

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

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

Desempenho de esquemas de pintura em câmara de condensação de umidade, em comparação a condições de imersão e de atmosfera úmida

Yuri H. P. Café^a, Tatiane S. Moura^b, Cristina C. Amorim^c, Marcos M. Sá^d, Alberto P. Ordine^e, Fernando L. Fragata^f

Abstract

Currently, there are different sorts of chambers designed to corrosion accelerated assays. Such equipments simulate many aggressiveness conditions, allowing the preparation of useful experiments to understand the protective coating behavior against weathering agents. In anti-corrosive coatings researches done previously by Cepel, it is normal the execution of distilled or salt water immersion assays at 40 °C, to study comparatively coatings performances. However, few assays were executed to compare the aggressiveness behavior among different sorts of chambers. Therefore, in this article, the moisture condensation effect on coated specimens with water-based paints was studied and compared with these coatings' performance when submitted to distilled water immersion and 100 % humidity chamber assays. All of these experiments were performed at 40 °C. It was observed that the humidity condensation atmosphere was more aggressive to some coatings than the humidity chamber atmosphere. There was good correlation among immersion assays results and the humidity condensation chamber ones. The exposition inside the humidity chamber was less aggressive, considering the studied coatings.

Keywords: humidity chamber, immersion chamber, humidity condensation chamber, blistering.

Resumo

Atualmente, existem diferentes tipos de câmaras utilizadas na realização de ensaios acelerados de corrosão. Tais equipamentos simulam variadas condições de agressividade, constituindo ensaios úteis para entender o comportamento do revestimento protetor em relação aos agentes do intemperismo. Nos trabalhos de pesquisa na área de revestimentos anticorrosivos desenvolvidos no Cepel, é comum a realização de ensaios de imersão em água destilada e em água salgada, ambos a 40 °C, para avaliar, comparativamente, desempenhos de revestimentos, porém poucos estudos foram realizados comparando o grau de agressividade dos diferentes tipos de câmaras. Assim, neste trabalho, estudou-se o efeito da condensação de umidade sobre corpos de prova revestidos com esquemas de pintura de base aquosa, comparando-se o desempenho destes esquemas com aqueles observados em ensaio de imersão em água destilada e em ensaio em câmara com 100 % de umidade relativa. Todos os ensaios foram conduzidos a 40 °C. Verificou-se que a atmosfera da

^aGraduando em Química – Cepel – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

^bGraduanda em Química – Cepel – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

^cM. Sc. – Química Industrial – Faculdades Católicas (PUC-Rio)

^dTécnico em Química – Cepel – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

^eD. Sc. – Engenheiro Químico – Cepel – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

^fEngenheiro Químico

câmara de condensação de umidade foi mais agressiva a certos revestimentos que a atmosfera da câmara úmida. Houve uma boa correlação entre os resultados do ensaio de imersão com aqueles da câmara de condensação de umidade. A exposição em câmara úmida apresentou baixa agressividade, considerando os revestimentos avaliados.

Palavras-chave: câmara úmida, câmara de imersão, câmara de condensação de umidade, desempenho, empolamento.

Introdução

Entre os ensaios acelerados de corrosão tradicionalmente utilizados em estudos de desempenho de revestimentos anticorrosivos, citam-se aqueles em câmaras de exposição a 100 % de umidade relativa e aqueles em condição de imersão total. Em ambos, é possível classificar e comparar o desempenho de esquemas de pintura empregados em diferentes condições de agressividade.

Nestes tipos de ensaio, em corpos de prova revestidos e sem falhas no revestimento, a avaliação é tipicamente realizada observando-se o aparecimento de empolamento no esquema de pintura ao longo do ensaio. A água é considerada um meio corrosivo (1) e, devido à porosidade dos revestimentos orgânicos, esta atravessa a camada de pintura, acelerando o processo de empolamento. Diante deste fenômeno, dois fatores são essenciais para a proteção da superfície metálica em ambientes úmidos ou de imersão em água. O primeiro é a adequada preparação da superfície antes da pintura, e o outro é o grau de permeabilidade do revestimento orgânico à água.

O laboratório de corrosão do Cepel realiza em seus estudos tanto o ensaio em câmara úmida (100 % de umidade relativa) quanto o ensaio em condição de imersão total. Este último, por sua vez, utilizando água destilada e solução de NaCl 3,5 %, a temperatura ambiente ou a 40 °C, baseando-se nas normas ASTM D 2247 (2) e ASTM D 870 (3), respectivamente. Foi observado, em vários estudos anteriores, que a condição de imersão a 40 °C apresenta uma maior formação de bolhas na região de interface do ar/água, o que foi motivador do presente estudo. Neste sentido, incluiu-se também a câmara de condensação de umidade a 40 °C, conforme norma ASTM D 4585 (4), para comparação com os dois ensaios mencionados.

Assim, esquemas de pintura convencionais e de base aquosa foram submetidos a ensaio de imersão, exposição em ambiente com 100 % de umidade relativa e ensaio de condensação de umidade na superfície revestida, durante 4200 h. Estes ensaios tiveram como objetivo comparar o grau de agressividade dos métodos e a eficiência dos esquemas de pintura na proteção contra a umidade.

Metodologia

A seguir será feita uma descrição da preparação dos corpos de prova e dos ensaios realizados.

Descrição dos Esquemas de Pintura

Para a realização deste estudo comparativo, diversos esquemas de pintura foram aplicados. Na Tabela 1, apresentam-se as identificações utilizadas e seus respectivos esquemas de pintura.

Tabela 1 - Descrição dos esquemas de pintura utilizados no estudo

Esquema de Pintura (*)	Tinta de Fundo	Tinta Intermediária	Tinta de Acabamento
R1	Epóxi rica em zinco	Epóxi de alta espessura curada com poliamida	Poliuretano acrílico
R2	Epóxi pigmentada com alumínio	Epóxi poliamida de alta espessura	Poliuretano acrílico
R3	Epóxi-fosfato de zinco de alta espessura	Epóxi poliamida de alta espessura	Poliuretano acrílico
HST1	Epóxi com fosfato de zinco, à base de solventes orgânicos	Epóxi curada com poliamina	Poliuretano alifático bicomponente
WA1	Epóxi rica em zinco tricomponente	Epóxi	Acrílica
WA2	Epóxi Novolac	Epóxi Novolac	Acrílica
WD1	Epóxi	Epóxi	Poliuretano acrílico bicomponente
WS1	Epóxi	Epóxi	Poliuretano acrílico/poliéster de base aquosa
WS2	Epóxi rica em zinco	Epóxi pigmentada com óxido de ferro micáceo	Poliuretano acrílico bicomponente
WW1	Epóxi curada com poliamina	Epóxi curada com poliamina	Poliuretano acrílico bicomponente

(*) Nos esquemas de pintura identificados com a letra inicial “W”, foram utilizadas tintas de base aquosa, enquanto que naqueles com a letra inicial “R”, tintas à base de solventes orgânicos, tomadas como referências. “HST1” trata-se de um esquema híbrido.

Preparação dos corpos de Prova

Os corpos de prova foram confeccionados a partir de chapas de aço-carbono com carepa de laminação intacta, correspondente ao grau de intemperismo A da norma ISO 8501-1 (5). As dimensões destas chapas eram de 150 mm x 100 mm e espessura de 6,4 mm.

A preparação de superfície constou de desengorduramento por meio de solventes orgânicos, seguido de limpeza por meio de jateamento abrasivo. Neste processo de limpeza o abrasivo utilizado foi granalha de aço angular (G-50) e o grau de limpeza obtido, de acordo com a classificação da norma ISO 8501-1 (5), foi o Sa3 (metal branco). O perfil de rugosidade da superfície ficou situado em torno de 50 μm .

Após a preparação da superfície, procedeu-se a aplicação das tintas dos esquemas de pintura, a qual foi feita seguindo-se as recomendações de seus respectivos fabricantes. Antes do início dos ensaios de avaliação dos esquemas de pintura, os corpos de prova permaneceram, pelo menos, 15 dias nas condições de $(24 \pm 1) ^\circ\text{C}$ de temperatura e $(60 \pm 5) \%$ de umidade relativa.

Ensaio Realizados

Resistência à imersão em água destilada, a 40 °C

Este ensaio foi realizado com base na norma ASTM D870 (3), imergindo-se, aproximadamente, 90 % da área total dos corpos de prova em água destilada, na temperatura de (40 ± 2) °C, controlada por meio de um termostato. A duração total do ensaio foi de 4200 horas. A Figura 1 mostra as cubas utilizadas para o ensaio descrito.



Figura 1 – Cubas utilizadas no ensaio de imersão.

Exposição em câmara de umidade (100%, 40 °C)

Este ensaio foi realizado com base na norma ASTM D 2247 (2), nas condições de (99 ± 1) % de umidade relativa e temperatura de (40 ± 2) °C. A duração total do ensaio foi de 4200 horas e a Figura 2 mostra o equipamento utilizado.



Figura 2 – Câmara de umidade utilizada no ensaio.

Exposição em câmara de condensação de umidade (100%, 40 °C)

Este ensaio foi executado baseando-se na norma ASTM D 4585 (4), nas condições de (99 ± 1) % de umidade relativa e (40 ± 2) °C de temperatura. A duração total do ensaio foi de 4200 horas e a Figura 3 mostra o equipamento utilizado.



Figura 3 – Câmara de condensação de umidade.

Ensaio de Avaliação de Desempenho

Avaliação de empolamento (“Blistering”)

O empolamento foi avaliado com base na norma ISO 4628 (6). De acordo com a referida norma, a avaliação do empolamento foi realizada considerando-se o tamanho e a frequência ou intensidade das bolhas presentes no revestimento. Com relação à frequência, esta pode variar desde o grau 0 (zero), que indica a ausência de bolhas, até o grau 5 (cinco), que corresponde ao grau mais intenso. Quanto ao tamanho, este pode variar desde S2 (diâmetro menor) até S5 (diâmetro maior). Em alguns casos adotou-se a classificação S1 para indicar um tamanho de bolhas inferior a S2. A seguir, apresentam-se alguns exemplos de avaliação de empolamento.

- 3(S2): frequência 3 e tamanho de bolhas 2.
- 5(S3): frequência 5 e tamanho de bolhas 3.

Resultados

Com base nas metodologias adotadas, serão apresentados os resultados obtidos para cada ensaio realizado.

Resistência à Imersão em Água Destilada, a 40 °C

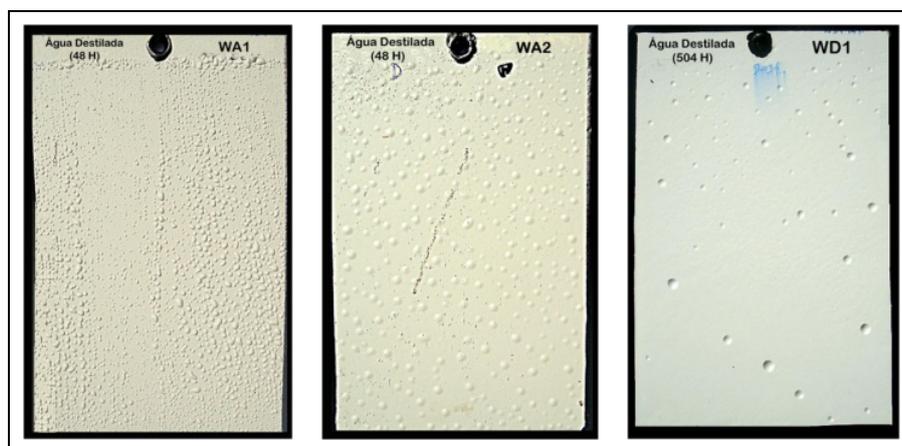
Ao longo das 4200 h de ensaio, diversas inspeções foram realizadas nos corpos de prova, a fim de acompanhar o surgimento e a evolução de eventuais bolhas formadas. Na Tabela 2, encontram-se as informações obtidas durante este intervalo de tempo.

Tabela 2 – Resultados do Ensaio de Imersão em Água Destilada, a 40 °C

Esquema de Pintura	Inspeção visual do revestimento após:
R1	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
R2	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
R3	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
HST1	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
WA1	• 48 h (2 dias): formação de bolhas 4 (S3). Ensaio encerrado.
WA2	• 48 h (2 dias): formação de bolhas 4 (S4). Ensaio encerrado.
WD1	• 504 h (21 dias): formação de bolhas 2 (S5). Ensaio encerrado.
WS1	• 4200 h (175 dias): não foram observadas alterações no revestimento com relação à presença de corrosão, fendimento e empolamento.
WS2	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento em dois corpos de prova (réplicas). Somente um terceiro corpo-de-prova apresentou empolamento na interface ar/água com 2448 h (Figura 4).
WW1	• 720 h (30 dias): formação de bolhas 3/4 (S2). Ensaio encerrado.

(*) Avaliações de corrosão, fendimento e empolamento com base na norma ISO 4628 (6)

O aspecto dos corpos de prova que apresentaram empolamento é mostrado na Figura 4.



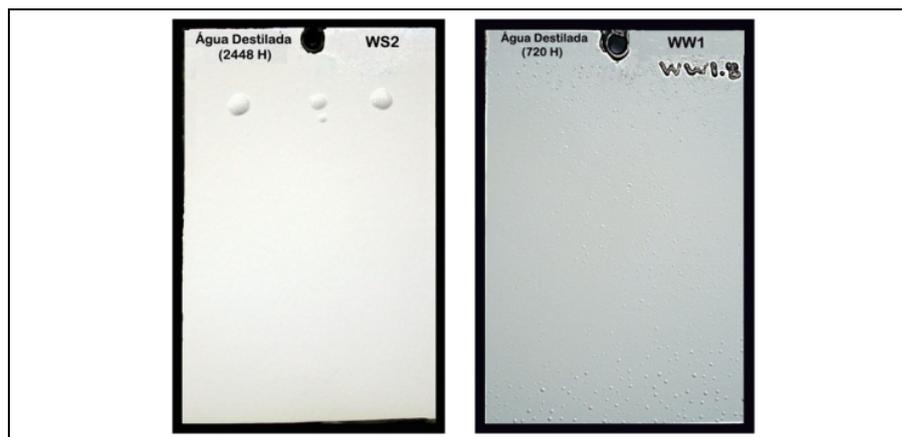


Figura 4 – Aspecto dos corpos de prova após ensaio de imersão em água destilada, a 40 °C. Exposição em Câmara de Umidade (100 % de UR, 40 °C)

Periodicamente, inspeções foram realizadas nos corpos de prova ensaiados, para monitorar o aparecimento e evolução do empolamento nos revestimentos. A Tabela 3 mostra os resultados da inspeção visual, obtidos após o término do ensaio.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de exposição em câmara de umidade, a 40 °C

Esquema de Pintura	Inspeção visual do revestimento após (*):
R1	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
R2	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
R3	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
HST1	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
WA1	• 1896 h (79 dias): formação de bolhas 5 (S3). Ensaio encerrado.
WA2	• 1896 h (79 dias): formação de bolhas 3 (S2). Ensaio encerrado.
WD1	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
WS1	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
WS2	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
WW1	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.

(*) Avaliações de corrosão, fendimento e empolamento com base na norma ISO 4628 (6)

Exposição em Câmara de Condensação de Umidade (100 % de UR, 40 °C)

Assim como nos ensaios anteriores, os corpos de prova submetidos à condensação de umidade também foram inspecionados periodicamente, para acompanhar o surgimento e desenvolvimento do empolamento nas películas de tinta. Na Tabela 4 mostram-se os resultados da inspeção visual, obtidos após o término do ensaio.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de exposição em câmara de condensação de umidade, a 40 °C

Esquema de Pintura	Inspeção visual do revestimento após ^(*) :
R1	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
R2	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
R3	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
HST1	• 2904 h (121 dias): formação de bolhas 3 (S2). Ensaio encerrado.
WA1	• 24 h (1 dia): formação de bolhas 3(S3). Ensaio encerrado.
WA2	• 24 h (1 dia): formação de bolhas 3/4 (S2/3). Ensaio encerrado.

(*) Avaliações de corrosão, fendimento e empolamento com base na norma ISO 4628 (6)

Tabela 4 - continuação

Esquema de Pintura	Inspeção visual do revestimento após ^(*) :
WD1	• 528 h (22 dias): formação de bolhas 5 (S3/4). Ensaio encerrado.
WS1	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
WS2	• 4200 h (175 dias): não houve alteração, quanto à corrosão e empolamento.
WW1	• 720 h (30 dias): formação de bolhas 4 (S4). Ensaio encerrado.

(*) Avaliações de corrosão, fendimento e empolamento com base na norma ISO 4628 (6)

O aspecto dos corpos de prova que apresentaram empolamento é mostrado na Figura 5.



Figura 5 – Aspecto dos corpos de prova após ensaio de exposição em câmara de condensação de umidade (100% de UR, 40°C).

Discussão

A seguir, apresenta-se a discussão com base nos resultados mostrados no item 3.

Os esquemas de pintura R1, R2 e R3 não apresentaram empolamento quando submetidos a ensaio nestas câmaras, resultado esperado desde o princípio, pois são considerados esquemas de referência superior.

O esquema HST1 não sofreu empolamento quando imerso em água destilada ou exposto à atmosfera úmida, porém, quando submetido à condensação de umidade, apresentou bolhas 3 (S2) após 4200 h, indicando que este último ambiente foi mais agressivo ao revestimento do que os demais.

O ensaio de imersão e o ambiente gerado pela câmara de condensação de umidade foram igualmente agressivos ao esquema WA1, pois em todos os casos houve formação de bolhas 4 (S3), em média, como apresentado. Na câmara de umidade, empolamento 5 (S3) surgiu somente após 1896 h.

O esquema WA2 apresentou empolamento nos três ensaios. No ensaio de imersão, foi observado o aparecimento de bolhas 4 (S4) após 48 h, enquanto que, em câmara de condensação de umidade, houve empolamento do tipo 3/4 (S2/3), decorridas 24 h de ensaio. Já no ensaio de exposição à atmosfera 100 % úmida, o empolamento foi após 1896 h, tipo 3 (S2).

Quanto ao esquema de pintura WD1, foi possível observar uma maior diferença de desempenho. No ensaio de imersão e na câmara de condensação de umidade notou-se um grau de agressividade semelhante, uma vez que foram formadas bolhas de tamanho (S5) e (S3/4), após um período de tempo equivalente. O ensaio em atmosfera 100 % úmida não gerou empolamento.

Em todos os ensaios realizados, não houve formação de bolhas nos corpos de prova dos esquemas WS1 e WS2.

No ensaio de imersão observou-se um empolamento mais severo no esquema WW1 do que aquele formado na câmara de condensação de umidade, durante o mesmo intervalo de tempo. O ensaio em câmara de 100 % de umidade foi o menos agressivo, pois não provocou formação de bolhas durante as 4200 h de ensaio.

Além da ocorrência de empolamento e sua classificação, os resultados podem ser analisados sob o ponto de vista do tempo de ensaio decorrido até o aparecimento de empolamento, como mostram as Figuras 6 e 7.

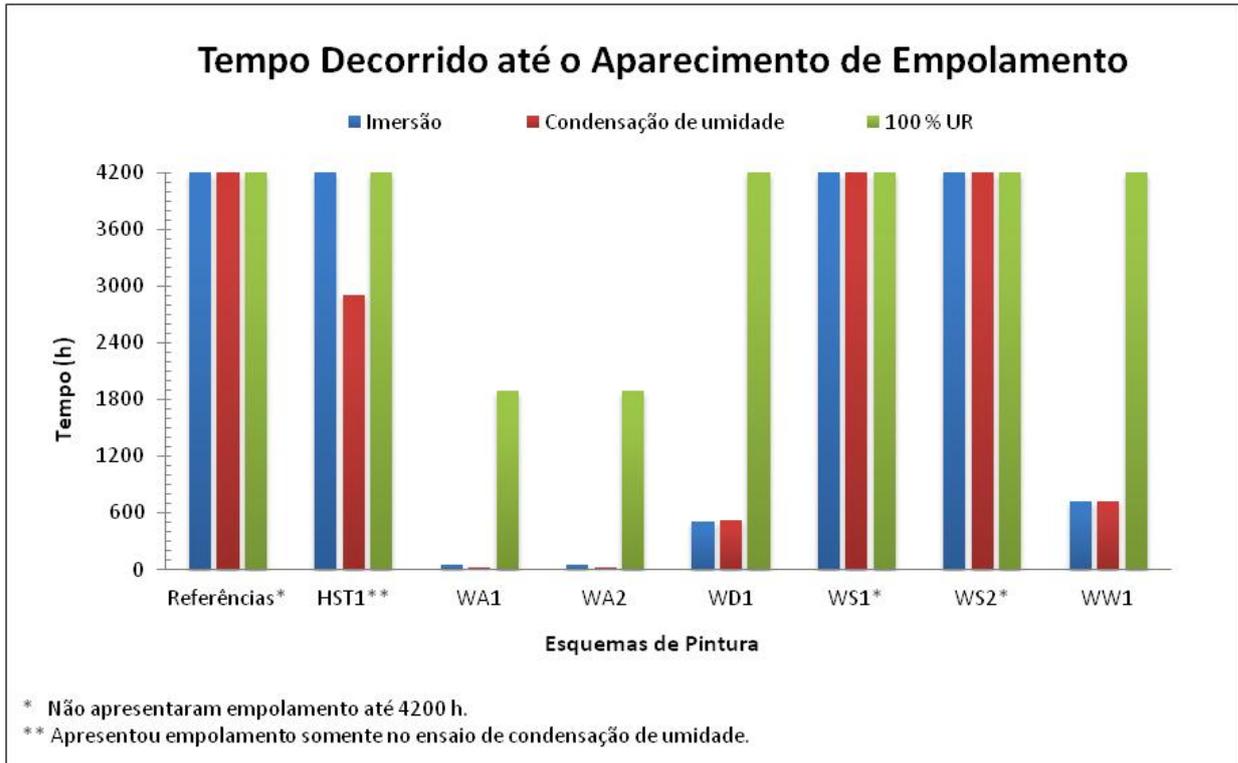


Figura 6 – Tempo decorrido em diferentes ensaios acelerados, até o aparecimento de empolamento.

Pode-se observar na Figura 6 que, para HST1, WA1, WA2, WD1 e WW1, o tempo decorrido até o empolamento variou de acordo com o ambiente gerado pelo ensaio. Nos ensaios de imersão e de condensação de umidade, os tempos foram semelhantes entre si, entretanto muito menores que no ensaio de exposição a 100 % de umidade. Os esquemas WS1 e WS2 apresentaram comportamento equivalente em todos os ensaios.

Na câmara de umidade, não houve empolamento nos esquemas até 4200 h, com exceção de WA1 e WA2, cujas bolhas surgiram após 1896 h. Portanto, comparando este ensaio com os demais, observa-se sua menor agressividade na diferenciação de desempenho entre os esquemas de pintura. Os tempos decorridos para o aparecimento de bolhas, nos ensaios de imersão e de condensação de umidade, dos esquemas WA1, WA2, WD1 e WW1 são detalhados na Figura 7.

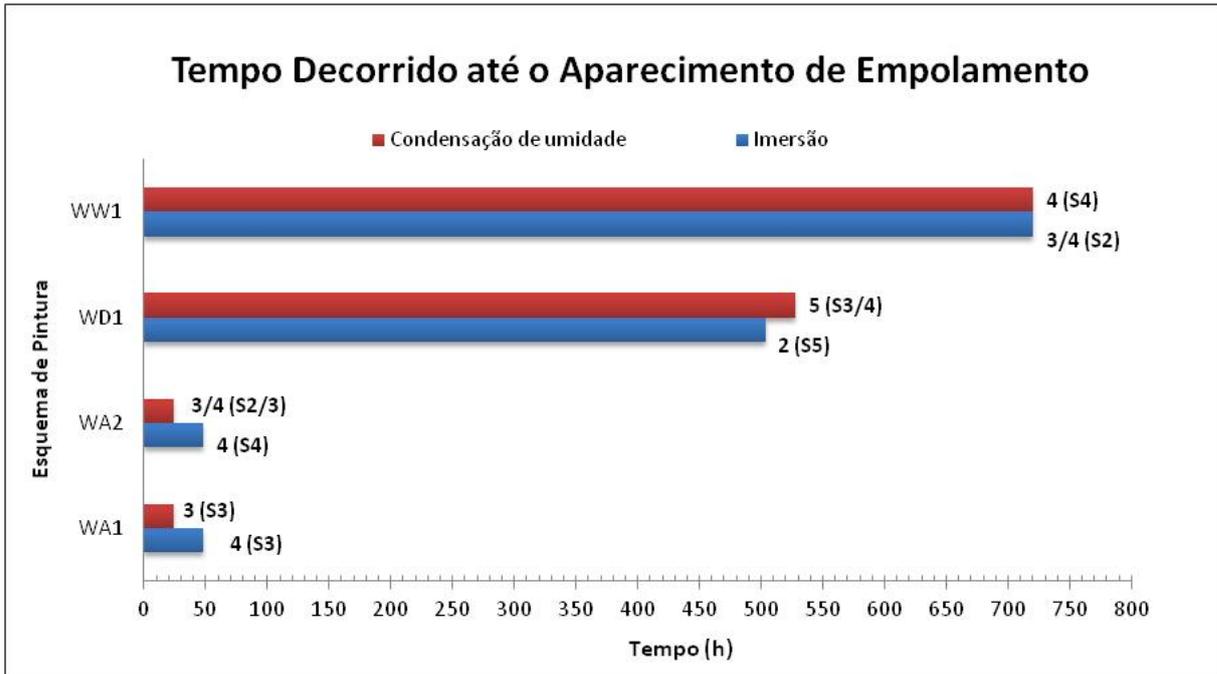


Figura 7 – Tempo decorrido nos diferentes ensaios acelerados, até o aparecimento de empolamento.

De acordo com a Figura 7, os resultados dos ensaios de imersão e de condensação de umidade mostraram agressividade semelhante, para os esquemas indicados. Também se observa que, com exceção de WW1, todos os esquemas apresentaram tamanho e frequência de bolhas equivalentes.

Conclusões

De acordo com os resultados obtidos, é possível concluir que:

- Não houve grande variação no grau de empolamento e no tempo de ensaio para um mesmo esquema de pintura nos ensaios de imersão e de condensação de umidade, o que mostra que estes possuem grau de agressividade semelhante.
- O ensaio de exposição a 100 % de umidade relativa mostrou-se menos agressivo, em comparação com os demais.
- Estes ensaios não devem ser tomados como parâmetro único de desempenho de revestimentos por pintura, uma vez que outras variáveis podem influenciar na formação de empolamento, relacionadas à formulação da tinta em termos de tipos de resina utilizados, grau de porosidade da película formada, entre outras.

Referências

- (1) GENTIL, V. Corrosão, Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- (2) ASTM D 2247 – Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings in 100% Relative Humidity.
- (3) ASTM D 870 – Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings Using Water Immersion.

- (4) ASTM D 4585 – Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings Using Controlled Condensation.
- (5) ISO 8501-1 – Preparation of Steel Substrates Before Application of Paints and Related Products - Visual Assessment of Surface Cleanliness - Part 1: Rust Grades and Preparation Grades of Uncoated Steel Substrates and of Steel Substrates After Overall Removal of Previous Coatings.
- (6) ISO 4628 – Paints and varnishes - Evaluation of degradation of coatings - Designation of Quantity and Size of Defects, and of Intensity of Uniform Changes in Appearance.