

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## **Estudo Da Influência Do Tratamento De Superfície Do Aço Carbono Na Obtenção De Revestimentos Híbridos Protetores**

Priscila Segura<sup>1</sup>, Cristiane Reis Martins<sup>1</sup>, Idalina Vieira Aoki<sup>2</sup>

### **Abstract**

The preparation of metal surface is an important factor to be considered in the process of interaction of silanes with the metallic substrate. The metal must be treated properly before the application of silane in order to obtain an effective silane film. Thus, the preparation of the metal surface can be done by different treatments. The aim of this work is to study the effect of different treatments of the bare substrate surface, before the application of hybrid coating TEOS/GPTMS/ $\gamma$ -APS and to evaluate the corrosion resistance of the coated steel by electrochemical techniques (electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and polarization curves). The  $\gamma$ -APS silane was used as crosslinking agent to promote simultaneously the interaction and crosslinking between amino and epoxy functional groups, forming the hybrid coating (sol-gel process). The studied treatments were cleaning with organic solvent (commercial degreasing), alkaline treatment (2.5 % w/w NaOH solution) and mechanical grinding (CSi emery paper from 320 to 600 mesh grade). After these treatments, the samples were covered by “dip-coating” technique at a entrance and withdrawal speed of 10 cm/min, remaining in the hybrid solution during 1 min. Samples were prepared with a single layer (cured at 150 °C for 1 hour) and with a double layer (first cure at 150 °C for 15 min, and afterwards the sample was cured at 150 °C for 1 hour). The electrochemical impedance spectroscopy (EIS) of the samples coatings in solution of NaCl 0.1 mol/L allowed detecting the corrosion resistance of the hybrid coating, showing that its efficiency increases in almost all of surfaces treatments used. The mechanical grinding treatment was the most effective as it promotes superior corrosion resistance when compared to other treatments. The polarization curves confirmed the results of EIS, showing the lowest current density values for coated samples previously submitted to the mechanical treatment.

Keywords: hybrid coating, sol-gel, corrosion, carbon steel, surfaces treatments

<sup>1</sup> IC-Graduação, Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, Diadema/SP

<sup>2</sup> Dr- Docente – Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, Diadema/SP

<sup>3</sup> Dr- Docente – Escola Politécnica da USP – EPUSP, São Paulo/SP

---

## Resumo

A preparação da superfície do metal é um fator importante a ser considerado no processo de interação dos silanos com o substrato metálico. O metal deve ser tratado adequadamente antes da aplicação do filme de silano para que o mesmo torne-se efetivo. Sendo assim, o preparo da superfície metálica pode ser feito por diferentes tratamentos de limpeza. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de diferentes tratamentos da superfície do substrato, antes da aplicação do revestimento híbrido TEOS/GPTMS/ $\gamma$ -APS, em aço carbono e avaliação por meio de técnicas eletroquímicas (espectroscopia de impedância eletroquímica, EIS, e curvas de polarização). O silano  $\gamma$ -APS foi empregado como agente de reticulação promovendo simultaneamente interação e reticulação dos grupos epóxi e amina, formando o revestimento híbrido (processo sol-gel). Os tratamentos estudados foram limpeza com solvente (desengraxante comercial), tratamento químico (solução 2,5 % NaOH) e lixamento mecânico (lixa CSi até grana 600). Após estes tratamentos, os corpos-de-prova (cdp) foram revestidos através da técnica de “dip-coating” tendo sido imersos com a velocidade de 10 cm/min na entrada e saída do cdp, permanecendo na solução híbrida durante 1 min. Foram preparados cdp's com monocamadas (cura 150 °C por 1 hora) e com duas camadas (pré-cura por 15 min a 150 °C e cura a 150 °C por 1 hora). A espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) dos cdp's revestidos em solução de NaCl 0,1 mol/L possibilitou detectar a resistência à corrosão das camadas do híbrido, revelando que sua eficiência aumenta na maioria dos tratamentos superficiais empregados. O tratamento mecânico foi o mais eficaz, promovendo resistência à corrosão superior aos demais tratamentos empregados. As curvas de polarização confirmaram os resultados de EIS, mostrando menores valores de densidade de corrente de resposta para os cdp's revestidos e que sofreram o tratamento mecânico.

**Palavras-chave:** revestimentos híbridos, sol-gel, corrosão, aço carbono, tratamento da superfície.

---

## Introdução

Revestimentos poliméricos híbridos orgânico-inorgânicos são preparados pela combinação de componentes orgânicos e inorgânicos, e se constituem em uma nova alternativa para a produção de revestimentos multifuncionais, com possibilidade de ampla aplicação na indústria de acabamento superficial de metais. Uma das principais rotas de obtenção destes revestimentos é através do processo sol-gel [1,2].

Nos últimos anos a utilização de pré-tratamentos via processo sol-gel para a proteção contra a corrosão de metais vem se tornando uma atrativa área de estudos [3]. Isto se deve à sua grande eficácia, facilidade de aplicação e baixo custo, além de provocar impactos ambientais bem menores que os processos à base de cromatos ou de fosfatos atualmente empregados industrialmente [4].

Os híbridos orgânico-inorgânicos são formados pela hidrólise e condensação de precursores de alcóxidos de silício funcionais, como, por exemplo, o gama aminopropiltrióxido de silano ( $\gamma$ -APS, um alcóxido que possui uma função amina não-reativa) e o 3-glicidoxipropiltrimetoxido de silano (GPTMS, um alcóxido que possui uma função epóxi reativa polimerizável), combinados com alcóxidos de silício não-funcionais, como os alcóxidos de silício (citando como exemplo o tetraetoxissilano, TEOS), de zircônio e de alumínio. Nestes híbridos, os alcóxidos funcionais ( $\gamma$ -APS e GPTMS) modificam a cadeia

inorgânica do alcóxido não-funcional (por exemplo, TEOS), formando uma estrutura com propriedades mistas orgânicas/inorgânicas [5]. Os alcóxidos funcionais podem ou não criar uma cadeia orgânica quimicamente ligada à inorgânica, servindo ainda de ancoragem para sistemas de pintura. O alcoxilano mais utilizado é o GPTMS (3-glicidoxipropiltrimetoxisilano) e assim pode-se obter um filme homogêneo, porém as condições de preparação devem ser muito bem controladas [6].

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de diferentes tratamentos de superfície do substrato metálico (aço carbono), antes da aplicação do revestimento híbrido TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS e, avaliação por meio de técnicas eletroquímicas (EIS e curvas de polarização).

## Experimental

### 1. Corpos-de-prova

Os corpos-de-prova (cdp's) utilizados foram de aço carbono fornecido pela empresa CSN. Este tipo de chapa é utilizada na indústria automobilística, principalmente para confecção de portas externas de automóveis. A Tabela 1 apresenta a composição química do aço carbono estudado.

#### Tabela 1

### 2. Silanos e amina utilizados

As estruturas químicas dos silanos utilizados estão na **Figura 1**. Os silanos utilizados foram o TEOS (tetraetoxisilano), GPTMS ( $\gamma$ -glicidoxipropiltrimetoxisilano) e  $\gamma$ -APS ( $\gamma$ -aminopropiltrimetoxisilano) fornecidos pela empresa Momentive Performance. Esses compostos possuem baixos índices de toxicidade e apresentam reatividade variada com o substrato.

#### Figura 1

### 3. Preparação dos corpos-de- prova

Todos os cdp's preparados possuem uma espessura nominal de 0,8 mm e foram cortados em quadrados de 2,5 cm x 2,5 cm. Receberam também um furo de aproximadamente 0,5 mm para facilitar seu manuseio com ganchos plásticos. Inicialmente a primeira etapa de limpeza das amostras foi o desengraxe manual com lenços de papel embebidos em solvente orgânico, xilol, seguida de lavagem com água destilada. A segunda etapa realizada variou conforme o pré-tratamento da superfície metálica estudado, tendo sido empregados diferentes tratamentos de limpeza, como descritos abaixo.

#### 3.1 Tratamento mecânico por lixamento

Após a primeira etapa, a amostra foi levada para a politriz onde sofreu o desbaste com lixas de CSi de granas 320, 400 e 600, nessa sequência. Posteriormente, a amostra foi levada para o banho ultrassônico em acetona, por 5 min, com a finalidade de remover gorduras e materiais graxos em excesso. Após a limpeza superficial, a amostra foi imersa por 10 min em solução aquosa de NaOH a 2,5 % em massa, à temperatura ambiente.

### 3.2 Desengraxamento alcalino Comercial

Após a primeira etapa, a amostra foi levada para o banho no ultrassom em acetona por 5 min, com a finalidade de remover gorduras e materiais graxos. Posteriormente, a amostra foi imersa em banho com solução desengraxante com concentração de 5 % em massa por 10 minutos à temperatura de (70-80) °C. O desengraxante utilizado foi a solução alcalina comercial Saloclean<sup>®</sup>, fornecido pela Klintex Insumos Industriais Ltda.

### 3.3. Tratamento Químico Alcalino (solução de NaOH 2,5 % em massa)

Após a primeira etapa, a amostra foi levada para o banho no ultrassom em acetona por 5 min, com a finalidade de remover gorduras e materiais graxos. Posteriormente, a amostra foi imersa por 10 min em solução aquosa de NaOH 2,5 % à temperatura ambiente.

Todas as amostras, após sofrerem tais tratamentos superficiais foram submetidas à lavagem com água destilada, seguido da avaliação do teste de quebra d'água e secos em correntes de ar quente. Finalmente as amostras foram envolvidas em lenços de papel e guardados em dessecadores até o momento de sua utilização.

## 4. Preparação do híbrido TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS

A solução (sol) foi preparada a partir da mistura dos silanos TEOS-GPTMS (razão molar 1:3) no solvente 95/5 (m/m) água e etanol contendo ácido acético na concentração 0,05M. A reação de hidrólise e condensação foi conduzida em elevadas razões de água/silanos (60:4). A adição dos silanos foi feita por gotejamento durante 1 hora. Após toda a adição da mistura dos silanos (TEOS-GPTMS), a solução foi mantida sob agitação por 48 horas de hidrólise a temperatura ambiente. Posteriormente, preparou-se o sol-gel para aplicação nas amostras de aço. O procedimento empregado foi diluir a solução TEOS-GPTMS em água por um fator de 1,75 seguido da adição de um tensoativo não-iônico e do agente de reticulação  $\gamma$ -APS. A razão molar do  $\gamma$ -APS com o GPTMS foi mantida constante por uma razão de 1:0,15. Após a adição do  $\gamma$ -APS, o sistema sol-gel formado (TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS = HB2) foi agitado vigorosamente por 5 min e aplicados nos corpos-de-provas de aço carbono.

## 5. Aplicação do híbrido

O sol gel do híbrido TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS (HB2) foi aplicado nos cdp's por "dip-coating" com velocidade de entrada e saída do sol-gel de 10 cm/min. Após a entrada total da amostra na solução sol-gel, os cdp's permaneceram imersos por 1 min na solução híbrida antes de se iniciar a saída. Amostras revestidas com monocamadas (MC) foram curadas na estufa à temperatura de 150 °C durante 1 hora. Amostras revestidas com dupla camada (DC) foram inicialmente imersas na solução híbrida por 1min e pré-curadas na estufa a temperatura de 150 °C por 15 min e, posteriormente foram resubmetidas a uma nova

aplicação no “dip-coating”, seguida da etapa de cura por 1 hora na estufa à mesma temperatura. A **Tabela 2** detalha as condições de aplicação do revestimento híbrido.

## **Tabela 2**

### 6. Caracterização Eletroquímica

Os ensaios eletroquímicos foram realizados numa célula de três eletrodos para amostras planas, em solução naturalmente arejada e não agitada de NaCl 0,1 mol/L à temperatura ambiente. Como eletrodo de referência foi utilizado um eletrodo de Ag/AgCl/KCl<sub>sat</sub>, como eletrodo auxiliar uma folha de platina com área de 16,5 cm<sup>2</sup> e cdp's com áreas expostas de 1,0 cm<sup>2</sup> utilizados como eletrodo de trabalho. O tempo para estabilização do potencial de circuito aberto (Eoc) para os cdp's revestidos com o híbrido TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS foi de 1 hora. Os ensaios eletroquímicos foram realizados na seguinte sequência: potencial de circuito aberto, Eoc x tempo, medidas de EIS, e por último, as curvas de polarização potenciodinâmica.

Os ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) foram realizados após estabilização do potencial em circuito aberto em solução de NaCl 0,1 mol/L. O intervalo de frequência foi de 50 kHz a 15 mHz com amplitude de perturbação do potencial de 10 mV rms e 10 medidas realizadas por década logarítmica de frequência. Todas as medidas foram realizadas em um potenciostato-galvanostato EG&G/PAR, modelo 273A em conjunto com um analisador de frequências da Solartron modelo SI 1255B.

Para as curvas de polarização potenciodinâmica, os intervalos de potenciais foram de  $-0,250 < \eta < +0,400$  V/ Ag/AgCl/KCl<sub>sat</sub>, relativo ao potencial em circuito aberto, sendo a velocidade de varredura (vv)= 0,5mV/s.

### 7. Caracterização Estrutural

A solução híbrida TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS (HB2) foi caracterizada por espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR) em um equipamento da marca Bruker modelo Vector 22 acoplado a um acessório de ATR e utilizando um cristal de ZnSe.

## **Resultados e Discussão**

### 1. Formação do revestimento híbrido

A primeira etapa do processo sol-gel foi avaliar as concentrações e tempos das reações de hidrólise e condensação dos silanos TEOS e GPTMS a fim de obter nanopartículas com funcionalidade epoxídica [7]. Na segunda etapa, as nanopartículas foram reticuladas através da reação química entre as funcionalidades amino e epóxi. Praticamente, a reticulação e a formação das camadas nanoparticuladas ocorrem simultaneamente com a aplicação da solução sol-gel na superfície do substrato, seguida da evaporação do solvente e formação do filme, conduzindo a formação de uma estrutura híbrida de um revestimento [5]. A estrutura química de um agente reticulante é uma das variáveis do processo sol-gel e pode favoravelmente afetar as propriedades do revestimento [5]. Os aminosilanos são reticuladores convencionais, os quais podem não somente ser envolvidos na reação química de ligação dos grupos epóxi, mas também podem ser submetidos a reações de hidrólise e

condensação de um processo sol-gel e simultaneamente atuar como agente de acoplamento interagindo com a superfície do substrato. Devido a natureza dos grupos aminosilanos, o  $\gamma$ -APS foi usado na produção dos filmes híbridos.

A **Figura 2** apresenta o FTIR da solução híbrida TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS hidrolisada por 48 h. Observa-se em  $950\text{ cm}^{-1}$  a formação do grupo silanol (SiOH) que é formado durante a hidrólise dos grupos alcóxidos no GPTMS e TEOS. Em  $1100\text{ cm}^{-1}$  verifica-se o estiramento assimétrico C-O-C, seguida do estiramento assimétrico Si-O-Si em  $1072\text{ cm}^{-1}$  caracterizando a formação do híbrido produzido; e em  $1600\text{ cm}^{-1}$  e  $3500\text{ cm}^{-1}$  a presença do estiramento N-H do grupo amina do agente de reticulação.

## **Figura 2**

### 2. Ensaio Eletroquímico

Todos os resultados das técnicas eletroquímicas são comparados para os diferentes tratamentos superficiais empregados neste trabalho. Para estudos de comparação, a superfície do aço carbono sem revestimento híbrido também foi analisada tendo sido tratada com os diferentes tratamentos superficiais estudados.

#### *2.1. Medidas de Potencial de Circuito Aberto (Eoc)*

A **Figura 3** apresenta as curvas de monitoramento do Eoc em função do tempo de imersão em solução de NaCl 0,1 mol/L para híbrido TEOS/GPTMS/ $\gamma$ -APS curado na estufa a  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  para os diferentes tratamentos de limpeza. A estabilização do potencial de circuito aberto foi de 1 hora. Todos os pré-tratamentos empregados, independente do número de demãos (camadas), deslocaram o potencial de circuito aberto (Eoc) para valores mais positivos de forma significativa em comparação ao aço carbono sem revestimento. Por outro lado, os resultados obtidos com a dupla camada, via de regra, sempre foram melhores que aqueles obtidos para as monocamadas. Os deslocamentos positivos de Eoc foram sempre mais significativos para híbridos aplicados em superfície tratada mecanicamente (lixada).

## **Figura 3**

#### *2.2 Medidas de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica, EIS*

A evolução do comportamento eletroquímico, em solução de NaCl 0,1 mol/L foi acompanhada por EIS após 1 hora de estabilização do Eoc. As **Figuras 4, 5 e 6** apresentam os diagramas de EIS obtidos para o aço carbono revestido com o híbrido HB2 (48 horas de hidrólise) para os três diferentes tratamentos das superfícies estudadas.

Verifica-se que os híbridos obtidos com a superfície tratada mecanicamente (**Figura 4**) tendem a fornecer melhores respostas (maiores diâmetros dos arcos capacitivos) com relação a serem barreira física nas superfícies do aço carbono revestido com mono ou dupla camada. Assim também revelada pelos maiores valores do módulo de impedância na região de mais baixa frequência. Para o aço tratado com o desengraxante comercial (ver **Figura 5**),

os valores de impedância foram sempre menores quando comparados aos obtidos para o aço lixado.

Ao compararmos o número de camadas do revestimento híbrido (TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS) aplicado na superfície do aço carbono tratado (**Figuras 4, 5 e 6**) é possível verificar um aumento geral dos valores de impedância nas amostras obtidas com dupla camada (DC).

Ao compararmos os resultados do híbrido aplicado nas superfícies tratadas com solução alcalina (**Figura 6**) verifica-se que para ambas as camadas, os valores de módulo de impedância foram muito baixos revelando que esses filmes não podem ser considerados como filmes protetores. Para os cdp's recobertos, verifica-se a presença de duas constantes de tempo, uma em altas frequências, relativa ao filme híbrido e outra a frequências mais baixas, atribuída à interface aço/eletrólito. Isso revela que o tratamento alcalino torna a superfície do aço muito ativa e que o filme híbrido formado deve possuir defeitos e canais que colocam o eletrólito em pronto contato com o substrato.

**Figura 4**

**Figura 5**

**Figura 6**

#### *2.4 Levantamento das Curvas de Polarização Potenciodinâmicas ( $E_p$ )*

As curvas de polarização obtidas após os ensaios de impedância para os cdp's revestidos com o híbrido HB2 e submetidos a diferentes tratamentos de limpeza são mostrados na **Figura 7**. As curvas mostram que a polarização da reação anódica ocorre sempre que o filme híbrido esteja presente, quer como mono ou dupla camada. Os revestimentos produzidos com dupla camada e tratamento mecânico mostraram-se mais protetores para o aço carbono, em vista dos menores valores de densidade de corrente de corrosão (no potencial de circuito aberto) e também os valores obtidos em potenciais anódicos.

**Figura 7**

#### **Conclusões**

---

Estudos anteriores revelaram que o sistema híbrido empregado, *TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS*, hidrolisado por 48 h foi o mais promissor em termos de resistência à corrosão e estabilidade com o tempo e a resistência á corrosão foi aqui confirmada. A formulação empregada foi essencialmente baseada em água e o processo é ambientalmente amigável.

Os pré-tratamentos da superfície (lixada, desengraxada e tratada quimicamente) do aço carbono têm importância fundamental para favorecer o ancoramento e adesão do revestimento híbrido e melhorar a resistência à corrosão do aço revestido.

A técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) dos cdp's revestidos em solução de NaCl 0,1 mol/L possibilitou detectar a resistência à corrosão das camadas do híbrido, revelando que sua eficiência é verificada independentemente do tratamento superficial empregado. O tratamento mecânico por lixamento foi o mais eficaz, promovendo resistência à corrosão superior aos demais tratamentos empregados. As curvas de

polarização confirmam os resultados de EIS, mostrando menores valores de densidade de corrente dos cdp's revestidos e que sofreram o tratamento mecânico.

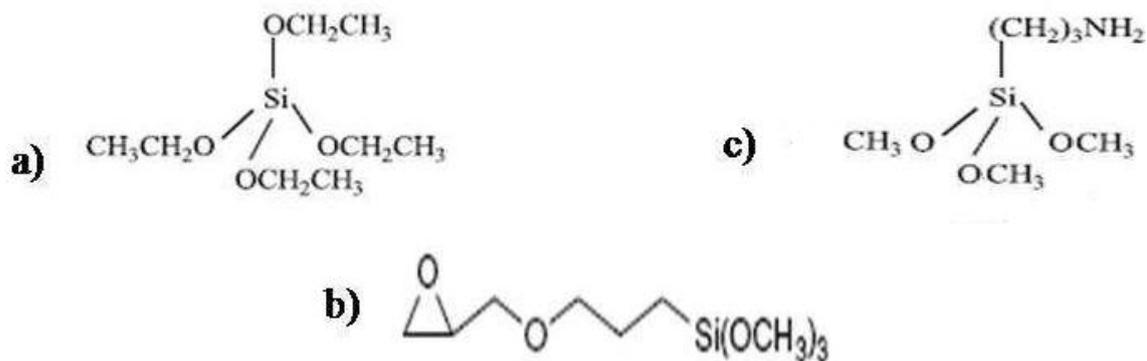
### Referências bibliográficas

1. JOSÉ, N. M., PRADO, L. A. S. A. Materiais Híbridos orgânicos-inorgânicos: preparação e algumas aplicações, *Química Nova*, v. 28, n. 2, p.281-288, 2005.
2. ESTEVES, A. C. C., TIMMONS, A. B., TRINDADE, T. Nanocompósitos de matriz polimérica: Estratégia de síntese de materiais híbridos, *Química Nova*, v.27, n.5, p.798-806, 2004.
3. CONDE, A., DURÁN, A., De DAMBORENEA, J.J. Polymeric sol-gel coatings as protective layers of aluminum alloys, *Progress in Organic Coating*, v.46, p.288-296, 2003.
4. OSBORNE, J. H. Observations on chromate conversion coatings from a sol-gel perspective, *Progress in Organic Coating*, v. 41, p. 280-286, 2001.
5. KHRAMOV, A. N.; BALBYSHEV, V. N. ;VOEVODIN, N. N. ; DONLEY, M. S. Nanostructured sol-gel derived conversion coatings in organic coatings, *Progress in Organic Coating*, v.47, p.207-213, 2003.
6. VREUGDENHIL, A. J.; BALBYSHEV, V.N.; DONLEY, M. S. Nanostructured silicon sol-gel surface treatments for Al 2024-T3. Protection, *Journal of Coatings Technology*, v.73, n 915, p. 35-43, 2001.
7. MARTINS, C. R.; SEGURA, P. ; AOKI, I. V. . Influence of sol-gel ageing in the protective properties oh hybrids coatings on carbon steel. In: XV International Sol-Gel Conference, 2009, Porto de Galinhas- Pernambuco. SOLGEL2009 Conference - Abstracts, 2009- PSG70. p. 193.

### Ilustrações e Tabelas

**Tabela 1-** Composição química das amostras de aço carbono (% em massa). Fonte: CSN (2006)

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Sn</b>	<b>Cu</b>
0,0026	0,1300	0,0750	0,0090	0,0070	0,0290	0,0120	0,0010	0,0110
<b>N</b>	<b>Nb</b>	<b>Ti</b>	<b>Ni</b>					
0,0033	0,0280	0,0390	0,0070					

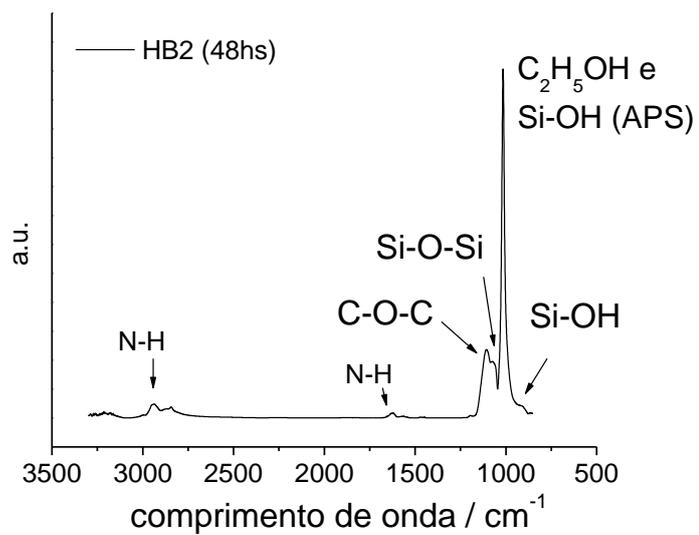


**Figura 1-** Estrutura molecular dos silanos e amina utilizados na produção do híbrido, sendo: (a) TEOS (tetraetoxissilano), (b) GPTMS ( $\gamma$ -glicidoxipropiltrimetoxissilano) e (c)  $\gamma$ -APS ( $\gamma$ -aminopropiltrimetoxissilano).

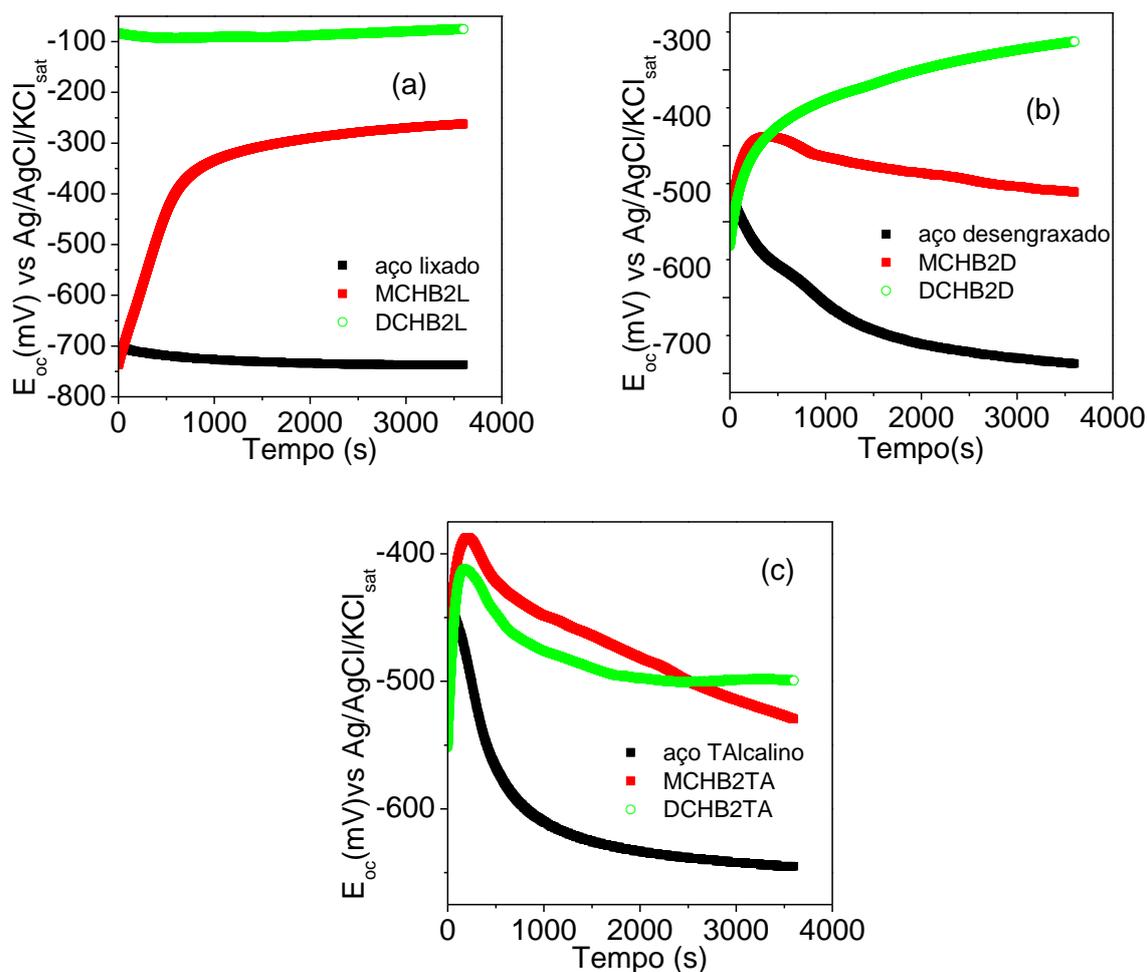
**Tabela 2-** Condições de aplicação do revestimento híbrido TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS.

Amostras	Tempo de hidrólise da solução (TEOS/GPTMS/ $\gamma$ -APS) - horas	Primeira imersão da amostra na solução Híbrida	Primeira Cura (“Pré-Cura”) (tempo/min)	Segunda Imersão da amostra na solução Híbrida	Segunda Cura (tempo/min)
MC HB2L	48	sim	60	não	-
DCHB2L	48	sim	15	sim	60
MCHB2D	48	sim	60	não	-
DCHB2D	48	sim	15	sim	60
MCHB2TA	48	sim	60	não	-
DCHB2TA	48	sim	15	sim	60

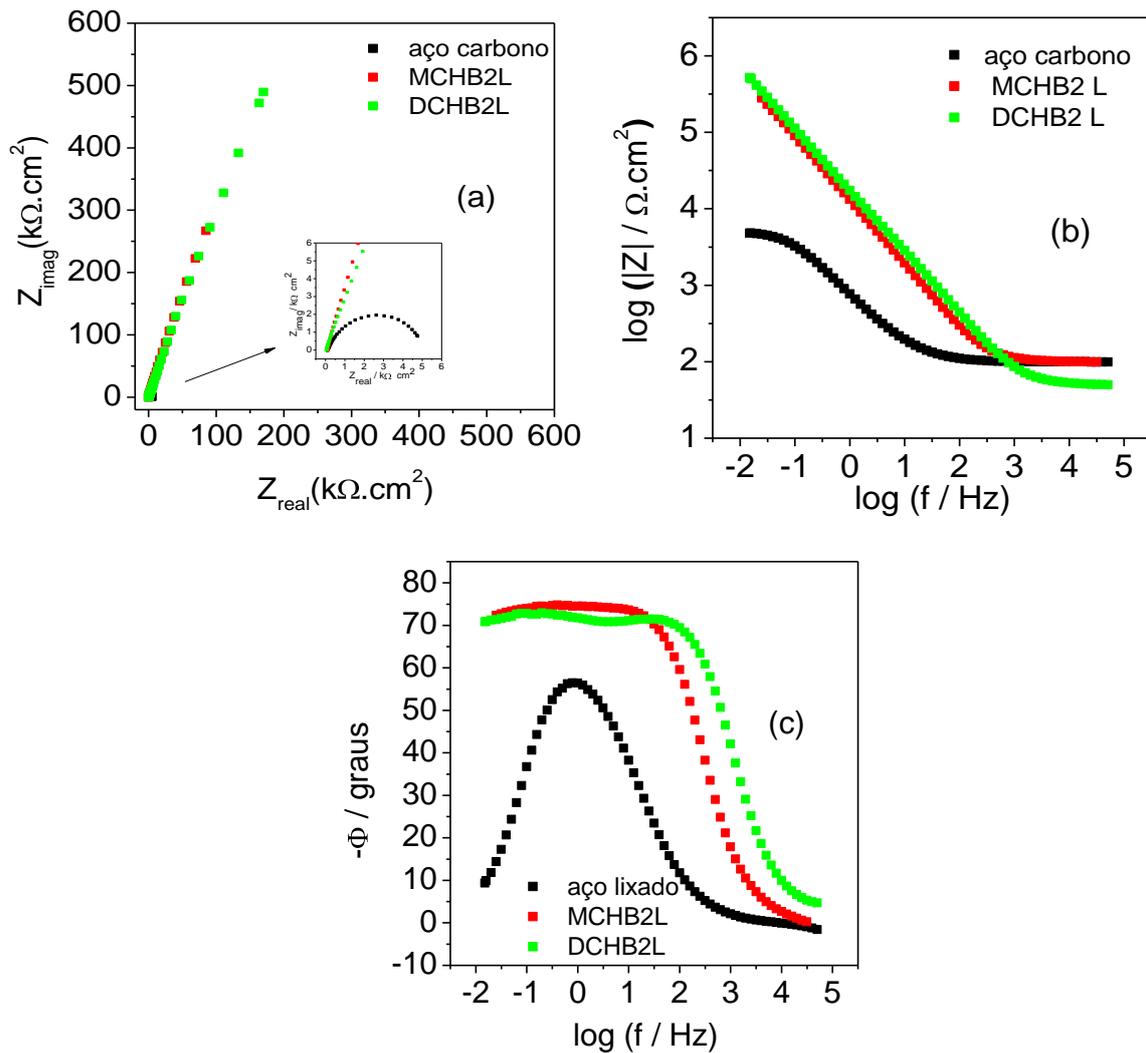
Obs: MC (monocamada) e DC (dupla camada); HB2 (TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS); L = lixado, D= desengraxado e TA = tratamento alcalino.



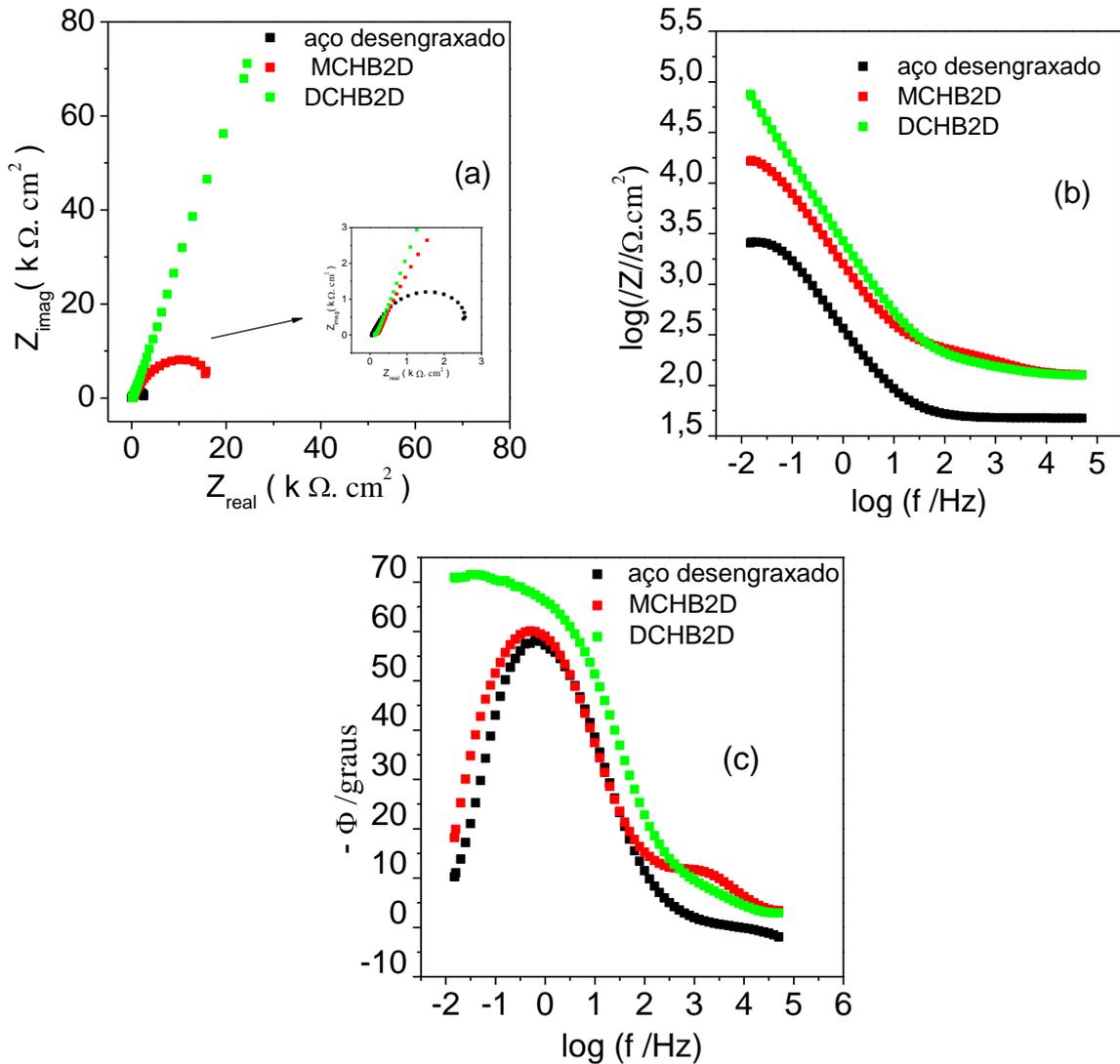
**Figura 2-** FTIR-ATR da solução híbrida TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS hidrolisada por 48 h.



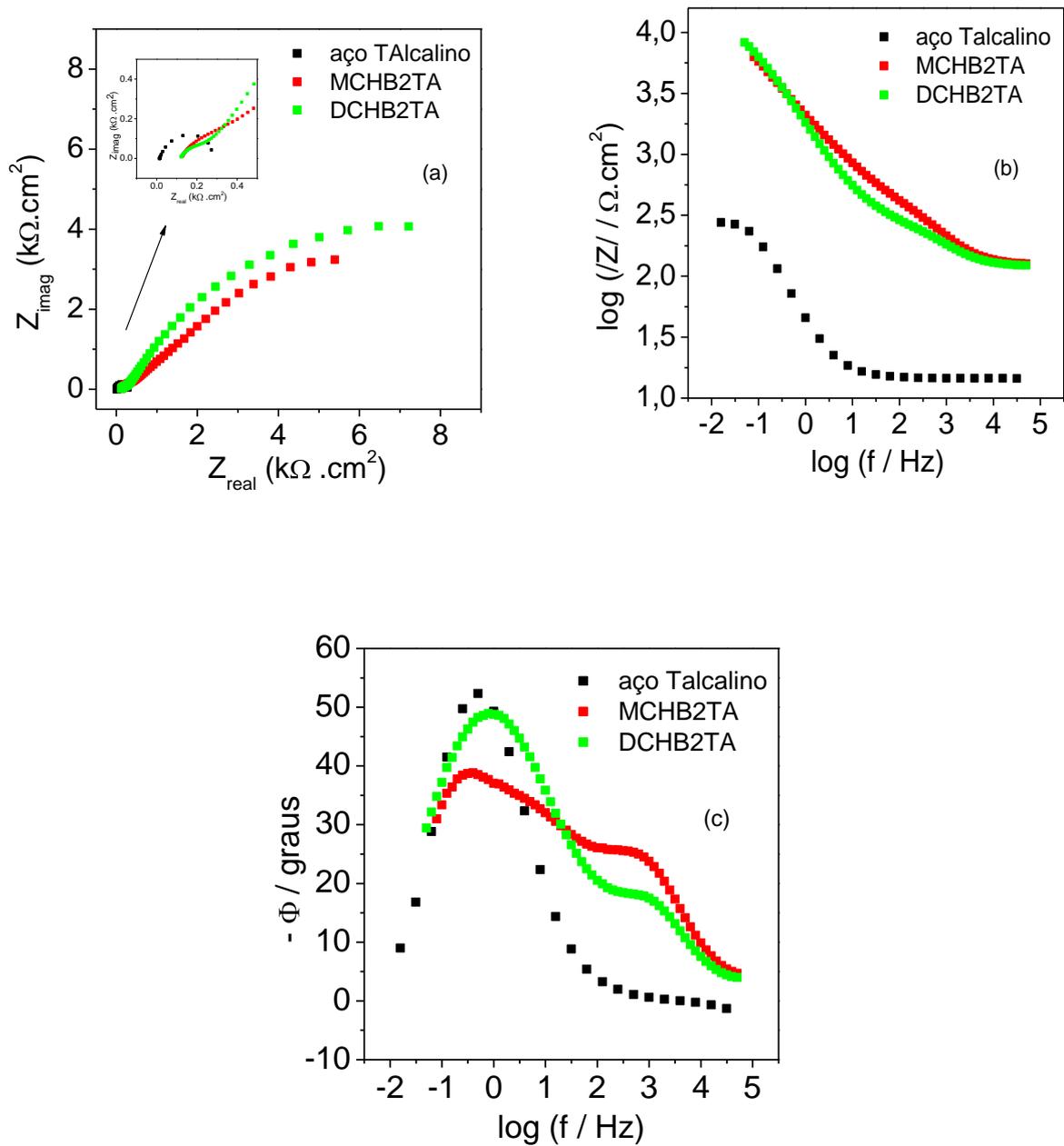
**Figura 3:** Curvas de Potencial de Circuito Aberto ( $E_{oc}$ ) em função do tempo de imersão em solução NaCl 0,1 mol/L para cdp's de aço carbono revestidos com híbrido TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS, e submetidos a diferentes tratamentos de limpeza superficiais: (a) tratamento mecânico (lixada), (b) tratamento com desengraxante comercial (Saloclean®), e (c) tratamento alcalino (NaOH 2,5 %).



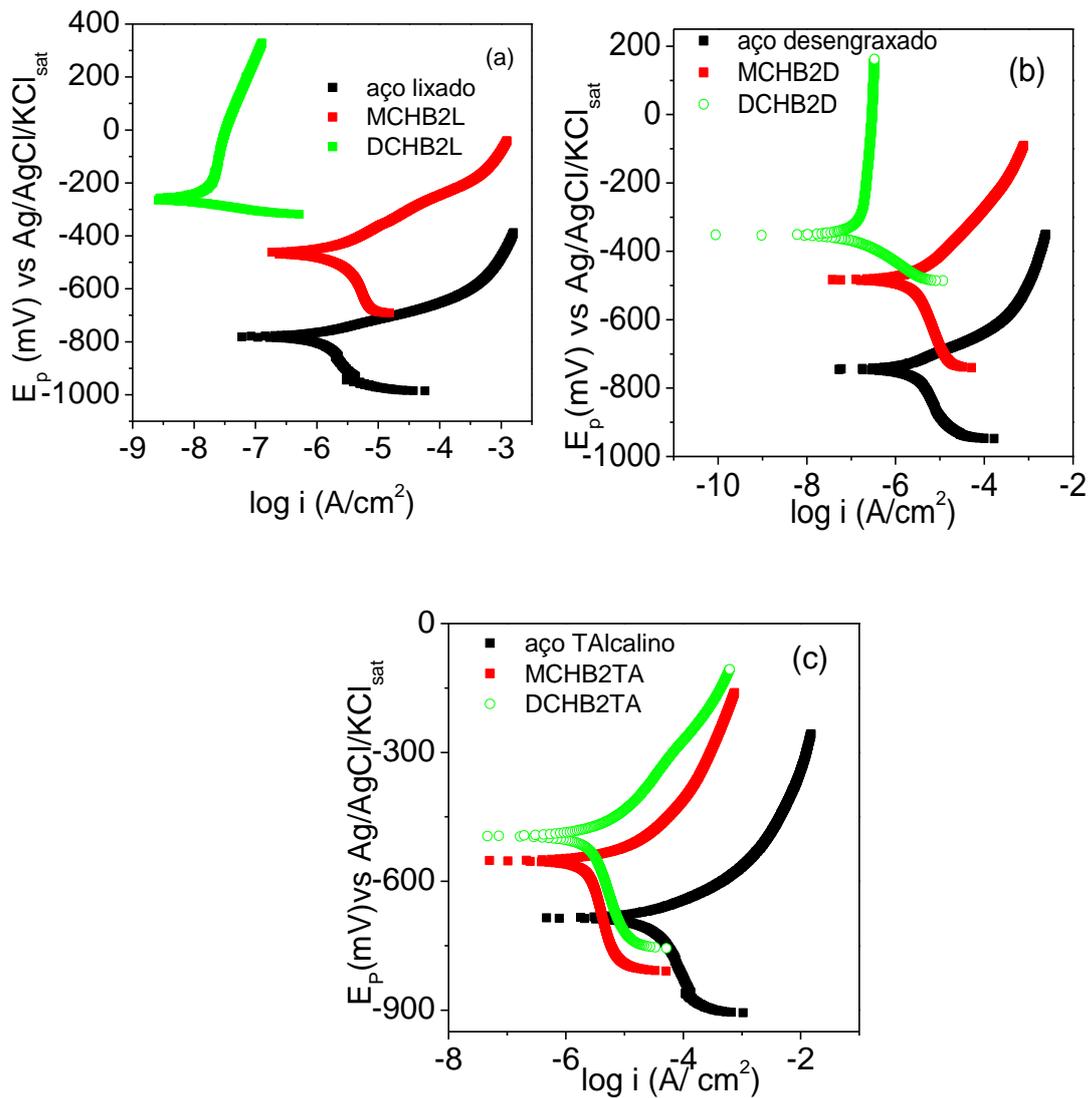
**Figura 4:** Diagramas de Nyquist (a) e Bode (b) e (c) para cdp's de aço carbono tratados mecanicamente (lixado) e revestidos com monocamada (MC) e duplacamadas (DC) do híbrido TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS em comparação com o aço carbono lixado e sem revestimento. Ensaios obtidos após 1 hora de imersão em solução NaCl 0,1 mol/L.



**Figura 5:** Diagramas de Nyquist (a) e Bode (b) e (c) para cdp's de aço carbono tratados com desengraxante comercial (Saloclean®) e revestidos com monocamada (MC) e duplacamadas (DC) do híbrido TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS em comparação com o aço carbono desengraxada e sem revestimento. Ensaio obtidos após 1 hora de imersão em solução NaCl 0,1 mol/L.



**Figura 6:** Diagramas de Nyquist (a) e Bode (b) e (c) para cdp's de aço carbono tratados com solução alcalina (NaOH 2,5 %) e revestidos revestidos com monocamada (MC) e duplacamadas (DC) do híbrido TEOS-GPTMS/g-APS em comparação com o aço carbono tratado quimicamente e sem revestimento. Ensaio obtidos após 1 hora de imersão em solução NaCl 0,1 mol/L.



**Figura 7:** Curvas de polarização potenciodinâmica em função do tempo de imersão em solução NaCl 0,1 mol/L para cdp's de aço carbono revestidos com híbrido TEOS-GPTMS/ $\gamma$ -APS, e submetidos a diferentes tratamentos de limpeza superficiais: (a) tratamento mecânico (lixada), (b) tratamento com desengraxante comercial (Saloclean®), e (c) tratamento alcalino (NaOH 2,5 %).