

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO

CLARA MANUELA CUSTÓDIO DA CRUZ

**RECOBRIMENTOS INTELIGENTES BASEADOS NA
INCORPORAÇÃO DE NANOCONTÊINERES
CONTENDO AGENTES INIBIDORES DE CORROSÃO**

BAURU

2022

CLARA MANUELA CUSTÓDIO DA CRUZ

**RECOBRIMENTOS INTELIGENTES BASEADOS NA
INCORPORAÇÃO DE NANOCONTÊINERES
CONTENDO AGENTES INIBIDORES DE CORROSÃO**

Monografia de Iniciação Científica
apresentado à Pró-Reitoria de Pós-
Graduação e Pesquisa do Centro
Universitário Sagrado Coração, sob a
orientação do Prof. Dr. Herbert Duchatsch
Johansen

BAURU

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo
com ISBD

C955r	<p>Cruz, Clara Manuela Custódio da</p> <p>Recobrimentos inteligentes baseados na incorporação de nanocontêineres contendo agentes inibidores de corrosão / Clara Manuela Custódio da Cruz. -- 2022. 27f.: il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen.</p> <p>Monografia (Iniciação Científica em Engenharia Química) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Nanopartículas magnéticas. 2. Nanocontêineres de sílica. 3. Verniz de isopor. 4. Anticorrosivos. I. Johansen, Herbert Duchatsch. II. Título.</p>
-------	---

Elaborado por Lidyane Silva Lima - CRB-8/9602

Dedico este projeto a minha avó Olinda, que partiu durante a execução do mesmo, e me ensinou que o conhecimento acadêmico é importante, mas o que você faz com ele é mais.

AGRADECIMENTOS

Gostaria dedicar os agradecimentos desta monografia primeiramente a minha família, aos meus pais Cesar e Marlene junto ao meu irmão Luís Francisco pelo apoio e a paciência durante todo o processo do projeto assim como em toda a minha vida, aos meus avós Wilma, Olinda, e Manuel por sempre acreditarem nos meus sonhos.

Um agradecimento especial ao Professor Doutor Herbert Duchatsch Johansen pela oportunidade e confiança depositada em mim, além de proporcionar um imenso aprendizado.

Aos meus colegas de curso que me incentivaram nos momentos mais difíceis, e à Técnica de Laboratório Geovana Rodrigues de Castilho, pelo apoio acadêmico e principalmente pela amizade.

E por último a Deus, detentor de todo poder e sabedoria, e que me auxilia a trilhar o meu caminho.

RESUMO

A corrosão representa um grande desafio global, e uma das formas mais comuns de se proteger uma superfície é mediante a utilização de recobrimentos orgânicos. Entretanto, há o risco dessa camada protetora sofrer danos, assim, torna-se extremamente promissor o desenvolvimento de revestimentos autorreparadores, utilizando-se agentes anticorrosivos encapsulados em nanocontêineres. Nos últimos anos têm-se observado importantes desenvolvimentos na área de nanotecnologia e de materiais nanoestruturados. Neste projeto de pesquisa é proposto o desenvolvimento de recobrimentos inteligentes utilizando nanopartículas magnéticas e agentes anticorrosivos, que serão armazenados em nanocontêineres dispersos na matriz composta de verniz à base de isopor reciclado.

Palavras-chave: Nanopartículas magnéticas. Nanocontêineres de sílica. Verniz de isopor. Anticorrosivos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pesagem do Sulfato de Ferro II	14
Figura 2 – Pesagem do Cloreto de Ferro III	14
Figura 3 – Amostra de Sulfato de Ferro II e Cloreto de Ferro III	15
Figura 4 – Mistura de Sulfato de Ferro II e Cloreto de Ferro III	16
Figura 5 – Mistura pós-adição de Hidróxido de Amônio	17
Figura 6 – Síntese antes da centrifugação	17
Figura 7 – Síntese dos nanocontêineres de sílica	18
Figura 8 – Pesagem do poliestireno expandido	19
Figura 9 – Poliestireno expandido com Acetona I	20
Figura 10 – Nanopartícula magnética em meio ácido	21
Figura 11 – Poliestireno expandido com Acetona II	22
Figura 12 – Mistura de verniz de isopor, de nanopartículas magnéticas e de nanocontêineres	23
Figura 13 – Corpos de prova 30 dias em meio corrosivo	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concentração de verniz de isopor, de nanopartículas magnéticas e de nanocontêineres	20
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	<i>OBJETIVO GERAL.....</i>	<i>11</i>
1.2.2	<i>OBJETIVOS ESPECIFICOS</i>	<i>12</i>
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
2.1	MATERIAIS.....	12
2.1.1	<i>REAGENTES:.....</i>	<i>12</i>
2.1.2	<i>EQUIPAMENTOS:.....</i>	<i>12</i>
2.2	MÉTODOS.....	13
2.2.1	<i>SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS.....</i>	<i>13</i>
2.2.2	<i>SÍNTESE DE NANOCONTÊINERES DE SÍLICA.....</i>	<i>18</i>
2.2.3	<i>SÍNTESE DO VERNIZ.....</i>	<i>19</i>
2.2.4	<i>PREPARAÇÃO DO CORPO DE PROVA.....</i>	<i>20</i>
3	RESULTADOS	21
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	23
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
	REFERENCIAS.....	19

1 INTRODUÇÃO

Em 1959 foi proposto por Richard Feynman o termo nanociência em uma palestra intitulada “Tem muito espaço lá embaixo”, enquanto o termo nanotecnologia foi popularizado por Eric Drexler em 1986 no livro “Motores da criação”. Com o passar dos anos o estudo no campo da física quântica se intensificou, e trabalhando na dimensão atômicas, as leis são diferentes, esperando novos efeitos e resultados que veem impactado cada vez mais a sociedade, principalmente na sua qualidade de vida.(1)

O que caracteriza qualquer tipo de nanotecnologia é o tamanho dos componentes ou de suas partículas, que estão contidos na faixa de 1 a 100 nanômetros (nm). Com tais escalas de tamanho alguns componentes podem apresentar novas características físico – químicas, bem como outras propriedades que já pertenciam àquele material podem ficar ainda mais evidentes, como as propriedades magnéticas ou sua capacidade de dispersão no meio em que estão inseridas.(1)

As nanopartículas magnéticas, um dos nanomateriais mais estudada pelo seu baixo custo e propriedades magnéticas, são utilizadas com diversas finalidades, seja na área biológica, na ressonância magnética e hipertermia, ou os ferrofluidos, que tem suas aplicações em ambientes mais extremos. (2-3)

A síntese de nanopartículas magnéticas pode ser obtida através de vários métodos, dentre eles o de coprecipitação, considerado um dos mais prático, que consiste na adição de uma base nos sais Fe^{2+} e Fe^{3+} em solução aquosa. Outros métodos são o de degradação térmica, o de Reação sol-gel, o de Síntese hidrotermal, e o de Síntese em microemulsão. O método em questão usa como compostos precursores sais do elemento o qual se deseja criar as nanopartículas, dispersos em meio aquoso, com pH, temperatura e força iônica do meio controlados, assim podendo prever o tamanho dessas nanopartículas e a sua dispersão, considerando ainda características dos contraíons do sal precursor (cloretos, sulfatos, nitratos entre outros) que serão utilizados na síntese. (2-4)

Além das nanopartículas, recentemente estão sendo pesquisados os nanocontêineres, estruturas de mesma escala nanométrica que as nanopartículas (em

pelo menos uma das dimensões), porém com o diferencial de poder abrigar dentro da sua estrutura, oca ou porosa, outros tipos de substâncias, sejam estas as próprias nanopartículas ou ainda aditivos anticorrosivos, por exemplo. (5,6)

Os nanocontêineres podem ser divididos em três grandes grupos: as nanopartículas, baseadas em nanomateriais (as que possuem três dimensões nanométricas); os nanotubos, que possuem ao menos uma das dimensões nanométrica); os nanomateriais, baseados em nanocamadas (com duas das dimensões nanométricas). Dentro de cada uma dessas classificações, estes materiais podem ainda ser classificados como orgânicos (formados por lipídeos, proteínas ou polímeros) ou inorgânicos, e ainda como ocos ou porosos. (7)

Dentre os variados materiais utilizados para sintetizar os nanocontêineres, a sílica ou dióxido de silício (SiO_2) é o mais empregado, devido a sua facilidade de síntese e por ser de baixo custo, quando comparado com outros materiais que demandam técnicas mais complexas, como são os nanotubos de carbono, que demandam de altas temperatura para a sua síntese. (8)

Junto com o avanço tecnológico, surge a necessidade da preocupação com a sustentabilidade, sendo claro o impacto do desenvolvimento humano na natureza como um todo. O emprego de novas técnicas que utilizem resíduos de outros processos como matéria-prima ou incorporando-o dentro dessas tecnologias ganha cada dia mais notoriedade e apoio. (9)

No Brasil, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, 30% de todo o lixo produzido no país é passível de reciclagem, mas apenas uma pequena parcela (cerca de 3%) dele é realmente reciclada. (10) O poliestireno expandido, convencionalmente chamado isopor, é um polímero composto pela repetição do $(\text{C}_8\text{H}_8)_n$, assim configurando como um material de baixa densidade. Como demonstrado por Barcelar, Renzano & Beati (11) é possível utilizar o isopor como um verniz aplicável em tintas quando misturado com um solvente orgânico, assim obtendo uma proteção contra a retenção de água em madeira muito próxima dos vernizes encontrados comercialmente.

Com isso, o desenvolvimento de novas tecnologias e novas aplicações para

materiais reciclados, é possível obter produtos com um elevado desempenho em suas determinadas funções e ainda contribuindo para a sustentabilidade e para um avanço muito mais ecológico da Ciência.

1.1 JUSTIFICATIVA

As pesquisas por materiais cada vez mais eficientes e com maior durabilidade é constante. Assim sendo, este projeto de pesquisa visa o aperfeiçoamento no ramo da tecnologia química voltada para o desenvolvimento de tintas e recobrimentos avançados. A demanda para que estes recobrimentos tenham maiores rendimentos e durabilidades elevadas é crescente. Adicionalmente, no âmbito do desenvolvimento de novos recobrimentos anticorrosivos para substratos metálicos, o presente projeto pretende desenvolver recobrimentos inteligentes baseados na incorporação de nanopartículas magnéticas e de agentes inibidores de corrosão em matrizes à base de isopor reciclado.

1.2 OBJETIVOS

Os seguintes tópicos iram discorrer sobre os objetivos gerais e específicos desse projeto.

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este projeto de pesquisa tem como principal objetivo o desenvolvimento de recobrimentos inteligentes utilizando nanopartículas magnéticas e agentes anticorrosivos, que serão armazenados em nanocontêineres dispersos em matriz de verniz composto de isopor reciclado. Assim, estes nanocontêineres serão carregados com nanopartículas e/ou com agentes anticorrosivos específicos, a fim de aprimorar a durabilidade de tintas em meios corrosivos.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Testar métodos de síntese de nanopartículas magnéticas e nanocontêineres de sílica;
- Produzir uma tinta com agentes inibidores de corrosão;
- Analisar e testar a eficiência da tinta produzida.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os seguintes tópicos discorrerão sobre os materiais, disponibilizados pelo Centro Universitário do Sagrado coração de Jesus, e os métodos previamente estudados para a execução do projeto.

2.1 MATERIAIS

2.1.1 REAGENTES:

- Hidróxido de Amônio PA;
- Sulfato Ferroso PA;
- Cloreto de Ferro PA;
- Peróxido de Hidrogênio PA;
- Ácido Sulfúrico PA;
- Ácido Cítrico Anidro PA;
- Água destilada;
- Álcool Etílico PA;
- 3-Glicidiloxipropil Trimetilsiloxano
- Isopor Reciclado (EPS);
- Acetona PA;
- Peças de aço ASTM A36.

2.1.2 EQUIPAMENTOS:

- Vidrarias;

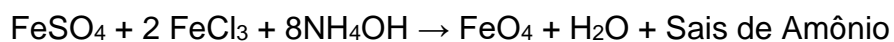
- Imã, para separação magnética;
- Centrífuga;
- Manta de Aquecimento;
- Agitador Magnético;
- Balança Semianalítica.

2.2 MÉTODOS

Os métodos previam a síntese das nano partículas magnéticas com os íons de Ferro, os nanocontêineres de sílica para carregar a magnetita, e o verniz a partir de isopor reciclado. A mistura dos três será colocada em teste com matérias de prova de aço.

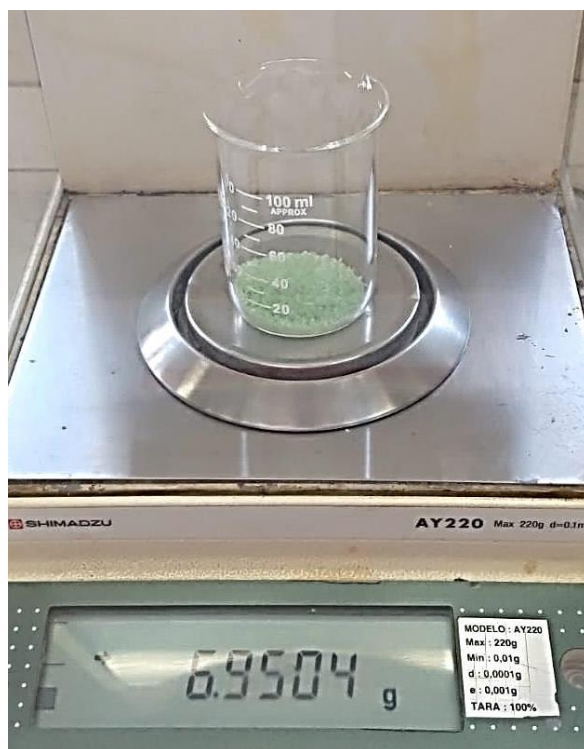
2.2.1 SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS

A primeira etapa consiste na síntese das nanopartículas magnéticas pelo método da coprecipitação. Nesta etapa é utilizada uma mistura entre os íons de ferro (Fe^{2+} e Fe^{3+}) com a adição de uma base, geralmente utilizado solução de hidróxido de amônio (NH_4OH) com pH próximo de 10, em agitação constante a uma temperatura controlada, gerando a seguinte equação:



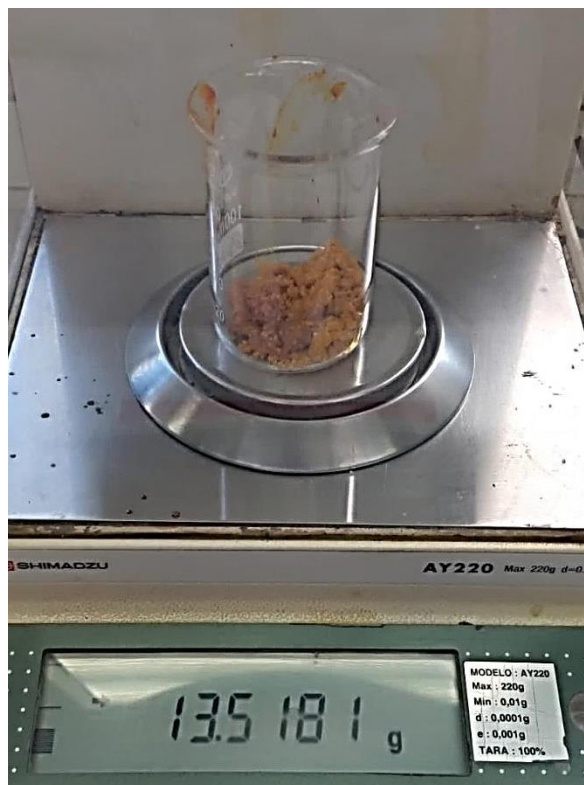
Através dos cálculos estequiométricos, encontrou-se a medida de 6,9504 g de Sulfato de Ferro II, e de e 13,5181 g de Cloreto de Ferro III. Os dois reagentes foram pesados separadamente em balanças analíticas.

Figura 1. Pesagem do Sulfato de Ferro II



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2. Pesagem do Cloreto de Ferro III



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o processo de pesagem o Sulfato de Ferro II foi solubilizado em 50ml de água destilada em um balão volumétrico de fundo chato, enquanto o Cloreto de Ferro III foi solubilizado em um balão volumétrico de fundo chato de 100ml. Portanto, gerando uma concentração de 0,5mol/L em ambos os casos.

Figura 3. Amostra de Sulfato de Ferro II e Cloreto de Ferro III

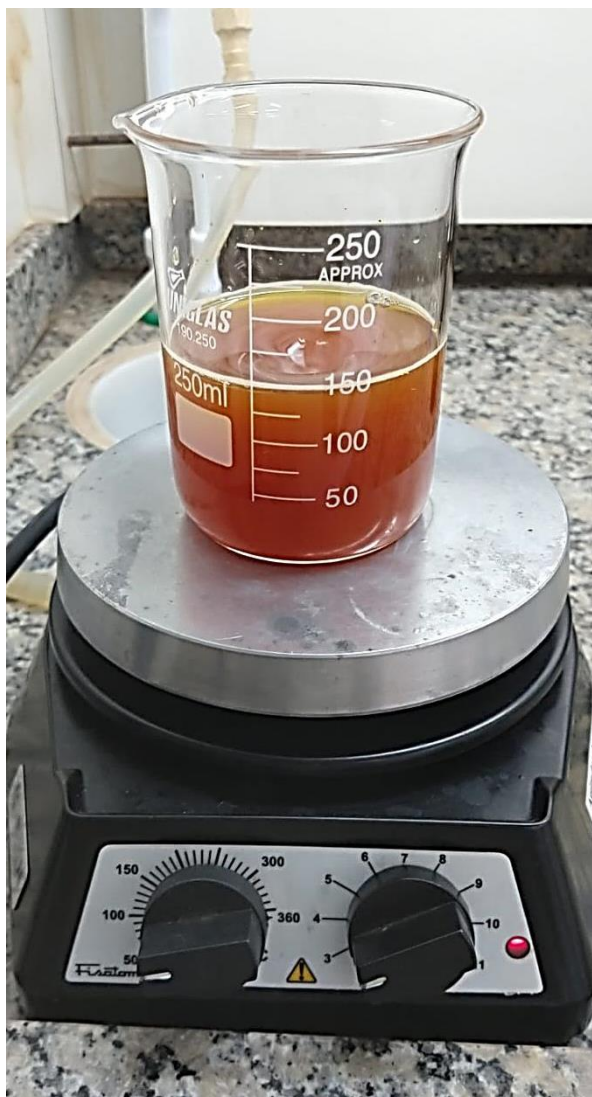


Fonte: Elaborado pelo autor.

Colocado ambos os reagentes em um béquer de 250 ml, permaneceu em constante rotação a temperatura ambiente por 10 min através de um agitador magnético.

Mediu-se então, 40ml de Hidróxido de Amônio, em uma proveta graduada de 50 ml, procurando uma solução com concentração de aproximadamente 30%.

Figura 4. Mistura de Sulfato de Ferro II e Cloreto de Ferro III



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os reagentes prontos, a mistura de Sulfato de Ferro II e Cloreto de Ferro III foi aquecida até 60° C, temperatura medida com um termômetro. Nesse ponto foi adicionado os 40 ml de Hidróxido de Amônio, e permaneceu em constante e alta rotação por 30 min.

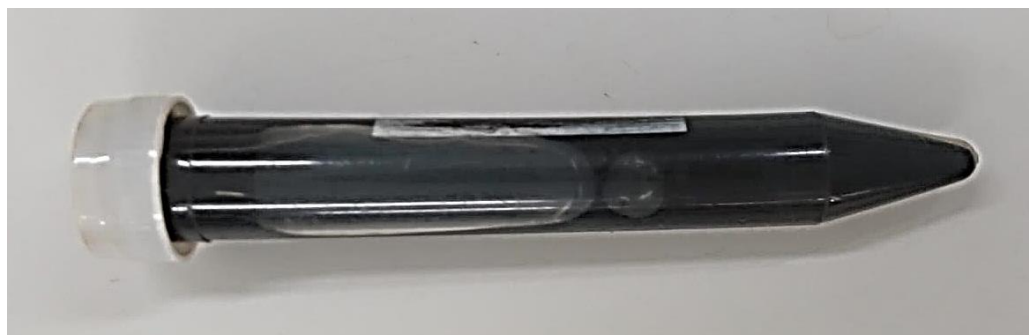
Figura 5. Mistura pós adição de Hidróxido de Amônio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, a solução foi dividida e naturalmente resfriada até a temperatura ambiente, e separada em 12 tubos Falcon de 15 mL. Os conteúdos dos tubos foram levados a uma centrífuga para a decantação, programada a 4000 rpm por 5 minutos.

Figura 6. Síntese antes da centrifugação



Fonte: Elaborado pelo autor.

A água restante foi descartada corretamente, e as nano partículas armazenadas em um recipiente fechado em meio ácido preparado através da pesagem de 0,0282 gramas de ácido cítrico anidro em pó, dissolvido em 50 ml de água.

2.2.2 SÍNTESE DE NANOCONTÊINERES DE SÍLICA

Para a síntese dos nanocontêineres de sílica (SiO_2), seguindo o relatado por SILVA & AOKI (9), foi misturado 80 ml de álcool etílico com 20 ml de água destilada e 2,5 ml de hidróxido de amônio em um Erlenmeyer de 250 ml, e colocado sobre constante agitação por 30 minutos em um agitador magnético na temperatura ambiente.

Figura 7. Síntese dos nanocontêineres de sílica



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, foi adicionado 0,5 ml de 3-Glicidiloxipropil Trimetilsiloxano, neste caso substituindo TEOS (Tetraetoxissilano), e mantido fechado sobre constante agitação em temperatura ambiente por 24h.

2.2.3 SÍNTESE DO VERNIZ

A última síntese consistiu na produção do verniz a base de poliestireno expandido onde foi pesado 0,5 g do isopor com o auxílio de um béquer e uma balança analítica.

Figura 8. Pesagem do poliestireno expandido



Fonte: Elaborado pelo autor.

Então foi adicionado 1 ml de Acetona P.A. medido com auxílio de uma pipeta volumétrica.

Figura 9. Poliestireno expandido com Acetona I



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.4 PREPARAÇÃO DO CORPO DE PROVA

Por fim, a mistura de nanopartículas magnéticas, nanocontêineres, e verniz foi feita em diferentes quantidades, adições de até 1% (kg/kg) de nanopartículas e nanocontêineres seguindo a Tabela 1.

Tabela 1. Concentração de verniz de isopor, de nanopartículas magnéticas e de nanocontêineres

Verniz de isopor	Nanopartículas Magnéticas	Nanocontêineres de Sílica
99,50%	0,25%	0,25%
99%	0,50%	0,50%
98%	1%	1%

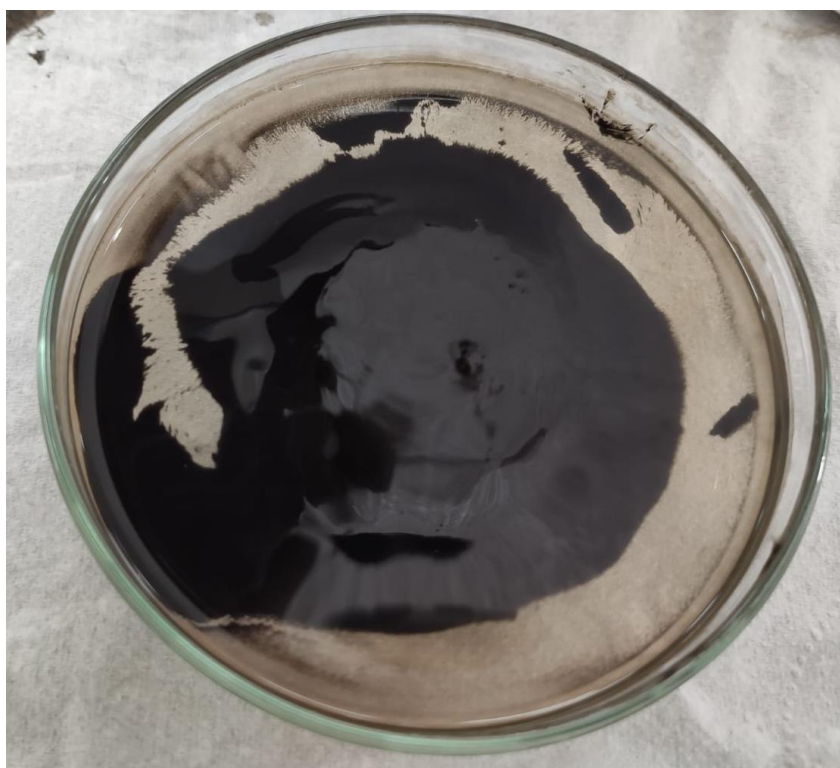
Fonte: Elaborado pelo autor.

Enquanto 9 placas circulares de aço ASTM A36, como demonstrado por Imianowsky & Walendowsky (12) ser um dos tipos de aço carbono mais utilizado em construções civis, foram lixadas nas lixas d'água de granulação iniciando na granulação 400 até chegar a 1200.

3 RESULTADOS

Inicialmente foi proposto um método para a síntese das nanopartículas, porém com a análise mais profunda percebeu-se dificuldades na realização do mesmo, portanto, com uma revisão literária encontrou-se novos métodos. Utilizando o método de coprecipitação na mistura de íons de ferro com uma base formou uma pasta na coloração preta, o que representa a formação da magnetita. E com a utilização de ima é possível observar a atração das nanopartículas com o mesmo.

Figura 10. Nanopartícula magnética em meio ácido



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os nanocontêineres de sílica foram produzidos com algumas modificações a partir do método de SILVA & AOKI (9), substituindo o TEOS pela 3-Glicidiloxipropil Trimetilsiloxano, no intuito da formação de precipitados, neste caso os nanocontêineres. Porém ao final do tempo pré-determinado não foi possível a visualização desse precipitado, ou certa turbidez no líquido analisado, como seria o esperado.

Além disso, a produção do verniz a base de isopor, previsto no método de BACELAR et al. (11), que consiste na retirada do ar preso entre as moléculas de estireno com o enfraquecimento das ligações entre monômero de poliestireno pela ação da acetona, diminuindo drasticamente seu volume, resultou em uma massa de tonalidade marrom de baixa viscosidade enquanto se mantinha em contato com a acetona. A acetona evaporando rapidamente por ser um líquido volátil, a massa se enrijece e ganha uma película esbranquiçada no exterior.

Figura 11. Poliestireno expandido com Acetona II



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim a tentativa de incorporação da nanopartícula nos nanocontêineres e entrando em contato com o verniz não se deu por satisfatória, podendo visualizar facilmente 2 fases, a síntese do verniz se mantendo na massa esbranquiçada e um líquido de tonalidade preta

Figura 12. Mistura de verniz de isopor, de nanopartículas magnéticas e de nanocontêineres



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a observação da pasta na coloração preta formada na síntese das nanopartículas juntamente com a atração magnética com um imã, a sínteses realizadas tiveram êxito e se comportaram como o esperado durante os estudos iniciais.

Do mesmo modo, observou-se a estabilização da síntese na solução de ácido cítrico como bem-sucedido, em contraposto às análises armazenadas em água, que, com o passar do tempo, perdeu sua propriedade magnética, representando a oxidação das nanopartículas.

Dando sequência, a síntese dos nanocontêineres não foi vista de forma bem-sucedida comparativamente à síntese mencionada anteriormente. A não formação de precipitado no Erlenmeyer junto a turbidez esperada demonstra o resultado negativo da formação de nanocontêineres substituindo o Tetraetoxissilano pelo 3-

Glicidiloxipropil Trimetilsiloxano, assim como demonstra a ineficácia do mesmo por ser um produto comercial, sendo assim possuindo uma baixa concentração.

No caso da produção do verniz, a massa formada com redução notável de seu volume demonstra a eficácia na solubilização do isopor pela Acetona P.A. assim como era o esperado na utilização de um solvente orgânico. Sendo o objetivo do verniz bloquear o contato da água com o material a ser protegido pode ser uma ótima opção para o recobrimento anticorrosivo.

A mistura final, no entanto, não pode ser vista como bem-sucedida, sendo que as nanopartículas magnéticas e as nanopartículas de sílica não incorporaram a massa formada pelo verniz, sendo visível a separação da massa esbranquiçada do verniz e do líquido que continha os nanomateriais.

A não incorporação das substâncias impediu a realização da última etapa do projeto, onde as placas de aço seriam cobertas pela tinta de recobrimento inteligente e seria testada sua viabilidade de proteção contra corrosão do material. Os corpos de prova simulariam o contato do aço com meios corrosivos como a água marinha que com o passar do tempo apresentam pontos de degradação podendo causar falhas estruturais.

Figura 13. Corpos de prova 30 dias em meio corrosivo



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o proposto pelo projeto e o analisado nas pesquisas bibliográficas, a utilização de nanopartícula magnéticas encapsuladas por nanocontêineres de sílica, imersos em um verniz a partir de isopor reciclado pode retardar o processo de corrosão de metais.

Porém a execução dessa tinta deve ser analisada mais profundamente para se encontrar um método de síntese do verniz que incorpore perfeitamente as nanopartículas, e a retornando a ideia inicial da utilização do Tetraetoxissilano como reagente na síntese dos nanocontêineres de sílica.

REFERÊNCIAS

1. LEONEL, André; SOUZA, Carlos Alberto. NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA PERSPECTIVA DA ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E TÉCNICA. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências , [s. l.], 8 nov. 2009. Disponível em: <http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/viiienpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/1574.pdf>. Acesso em: 18 maio 2022.
2. MARTINS, Pedro Manuel Abreu. Produção e caracterização de nanopartículas magnéticas para aplicação biotecnológica. Dissertação (Mestrado em Micro e Nanotecnologias). Universidade do Minho, Braga, Portugal. 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/17717>>. Acesso em: 30 mar. 2021.
3. FRANCISQUINE, E.; SCHOENMAKER, Jeroen; SOUZA, José Antonio. Nanopartículas magnéticas e suas aplicações. Química Supramolecular e Nanotecnologia, p. 269, 2014. Disponível em: <http://professor.ufabc.edu.br/~joseantonio.souza/wp-content/uploads/2015/05/Cap%C3%ADtulo-14-Nanopart%C3%ADculas-Magn%C3%A9ticas-e-suas-Aplica%C3%A7%C3%B5es.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2021.
4. BRANCO, Rogério Mendes et al. Nanopartículas magnéticas obtidas por coprecipitação homogênea sonoquimicamente assistida. 2013. Disponível em: <https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/590>>. Acesso em: 30 mar. 2021.
5. LU, An-Hui; SALABAS, E. emsp14L; SCHÜTH, Ferdi. Magnetic nanoparticles: synthesis, protection, functionalization, and application. Angewandte Chemie International Edition, v. 46, n. 8, p. 1222–1244, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/anie.200602866>>. Acesso em: 30 mar. 2021.
6. Nanopartículas produzidas em escala industrial podem ter aplicação em diversos setores. FAPESP Pesquisa para Inovação.03 de janeiro de 2017. Disponível em: http://pesquisaparinovacao.fapesp.br/nanoparticulas_produzidas_em_escala_industrial_podem_ter_aplicacao_em_diversos_setores/140>. Acesso em: 30 mar. 2021.
7. NGUYEN, Tuan Anh; ASSADI, Aymen Amine. Smart Nanocontainers: Preparation,

Loading/Release Processes and Applications. Kenkyu Journal of Nanotechnology and Nanoscience, v. 4, p. 1–6, 2018. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/e517/867b67845a4175a7eac8f4ba0d7d8beb97a2.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

8. FERREIRA, Odair Pastor. Nanotubos de carbono: preparação e caracterização. Monografia apresentada como Exame de Qualificação de Doutorado do IQ–Unicamp, 2003. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/images/vivencia_lqes_monografias_odair_nanotubos_carbono.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

9. SILVA, Brunela P.; AOKI, Idalina V. Estudo de nanopartículas de sílica para encapsulamento de inibidor de corrosão. 2018. Disponível em: <https://abraco.org.br/src/uploads/intercorr/2018/INTERCORR2018_048.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

10. Reciclagem. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/7656-reciclagem>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

11. BACELAR, Bruna S.; RENZANO, Eduardo C.; BEATI, André Augusto Gutierrez Fernandes. INCORPORAÇÃO DO ISOPOR COMO MATÉRIA-PRIMA DE VERNIZ PARA BASE DE TINTA. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2977.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

12. IMIANOWSKY, Guilherme Wanka; WALENDOWSKY, Marcus Alberto. Os principais aços carbono utilizados na construção civil. Conselho regional de engenharia e arquitetura de Santa Catarina, Santa Catarina, p. 2–21, 2017. Disponível em: <<http://www.crea-sc.org.br/portal/arquivosSGC/a%C3%A7os%20carbono%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

12. CUNHA, Jamili Altoé da. c. 2018.