



## **ESTUDO COMPARATIVO DA EFICÁCIA DOS SILANOS APLICADOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM CORROSÃO DE ARMADURAS SUJEITO AO ATAQUE POR ÍONS CLORETO.**

**Kalline da Silva Almeida (1); Manuela Queiroz Oliveira (2); Eliana Barreto Monteiro (3); Béda Barkokébas Jr. (3)**

(1) Graduando em Engenharia Civil – Escola Politécnica de Pernambuco - Universidade de Pernambuco, Brasil – e-mail: kalinealmeida@yahoo.com.br

(2) Graduando em Engenharia Civil – Escola Politécnica de Pernambuco - Universidade de Pernambuco, Brasil – e-mail: manuelaqueiroz82@yahoo.com.br

(3) Professora, Doutora em Engenharia Civil – Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco, Brasil

### **RESUMO**

**Proposta:** Em estudos realizados sobre a incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, observou-se que a corrosão de armaduras por íons cloretos é o causador da maior parte dos danos nas edificações. **Método de pesquisa/Abordagens:** Neste trabalho, procurou-se estudar a eficiência de três marcas de silanos inibidores de corrosão em corpos-de-prova de concreto armado contaminados por cloretos, com diferentes relações água/cimento. Realizaram-se ensaios acelerados de corrosão, de modo a avaliar de forma comparativa o desempenho destes silanos. **Resultados:** O procedimento adotado possibilitou analisar a capacidade de proteção dos silanos inibidores de corrosão, quanto ao ataque ocasionado pela penetração dos íons cloreto. Observou-se que a redução da relação água/cimento melhora o desempenho dos três tipos de silanos utilizados. Tal fato indica a influência da porosidade nos resultados. Diante dos resultados, ficaram claras as vantagens do uso de silanos inibidores em relação à corrosão de armaduras por íons cloretos quando se utiliza concretos com baixas relações água/cimento. **Contribuições/Originalidade:** obtenção de melhor caracterização de produtos a base de silanos inibidores de corrosão, através da avaliação comparativa destes materiais, obtendo assim, subsídios para adequada utilização destes.

**Palavras-chave:** corrosão, cloretos, silanos.

### **ABSTRACT**

**Propose:** In studies carried through on the incidence of pathological manifestations in structures of reinforced concrete it was observed that the reinforcement corrosion for ions chlorides is the causer of the biggest part of the damages in the constructions. **Methods:** In this work, it was looked to study the efficiency of three marks of inhibiting silanos of corrosion in test specimen contaminated by chlorides, with different water/cement ratios. Accelerated tests of corrosion had been become fulfilled, in order to evaluate of comparative form the performance of silanos. **Findings:** The adopted procedure made possible to analyze the capacity of protection of the inhibiting silanos of corrosion, how much to the attack caused for the penetration of ions chloride. . It was observed that the reduction of the water/cement ratio improves the performance of the three types of used silanos. Such fact indicates the influence of the porosity in the results. Ahead of the results, the advantages of the use of inhibiting silanos in relation to the corrosion of armors for ions had been clear chlorides when if it uses concrete with low water/cement ratios. **Originality/value:** attainment of better characterization of products the base of inhibiting silanos of corrosion, through the comparative evaluation of these materials, thus getting, subsidies for adjusted use of these.

**Keywords:** corrosion, chlorides, silanos.

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma costa marítima superior a 7.400 Km de extensão, região onde se concentra a maior parte das metrópoles e da população, conseqüentemente há um grande número de obras de concreto armado sujeitas à ação dos agentes agressivos provenientes da névoa salina, os Íons Cloreto. Andrade (1997) pesquisou a incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto no estado de Pernambuco, chegando à conclusão que a corrosão das armaduras é o causador da maior parte dos danos nas estruturas de concreto, sendo responsável por aproximadamente 62 % das manifestações patológicas registradas nas edificações.

A vida útil das estruturas de concreto armado sofre uma diminuição significativa devido à corrosão das armaduras, por se tratar de um mecanismo de deterioração que compromete a durabilidade, trazendo conseqüências negativas para o seu funcionamento, sua estabilidade e estética.

Devido à elevada alcalinidade do concreto, que possui um pH acima de 12.6, as armaduras são originalmente passivas. Nestas condições as armaduras mantêm-se protegidas, não desenvolvendo a corrosão. Porém esta situação de equilíbrio pode ser alterada, como conseqüência da penetração dos cloretos. Quando esta situação de equilíbrio deixa de existir ocorre o fenômeno de despassivação da armadura.

A despassivação determina o fim do período de iniciação da corrosão, que é o período no qual as substâncias agressivas penetram avançando progressivamente até a armadura (TUUTTI, 1982). Helene (1993) coloca que a duração da fase de iniciação deve corresponder à estimativa da vida útil de projeto da estrutura quanto à corrosão das armaduras. Esta despassivação pode ocorrer devido à presença de cloretos no concreto. Uma vez despassivada, dá-se início a fase de propagação, e já se observam às manifestações típicas do fenômeno da corrosão.

A relação água/cimento é um dos principais fatores que limitam a penetração de cloretos devido à influência na porosidade, ou seja, na forma, no volume e na distribuição do tamanho de poros. Quanto menor a relação água/cimento menor o ingresso de substâncias agressivas.

Visando o aumento da durabilidade e conseqüentemente da vida útil das estruturas de concreto armado, cada vez mais se tem empregado várias técnicas para proteger e reparar as estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão. Entre estas técnicas que vem sendo utilizadas, destacam-se as diferentes pinturas à base de silanos inibidores de corrosão.

Os silanos são substâncias hidrofugantes com moléculas extremamente pequenas, por este motivo possuem capacidade e compatibilidade para penetrar e molhar fácil o concreto, ao mesmo tempo em que vai ocorrendo ligações de interligação com o substrato e com a própria camada passivante da armadura.

Um dos objetivos da utilização dos silanos é garantir a impermeabilidade do concreto. Os silanos atuam penetrando nos poros e capilares de modo a formar uma fina película protetora, hidrófuga e incolor.

Considerando a gama de produtos e sistemas para prevenção do reparo de estruturas de concreto, são necessários estudos para contribuir para o conhecimento dos mecanismos de funcionamento dos diferentes silanos inibidores de corrosão analisados, que possam fundamentar em quais condições poderiam ser aplicadas, produzindo uma qualidade satisfatória nas estruturas de concreto armado. Visto que da maioria dos silanos inibidores de corrosão não são conhecidos o seu real comportamento e sua eficácia, são necessários testes de laboratório que comprovem sua eficiência. Ou seja, o conhecimento da viabilidade técnica e econômica destes sistemas, não apenas as informações divulgadas pelos fabricantes, obtendo subsídios para correta avaliação da adequação destes às mais diversas situações de campo.

Este presente trabalho tem o objetivo de avaliar a eficiência dos silanos inibidores de corrosão em corpos-de-prova de concreto armado contaminados por cloretos, moldados em laboratório.

Diante dessa diversidade de produtos e sistemas para prevenção do reparo de estruturas de concreto, através dos resultados deste trabalho espera-se contribuir para o conhecimento dos mecanismos de funcionamento dos diferentes silanos analisados, permitindo o conhecimento do seu comportamento e sua real eficácia.

Portanto, uma investigação da viabilidade dos silanos inibidores de corrosão é de grande importância e justifica-se na medida em que fornece à comunidade técnica elementos para discernir o uso desses sistemas nas obras de proteção e reparo de estruturas de concreto armado atacadas por íons cloretos.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiais Utilizados

Foram moldados corpos-de-prova de argamassa armados com os seguintes materiais: Cimento Portland Composto com Pozolana (CPII-Z 32), aço CA-60, silanos inibidores de corrosão e areia natural oriunda da região.

O cimento foi escolhido basicamente pelo fato de este ser o cimento mais usado em Pernambuco atualmente.

Estão apresentados nas Tabelas 1 e 2 os dados químicos e físicos do CPII-Z 32 fornecidos pelo fabricante.

**Tabela 1 - Análise química dos materiais.**

DETERMINAÇÕES (%)	CPII-Z 32
Perda ao fogo	5,75
Resíduo Insolúvel	14,00
Trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> )	2,77
Óxido de magnésio (MgO)	4,54
Óxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	22,6
Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2,96
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6,90
Óxido de cálcio (CaO)	52,6
Óxido de cálcio livre (CaO)	1,55

**Dados fornecidos pelos fabricantes**

**Tabela 2- Propriedades físicas do cimento.**

CARACTERÍSTICAS		NORMA	CPII-Z 32
Finura	P # 200	NBR 7215-91	1 %
	P # 325	NBR 7215-91	5,7%
	*Blaine	NBR 7224-84	3390 cm <sup>2</sup> /g
Tempo de pega	Inicial	NBR 11581-91	3h 40min
	Final	NBR 11581-91	5h 20min
Resistência à Compressão	1 dia	NBR 7215-91	9,9 Mpa
	3 dias	NBR 7215-91	19,7 Mpa
	7 dias	NBR 7215-91	25,2 Mpa
	28 dias	NBR 7215-91	31,3 Mpa

\* **Dados fornecidos pelos fabricantes**

O aço utilizado foi do tipo CA-60, obtido por trefilação de fio máquina produzidos segundo as especificações da NBR 7480/96.

O diâmetro utilizado foi de 5 mm. As características do aço estão na Tabela 3.

**Tabela 3 – Características do aço**

Diâmetro nominal (mm)	Massa nominal (kg/m)	Resistência característica de escoamento( $f_y$ ) (mpa)	Limite de resistência ( $f_{st}$ ) (mpa)	Relação $f_{st}/f_y$	Alongamento mínimo em %
5,00	0,154	600	660	$\geq 1,05$	5%

\***Dados fornecidos pelo fabricante**

No presente trabalho foram utilizadas três marcas de silanos inibidores de corrosão. Elas consistem basicamente em tintas que são aplicadas na superfície do concreto e que agem como barreiras para o acesso dos agentes agressivos. As características dos silanos estão descritas na Tabela 4 fornecida pelos fabricantes.

Segundo os fabricantes, os silanos apresentam um penetrante não formador de película, com moléculas extremamente pequenas, garantindo maior penetração através dos vazios e capilares do concreto. O que garante, segundo eles, maior reatividade de suas moléculas com a matriz cimentícia, proporcionando superficial e profunda hidrofobicidade de todo o volume da peça estrutural, com a vantagem de total transparência, o que garante a visualização original da estrutura.

Além disso, promove, adicionalmente, o aumento da densidade de peças estruturais novas e o fechamento total de todos os poros do concreto, impedindo a penetração de líquidos contaminantes, reações de carbonatação e a perniciosa ação da chuva de vento.

Portanto, segundo os fabricantes, este somatório de benefícios garante não só a tão desejada durabilidade da estrutura, como também a beleza arquitetônica superficial do concreto totalmente isenta de película estranha.

Neste trabalho nos detemos a comparar os silanos de um mesmo sistema com uma série de referência, sem a aplicação dos silanos.

**Tabela 4– Dados Técnicos**

Inibidor	Consumo	Composição	Densidade	pH:	Descrição
Material A	3 a 4 m <sup>2</sup> /litro	Resina de Silicone	0,76 g/cm <sup>3</sup>	8 a 9,5	Líquida base silano-siloxano
Material B	300 g/ m <sup>2</sup>	Silano/siloxano	0,960 g/cm <sup>3</sup> a 1,00 g/cm <sup>3</sup>	6 a 9	Líquido branco inodoro
Material C	10m <sup>2</sup> /litro	Silano/siloxano	0,8kg/litro	9,5 e 10,5	Líquido transparente

**\*Dados fornecidos pelo fabricante**

## 2.2 Metodologia Utilizada

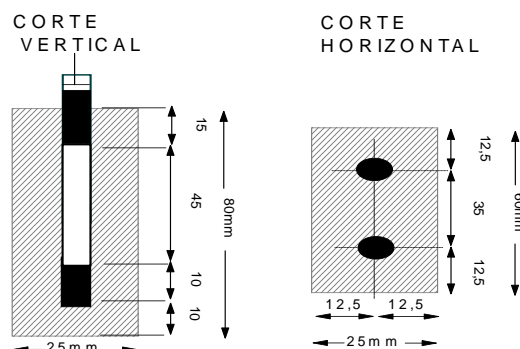
As séries dos corpos-de-prova estão descritas Tabela 5.

**Tabela 5 - Denominação das séries de silanos**

Séries	Pintura	A/C	Cura (dias)	Traço*	Consumo de cimento
S 0,4	Material A	0,4	7	1:3	462 kg/m <sup>3</sup>
S 0,7	Material A	0,7	7	1:3	462 kg/m <sup>3</sup>
A 0,4	Material B	0,4	7	1:3	462 kg/m <sup>3</sup>
A 0,7	Material B	0,7	7	1:3	462 kg/m <sup>3</sup>
M 0,4	Material C	0,4	7	1:3	462 kg/m <sup>3</sup>
M 0,7	Material C	0,7	7	1:3	462 kg/m <sup>3</sup>
REF 0,4	Referência	0,4	7	1:3	462 kg/m <sup>3</sup>
REF 0,7	Referência	0,7	7	1:3	462 kg/m <sup>3</sup>

**\*traço feito em massa**

Os corpos de prova do presente trabalho foram confeccionados nas dimensões de 60 x 80 x 25 mm, com duas barras de 5.0 mm de diâmetro, 100 mm de comprimento e com cobrimento de 10 mm conforme mostrada na Figura 1. Para cada material foram feitos dois corpos-de-prova, variando a relação água/cimento (0,4 e 0,7). A cura foi feita na câmara úmida. Depois de curados os corpos de prova permaneceram em ambiente de laboratório por 15 dias, com umidade relativa em torno de 80% e temperatura de aproximadamente 30°C.



**Figura 1- Esquema dos corpos-de-prova.**

Em seguida, deu-se início ao ensaio com cloretos onde os corpos de prova foram submetidos a ciclos de secagem e imersão parcial em solução de 5% de NaCl. Os semiciclos caracterizam-se conforme a Tabela 6.

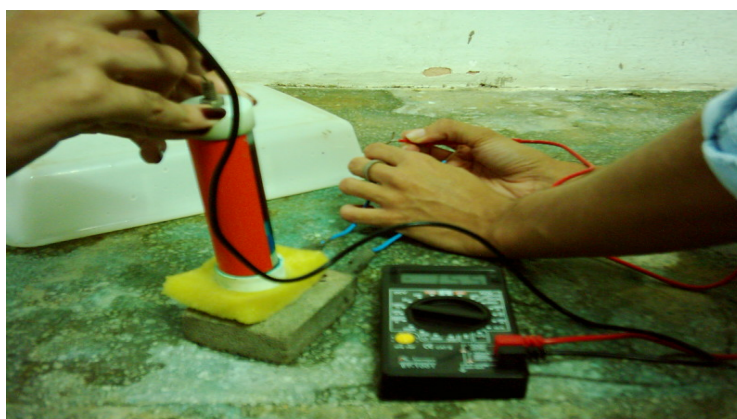
**Tabela 6 – Etapas do ensaio cíclico**

SEMICICLO	CONDIÇÃO	DURAÇÃO
Secagem	Estufa	5 dias
Imersão Parcial	Parcialmente Submerso	2 dias

A condição de secagem consistiu em dispor os corpos de prova em estufa ventilada, mantendo-se a temperatura em 50°C. Na condição de imersão parcial manteve-se o nível da solução do recipiente em uma posição que corresponde à metade da altura da área de exposição da barra. Deste modo, tem-se absorção por capilaridade e, uma vez que ocorra a saturação, temos o processo de difusão. A frequência de medição das variáveis eletroquímicas era feita ao final de cada semiciclo.

A grandeza medida ao longo do ensaio foi potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ).

Para as medidas das variáveis eletroquímicas, utilizou-se um voltímetro de alta impedância, eletrodo de referência (eletrodo de cobre/sulfato de cobre, para medida de potencial de corrosão), (Foto 1).



**Foto 1 - Ensaio de Potencial de Corrosão**

### 3 RESULTADOS

As Figuras 2 e 3 apresentam o desenvolvimento do potencial de corrosão, com o passar do tempo, para corpos-de-prova com relação água/cimento 0,4 e 0,7 respectivamente. Essas leituras foram processadas ao final de cada sem-ciclo do experimento.

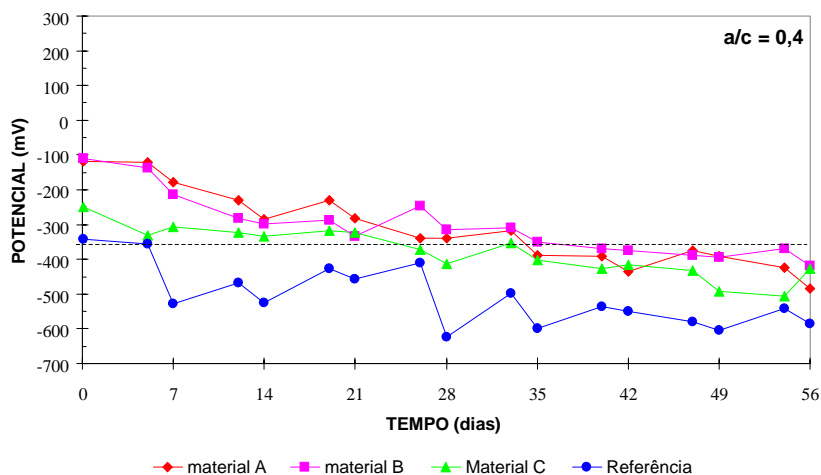


Figura 2 - Evolução do potencial de corrosão com o tempo para corpos-de-prova com relação a/c 0,4.

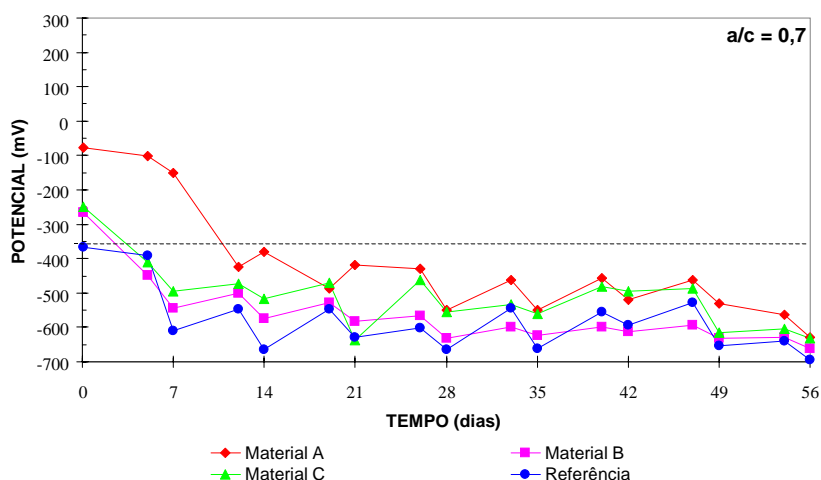


Figura 3 – Evolução do Potencial de corrosão como tempo para a relação a/c 0,7.

Observando os resultados apresentados nas Figuras 2 e 3 é fácil notar que os valores de potencial de corrosão das séries com relação a/c 0,4 são melhores que os encontrados para as relações a/c 0,7.

Para a relação água/cimento 0,4 pode se notar que ao longo do experimento o Material B mostrou melhor desempenho, o qual pode ser verificado devido aos valores mais eletropositivos do potencial. Enquanto que para a relação água/cimento 0,7 observou-se que o Material A mostrou melhores resultados entre os diversos materiais.

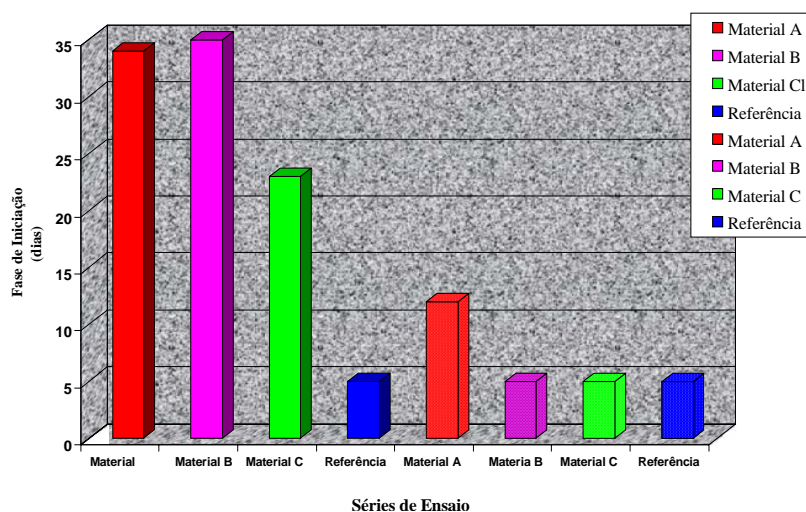
Em ambos os casos a primeira série a despassivar foi sempre a de referência. Deve ser verificado que os melhores resultados apresentados foram os da série do Material A, sendo esta a última a despassivar.

## 4 DISCUSSÃO

Através da utilização da técnica do potencial de corrosão avaliou-se o desempenho das pinturas utilizadas, como também a duração da fase de iniciação de corrosão, nos dando informações sobre a probabilidade de se ter corrosão e a possível vida útil das séries confeccionadas com os distintos materiais.

O momento da despassivação em todos os ensaios foi detectado quando o potencial de corrosão atingiu o valor de  $-350$  mV como propõe a ASTM-876.

Na Figura 4 temos a duração da fase de iniciação para corpos-de-prova submetidos a ambientes contaminados por cloretos, para o caso dos silanos utilizados.



**Figura 4 - Duração da fase de iniciação em dias para corpos de prova submetidos a ambientes contaminados por cloretos para ambas as relações água/cimento.**

Observando os resultados apresentados na Figura 4 é fácil notar que para a relação a/c 0,4 o material B apresentou maior fase de iniciação, enquanto que para relação a/c 0,7 o material A apresentou maior fase de iniciação em relação aos outros materiais. Pode-se também notar, que para relação água/cimento 0,4 as séries de ensaio apresentaram maior fase de iniciação quando comparadas à relação água/cimento 0,7.

## 5 CONCLUSÕES

Considerando as condições de ensaios aqui apresentadas podemos concluir para silanos estudados:

- A redução da relação água/cimento melhora o desempenho dos três tipos de silanos utilizados, quanto à corrosão por cloretos.
- O Material A teve o melhor desempenho em relação à corrosão por cloretos, principalmente para a relação água/cimento 0,7.

Com a técnica utilizada, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de desempenho, quanto a ambientes contaminados por cloretos:

**Material A > Material B > Material C**



## 6 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete.** *ASTM C 1152*: 1992. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standards.

ANDRADE, J.J.O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco.** 1997. 148p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

HELENE, P.R.L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** 1993. 231p. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

TUUTTI, K. (1982). **Corrosion steel in concrete.** **Swedish Cement and Concrete Research Institute**, Stockolm, 469p.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos aqueles de direta ou indiretamente contribuíram para a finalização deste trabalho, em especial as pesquisadoras do Núcleo de Pesquisa em Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco (NPEC) que muito contribuem para o nosso crescimento profissional.