2000/53/EC. Hamburg, 2002.

FAZAL, M. A.; HASEEB, A.S.M.A.; MASJUKI, H.H. Comparative corrosion characteristics of petroleum diesel and palm biodiesel for automotive materials. *Fuel Processing Technology*, v. 91, p. 1308-1315, 2010.

GENTIL, V. *Corrosão*. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 341p.

GIRARDI, F.; GRAZIOLA, F.; ALDIGHIERI, P.; FEDRIZZI, L.; GROSS, S.; DI MAGGIO, R. Inorganic-organic hybrid materials with zirconium oxoclusters as protective coatings on aluminium alloys. *Progress in Organic Coating*, v. 62, p. 376-381, 2008.

HASEEB, A. S. M. A.; MASJUKI, H.H.; ANNA, L. J.; FAZAL, M. A. Corrosion characteristics of copper and leaded bronze in palm biodiesel. *Fuel Processing Technology*. v. 91, p. 329-334, 2010a.

HE, Z.; GAO, T.; DUAN, D.; SOUCEK, M. D. Effect of mixed sol-gel precursors on inorganic-organic polyurethane hybrid thermosets: DOE study. *Progress in Organic Coating*, v. 133 p. 237-248, 2019.

HE, Z.; LI, X.; SOUCEK, M. D.; CASTANEDA, H. Inhibition of acid undercoating of inorganic/organic polyurethane coatings. *Progress in Organic Coating*, v. 134 p. 169-176, 2019.

HU, E. et al. Corrosion behavior of metals in biodiesel from rapeseed oil and methanol. *Renewable Energy*. v. 37, p. 371-378, 2012.

JEYARAM, R.; ELANGO A.; SIVA., T.; AYESHAMARIAM A., KAVIYARASU K. Corrosion protection of silane based coatings on mild steel in an aggressive chloride ion environment. *Surfaces and Interfaces*, V. 18, March 2020.

JOSEANE, A. S. Desenvolvimento de revestimentos híbridos aplicados aos substratos de Ti-6Al-4V para aplicações biomédicas. 2019. 112 f. Tese (Doutorado em Química)- Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.

JYOTHI, S.; RATHIDEVI, K. ; JALAJAA, D.; RATNAKUMAR, P. SAMUEL. Inhibitive effect of mussaenda frondosa leaves extract on mild steel corrosion-statistical and theoretical view. *Rasayan Journal of Chemistry*, 2019, Vol.12 (1), p.272-278.

KENDIG, M.; JEANJAQUET, S.; ADDISON, R.; WALDROP, J. Role of hexavalent chromium in the inhibition of corrosion of aluminum alloys. *Surface and Coatings Technology*, v. 140, p. 58-66, 2001.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. Van; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. (2006). *Manual de biodiesel*. São Paulo, Editora Edgard Blucher.

LIU, Y.; SUN, D.; CHUNG, J. S. Corrosion resistance properties of organicoorganic. Corrosion resistance properties of organic-inorganic hybrid coatings on 2024 aluminum alloy. *Applied Surface Science*, v. 246, p. 82-89, 2005.

LIU Z.; FAN B.; ZHAO J.; YANG B.; ZHENG X. Benzothiazole derivatives-based supramolecular assemblies as efficient corrosion inhibitors for copper in artificial seawater: Formation, interfacial release and protective mechanisms. *Corrosion Science*. V. 212, March 2023.

MAGNANI, M. Estudo da resistência ao desgaste e à corrosão de revestimentos metálico-cerâmicos aplicados na liga AA7050 por aspersão térmica oxicomustível de alta velocidade (HVOF).2008. 240f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2008.

MEMON, J. R.; MEMON, S. Q.; BHANGERA, M. I.; KHUHAWAR, M. Y. Use of modified sorbent for the separation and preconcentration of chromium species from industrial waste water. *Journal of Hazardous Materials*, v. 163, p. 511-516, 2009.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINIER, F. B. Sistemas Experimentais para o estudo da Corrosão de metais. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 33, n.1, 2011.

MROWKA-NOVOTINIK, G. Analysis of intermetallics particles in AlSiMgMn aluminium alloy. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, v. 20, p. 155-158, 2007.

MUTHUKUMAR, N.; ILANGOVAN, A.; MARUTHAMUTHU, S.; PALANISWAMY, N.; *Electrochim. Acta*, v.52, p.7183, 2007.

NAZARI A.; RAMEZANZADEH B.; GUO L.; DEGHANI A. Application of green active bio-molecules from the aquatic extract of Mint leaves for steel corrosion control in hydrochloric acid (1M) solution: Surface, electrochemical, and theoretical explorations. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. V. 656, Part B, 5 January 2023.

NAKAMOTO, K. *Infrared spectra of inorganic and coordination compounds*. New York: Wiley, 1970.

ONO, S.; TSUGE, H.; NISHI, Y. Improvement of corrosion resistance of metals by an environmentally friendly silica coating method. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, v. 29, p. 147-153, 2004.

OLEINIK, S. V.; KUZNETSOV, Y. Y. Corrosion inhibitors in conversion coatings. *Protection of Metals*, v. 43, n. 4, p. 421-428, 2007.

POSNIAK, S. K.; ZHELUDKEVICH, M. L.; RAPS, D.; GAMMEL, F.; YASAKAU, K.; FERREIRA, M. G. S. Preparation and corrosion protective properties of nanostructured titania-containing hybrid sol-gel coatings on AA2024. *Progress in Organic Coating*, v. 62, p. 226-235, 2008.

PRETO, N.A.E.; Avaliação da influência de antioxidantes na estabilização e Biodiesel. 2012. 200f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2012.

SAEI, E.; RAMEZANZADEH, B.; AMINI, R.; KALAJAI, M. S. Effects of combined organic and inorganic corrosion inhibitors on the nanostructure cerium based conversion coating performance on the AZ 31 magnesium alloy: morphological and corrosion studies. *Corrosion Science*, v. 127, p. 186-200, 2017.

SANAEI, Z.; SHAHRABI, T.; RAMEZANZADEH, B.; Synthesis and characterization of an effective green corrosion inhibitive hybrid pigment based on zinc acetate-Cichorium intybus L leaves extract (ZnA-CiL.L): Electrochemical investigations on the synergistic corrosion inhibition of mild steel in aqueous chloride solutions. *Dyes and Pigments*, v. 139, p. 218-232, 2017.

SARMENTO, V. H. V.; FRIGÉRIO, M. R.; DAHMOUCHE K.; PULCINELLI S. H.; SANTILLI C. V. Evolution of rheological properties and local structure during gelation of siloxane-polymethylmethacrylate hybrid materials, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, v.37, p.179-184, 2006.

SARMENTO V. H.; SCHIAVETO, M. G.; HAMMER, P.; BENEDETTI, A. V.; FUGIVARA, C. S.; SUEGAMA, P. H.; PULCINELLI, S. H.; SANTILLI, C. V. Corrosion protection of stainless steel by polysiloxane hybrid coatings prepared using the sol-gel process. *Surface & Technology*, v. 204, p. 2689-2701, 2010.

SASSI, Z.; BUREAL, J. C.; BAKKALI, A. Structural characterization of the organic/inorganic networks in the hybrid material (TMOS-TMSM-MMA). *Vibrational Spectroscopy*, v. 28, n. 2, p. 299-318, 2002.

SUEGAMA, P. H.; SARMENTO, V. H. V.; MONTEMOR, M. F.; BENEDETTI, A. V.; MELO, H. G. de; AOKI, I. V.; SANTILLI, C. V. Effect of cerium (IV) ions on the anticorrosion properties of siloxane-poly(methacrylate) based film applied on tin coated steel. *Electrochimica Acta*, v. 55, p. 5100-5109, 2010.

SULEIMAN, R. K.; KUMAR, A. M.; ADESINA, A. Y.; AL-BADOUR, F. A.; MELIANI, M. H.; SALEH, T. A. Hybrid organosilicon-metal oxide composites and their corrosion protection performance for mild steel in 3.5% NaCl solution. *Corrosion Science*, v. 169, 108637, 2020.

SULEIMAN, R. K.; KUMAR, A. M.; RHAMAN, M. M.; AL-BADOUR, F. A.; MELIANI, M. H.; SALEH, T. A. Effect of metal oxide additives on the structural

and barrier properties of a hybrid organosilicon sol-gel coating in 3.5% NaCl medium. Progress in Organic Coating, v. 148, 105825, 2020.

SUSUKI, C. Estudo comparativo de alternativas para o desenvolvimento, projeto e fabricação de tanques de combustível para automóveis de passageiros dentro da General Motors do Brasil. 2007. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2007.

SZUBERT, K.; WOJCIECHOWSKI, J.; KARASIEWICZ, J.; MACIEJEWSKI, H.; LOTA, G. Corrosion-protective coatings based on fluoro-carbonsilane. Progress in Organic Coating, v. 123, p. 374-383, 2018.

TEIXEIRA, D. G. Estudos da preparação da superfície da liga AA6063T5 e do desenvolvimento de revestimentos híbridos orgânico-inorgânicos a base de siloxano-PMMA para aplicação anticorrosiva. 2010. 122 f. Tese (Doutorado em Química)- Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2010

TOORANI, M.; ALIOFKHAZRAEY, M.; MAHDAVIAN, M. NADERI, R. Effective PEO/Silane pretreatment of epoxy coating applied on AZ31B Mg alloy for corrosion protection. Corrosion Science, v. 169, 108608, 2020.

TOORANI, M.; ALIOFKHAZRAEY, M.; MAHDAVIAN, M. NADERI, R. Superior corrosion protection and adhesion strength of epoxy coating applied on AZ31 magnesium alloy pre-treated by PEO/Silane with inorganic and organic corrosion inhibitors. Corrosion Science, v. 178, 109065, 2021.

VAYA, J.; AVIRAM, M. Nutritional antioxidants: mechanisms of action, analyses of activities and medical applications. Curr Med Chem Imm Endoc Metab Agents, v.1, p.99-117, 2001.

VILLA NOVA, R. L. Caracterização microestrutural e eletroquímica de ligas de alumínio anodizadas em meio sulfúrico. 2007. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia) Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VRACAR, L.J. M.; DRAZIC, D.M. Adsorption and corrosion inhibitive properties of some organic molecules on iron electrode in sulfuric acid. Corrosion Science, v. 44, p. 1669-1680, 2002.

WANG, D.; BIERWAGEN, G. P. Sol-gel coatings on metals for corrosion protection. Progress in Organic Coatings, v. 64, p. 327-338, 2009.

WANG, H.; AKID, R. A room temperature cured sol-gel anticorrosion pre-treatment for Al 2024-t3 alloys. Corrosion Science, v. 49, p. 4491-4503, 2007.

WOJCIECHOWSKI, J.; SZUBERT, K.; PEIPMANN, R.; FRITZ, M.; SCHMIDT, U.; BUND, A.; LOTA, G. Anti-corrosive properties of silane coatings deposited on anodised aluminium. Electrochimica Acta, v. 220, p. 1-10, 2016.

YUAN, X.; YUE, Z. F.; CHEN, X.; LI, L.; FENG, T. The protective and adhesion properties of silicone-epoxy hybrid coatings on 2024 Al-alloy with a silane film as pretreatment. Corrosion Science, v. 104 p. 8497, 2016.

Xiaohui Zhang; Shansuo Zheng; Xuran Zhao. Experimental and numerical investigations into seismic behavior of corroded steel frame beams and columns in offshore atmospheric environment. Journal of Constructional Steel Research. V. 201, February 2023.

ZHANG N.; ZHOU B.; LIU Y.; YANG B.; ZHENG H.; WU Y. Dual-functional anti-corrosion coatings with surface hydrophobicity and internal smart-releasing Ce3+ loaded in bentonite on carbon steel. Advances in Colloid and Interface Science. V. 307, September 2022.

Membros do Projeto

CPF	Nome	Categoria	CH Dedicada	Tipo de Participação
034.805.614-11	ABEL BARBOSA LIRA NETO	SERVIDOR	2	COLABORADOR(A)
072.817.504-55	ADEILDO JUNIOR DE OLIVEIRA	SERVIDOR	2	COLABORADOR(A)
036.826.754-77	ANA CAROLINA LIMA DE LUCENA	DOCENTE	4	COLABORADOR(A)
399.055.863-34	DILTON GONÇALVES TEIXEIRA	EXTERNO	2	COORDENADOR(A) ADJUNTO(A)
024.132.984-10	DIOGENES MENESES DOS SANTOS	DOCENTE	4	COORDENADOR(A)
460.304.255-87	FABIANE CAXICO DE ABREU GALDINO	DOCENTE	2	COLABORADOR(A)
091.897.294-98	JOSÉ GUIMARÃES FERREIRA DE LIMA JÚNIOR	DISCENTE	2	COLABORADOR(A)
023.046.054-27	LIBEL PEREIRA DA FONSECA	DISCENTE	2	COLABORADOR(A)
162.552.418-82	Victor Hugo Vitorino Sarmiento	EXTERNO	2	COLABORADOR(A)
021.504.559-94	VINICIUS DEL COLLE	DOCENTE	2	COLABORADOR(A)

2023

Atividades	Set	Out	Nov	Dez
LEVANTAMENTO E ATUALIZAÇÃO DA BIBLIOGRÁFICA				
PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE DOS CUPONS DA LIGA DE AÇO CARBONO 1020				
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA				
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA SOBRE A LIGA AA6063T5 OU AÇO CARBONO 1020, OU LIGA DE TI-6AL-4V				
REALIZAR ENSAIOS DE CORROSÃO ELETROQUÍMICOS				
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM CE				
ENSAIOS ELETROQUÍMICOS E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM CE SOBRE OS SUBSTRATOS METÁLICOS INVESTIGADOS (LIGA AA6063T5, AÇO CARBONO 1020, LIGA DE TI-6AL-4V).				
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM MO				
ENSAIOS ELETROQUÍMICOS E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM MO SOBRE OS SUBSTRATOS METÁLICOS INVESTIGADOS (LIGA AA6063T5, AÇO CARBONO 1020, LIGA DE TI-6AL-4V).				
OBTENÇÃO/OTIMIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM ZR				
ENSAIOS ELETROQUÍMICOS E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM ZR				

REALIZAR ENSAIOS NÃO ELETROQUÍMICOS DE CORROSÃO DOS REVESTIMENTOS DOPADOS E NÃO DOPADO SOBRE OS SUBSTRATOS METÁLICOS INVESTIGADOS (LIGA AA6063T5, AÇO CARBONO 1020, LIGA DE TI-6AL-4V).					
OBTENÇÃO DOS EXTRATOS (AQUOSO OU ETANÓLICO) DAS PLANTAS					
DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS DA PLANTA					
DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FENÓIS TOTAIS DOS EXTRATOS DAS FOLHAS DA PLANTA					
REALIZAR ENSAIOS ELETROQUÍMICOS E NÃO ELETROQUÍMICOS DE CORROSÃO DOS REVESTIMENTOS DOPADOS E NÃO DOPADOS COM OS EXTRATOS SOBRE OS SUBSTRATOS METÁLICOS INVESTIGADOS (LIGA AA6063T5, AÇO CARBONO 1020, LIGA DE TI-6AL-4V).					
ELABORAR RELATÓRIOS PARCIAIS E FINAL					
ANALISAR OS DADOS EXPERIMENTAIS E DIVULGAR OS RESULTADOS EM CONGRESSOS E REVISTAS					

2024

Atividades	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
LEVANTAMENTO E ATUALIZAÇÃO DA BIBLIOGRÁFICA								
PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE DOS CUPONS DA LIGA DE AÇO CARBONO 1020								
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA								
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA SOBRE A LIGA AA6063T5 OU AÇO CARBONO 1020, OU LIGA DE TI-6AL-4V								
REALIZAR ENSAIOS DE CORROSÃO ELETROQUÍMICOS								
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM CE								
ENSAIOS ELETROQUÍMICOS E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM CE SOBRE OS SUBSTRATOS METÁLICOS INVESTIGADOS (LIGA AA6063T5, AÇO CARBONO 1020, LIGA DE TI-6AL-4V).								
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM MO								
ENSAIOS ELETROQUÍMICOS E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM MO SOBRE OS SUBSTRATOS METÁLICOS INVESTIGADOS (LIGA AA6063T5, AÇO CARBONO 1020, LIGA DE TI-6AL-4V).								
OBTENÇÃO/OTIMIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM ZR								
ENSAIOS ELETROQUÍMICOS E CARACTERIZAÇÃO DO FILME SILOXANO-PMMA DOPADO COM ZR								
REALIZAR ENSAIOS NÃO ELETROQUÍMICOS DE CORROSÃO DOS REVESTIMENTOS DOPADOS E NÃO DOPADO SOBRE OS SUBSTRATOS METÁLICOS INVESTIGADOS (LIGA AA6063T5, AÇO CARBONO 1020, LIGA DE TI-6AL-4V).								
OBTENÇÃO DOS EXTRATOS (AQUOSO OU ETANÓLICO) DAS PLANTAS								
DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS DA PLANTA								
DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FENÓIS TOTAIS DOS EXTRATOS DAS FOLHAS DA PLANTA								
REALIZAR ENSAIOS ELETROQUÍMICOS E NÃO ELETROQUÍMICOS DE CORROSÃO DOS REVESTIMENTOS DOPADOS E NÃO DOPADOS COM OS EXTRATOS SOBRE OS SUBSTRATOS METÁLICOS INVESTIGADOS (LIGA AA6063T5, AÇO CARBONO 1020, LIGA DE TI-6AL-4V).								
ELABORAR RELATÓRIOS PARCIAIS E FINAL								
ANALISAR OS DADOS EXPERIMENTAIS E DIVULGAR OS RESULTADOS EM CONGRESSOS E REVISTAS								

Histórico do Projeto

Data	Situação	Usuário
13/04/2023	GRAVADO	DIOGENES MENESES DOS SANTOS / 02413298410
15/04/2023	SUBMETIDO	DIOGENES MENESES DOS SANTOS / 02413298410
28/04/2023	EXCLUÍDO	JOSE VITOR DE MENEZES TORRES / 01168563437