



Desenvolvimento de revestimentos de silicone para uso e manutenção no Setor Elétrico

Organização:



Desenvolvimento de revestimentos de silicone para uso e manutenção no Setor Elétrico

Douglas Batista
Enrique Troncoso
Matt Saunders

CSL Silicones Inc.

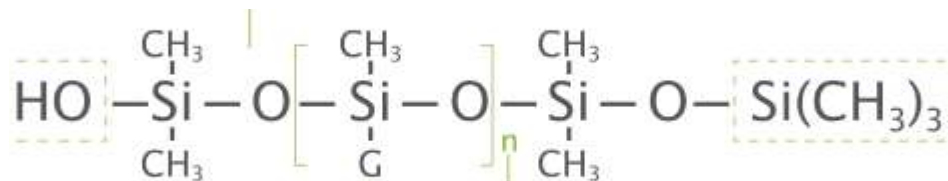
Revestimentos elastoméricos

- Revestimentos que formam um polímero com ligações cruzadas sobre uma superfície
- Possuem propriedades elásticas, ou seja, resistem ao estresse e retornam ao formato original



Aplicações são governadas pela química – o caso do silicone: Adesivos, revestimentos, selantes e agentes desmoldantes

Grupos polares promovem adesão (oxigênio aumenta energia de superfície e aumenta molhamento da superfície)



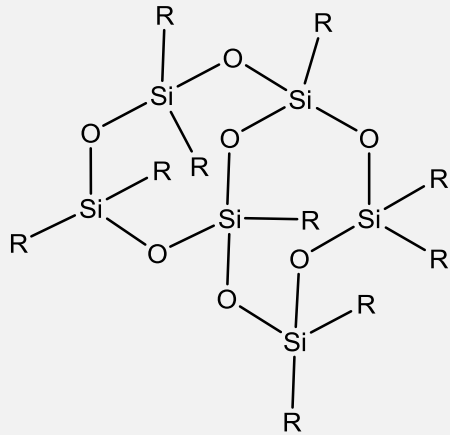
Capa de baixa polaridade para hidrofobicidade/baixa adesão

O comprimento de cadeia controla a reologia enquanto a resistência mecânica é afetada pelos sólidos e plastificantes

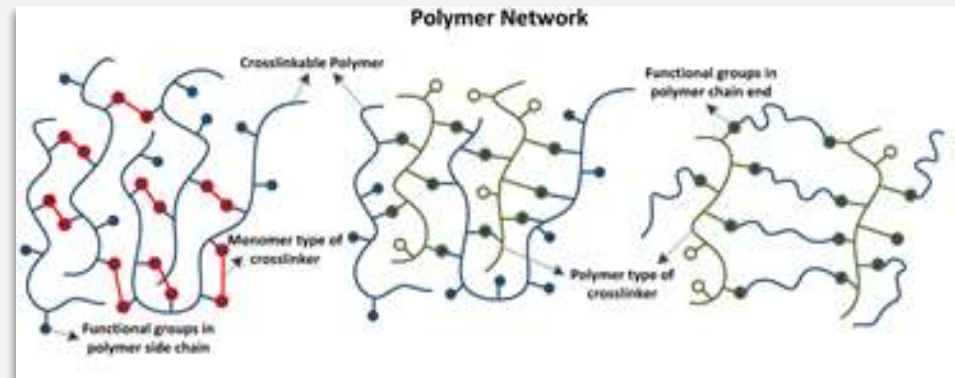
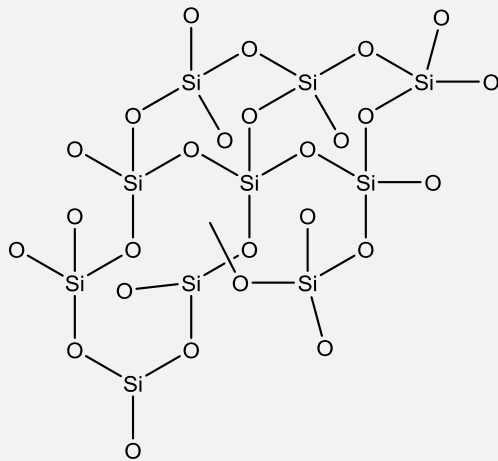
Grupos químicos proporcionam polaridade (adesão) e propriedades especiais

Elastômero de polisiloxano

Elastômero de polisiloxano



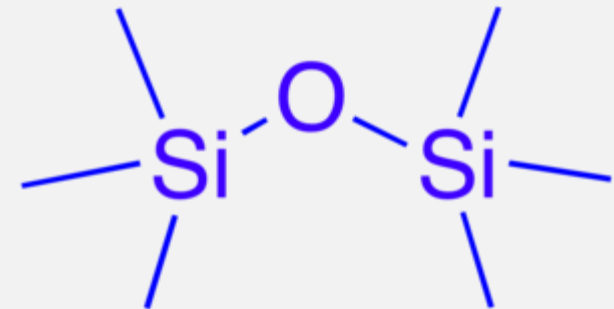
Vidro



Propriedades do polisiloxano elastomérico

Durabilidade

- Resistência excepcional a radiação UV, calor e alta temperatura
- 549 kJ/mol $((\text{CH}_3)_3\text{Si-O-Si}(\text{CH}_3)_3$ comparado com 334 kJ/mol (C-C) e 340 kJ/mol (C-O)*
- Alta energia de ligação é devido a hiperconjugação entre silício e oxigênio



*E. W. Colvin, *Silicon in Organic Synthesis*, Butterworths: London, 1981

**F. Weinhold and R. West, *J. Am. Chem. Soc.*, 2013, 135, 5762-5767

<https://www.chem.wisc.edu/users/west>

- Devido a característica híbrida e semi-permeável dos revestimentos de silicone, a absorção de água é mínima e as reações de hidrólise são reversíveis quando ocorrem ciclos de molhamento e secagem, e/ou exposição e relaxamento*.
- *A.T.Wolf, *Durability of Silicone Sealants*, Seneffe: Belgium.

Propriedades do polisiloxano elastomérico



Flexibilidade

- Capaz de acomodar movimentos causados pela variação de temperatura e estresse mecânico
- A flexibilidade do revestimento pode ser aumentada ou diminuída com o aumento ou redução de ligações cruzadas
- A rede polimérica flexível também proporciona resistência ao impacto de partículas leves e abrasão por areia

Hidrofobicidade

- Forma uma rede polimérica protetora que repele água líquida

Baixa energia de superfície

- Previne adesão à superfície do revestimento (propriedades de desprendimento)

Propriedades do polisiloxano elastomérico

Adesão

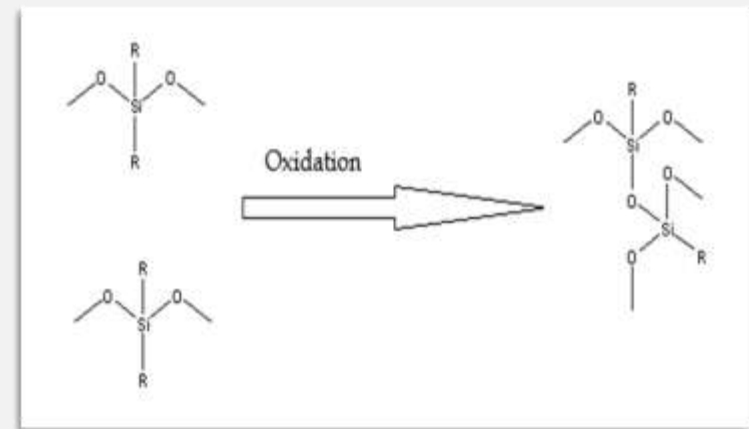
- Alta força de adesão com diferentes superfícies
- Forma uma barreira forte e duradoura com o substrato

Resistência dielétrica

- Aplicações como material de isolamento

Resistência a oxidação

- Devido a excepcional resistência aos raios UV, oxidação e temperatura, os revestimentos de silicone não necessitam aditivos especiais como estabilizadores de UV ou anti-oxidantes.
- Quando oxidado, a densidade de ligações cruzadas da rede polimérica do silicone aumenta



Como comprovar a eficácia?



Ensaio e normas específicas para revestimentos elastoméricos são inexistentes

Resultados obtidos em um sistema não servem como parâmetros para outro sistema

É necessário desenvolver especificação com testes e resultados adequados ao produto e ao uso

Exemplos de testes realizados

Teste de dobramento

- Objetivo: Avaliar a capacidade do revestimento em acomodar cargas resultantes da deformação elástica. Aplicabilidade em manutenção.
- Revestimento aplicado sobre sistema epóxi existente (DFT 1000 microns)
- Envelhecimento: 3 dias a 60C
- Testes: Adesão (ISO 2409) + deformabilidade (ISO 4624)
- Conclusão: Sistema tradicional não resistiu ao dobramento, mas a camada de silicone manteve-se intacta e previniu a exposição do metal/primer

Test Description:

Objective	To determine if the CSL coating is fit for use as a maintenance product
Description	Apply two layers of CSL on top of old TCP system (existing aged sheets) to a film thickness (DFT) of 1,000 micrometers
Procedure/standards	Ageing for 3 days @ 60°C, no standard Adhesion in accordance with ISO 2409 (cross-cut test) Adhesion in accordance with ISO 4624 (dolly test) Deformability (cylindrical mandrel)
Requirements	Adhesion of at least class 2 (ISO 2409), Minimum 1.5 N/mm ² (ISO 4624)
Deformability	Minimum mandrel diameter 10 mm
Duration	1 week

Results:

Adhesion	Class 0 (ISO 2409) 1.2 N/mm ² , 1.0 N/mm ² , 1.4 N/mm ² (ISO 4624)
----------	--

Several bonding techniques have been used because almost nothing adheres to the CSL coating. Eventually the dolly was placed in the wet CSL coating. After curing and ageing the test was executed. The fracture surface is for 90% the dolly and for 10% the CSL coating.

Deformability	Ø 10 mm	- TCP many cracks - TCP + CSL no cracks
	Ø 25 mm	- TCP many cracks - TCP + CSL no cracks



Figure 1: SI-COAT shows no damage in 180° bend test at bend radii of 10 mm and 25 mm

Conclusion:

CSL coating produces good results as maintenance system on top of old TCP coating with regards to adhesion and deformability.

During bending the TCP coating shows cracks, but the CSL coating applied on top bridges these cracks.

Teste de impacto

- Objetivo: Avaliar capacidade do revestimento em acomodar impactos e criar proteção ao revestimento tradicional envelhecido e já existente. Aplicabilidade em processos de manutenção.
- Revestimento aplicado sobre sistema epóxi existente (DFT 400 microns)
- Envelhecimento: 3 dias a 60C
- Testes: resistência ao impacto (NEN 5535; ECCA T5)
- Conclusão: Revestimento de silicone produziu excelentes resultados quando aplicado sobre sistema existente. O sistema tradicional não resistiu ao teste de impacto e rachou em todos os testes, mas a camada de silicone aplicada ao topo manteve-se intacta.

Resistance to Mechanical Damage when Applied over Original TCP

Test Description:

Objective	To determine resistance of the CSL coating against mechanical damage during maintenance activities
Description	Apply CSL coating on top of aged TCP system (film thickness 450 micrometers (DFT)). Subsequently carry out nuts dropping test and impact resistance test
Procedure/standards	Ageing for 3 days @ 60°C, no standard Nuts dropping test in accordance with NEN 5335 Slagvastheidsproef in accordance with ECCA T5
Requirements	Nuts dropping test: no damages up to substrate Slagvastheid: minimum 1 N/m

Results:

Nuts dropping test	TCP 20 impressions in the coating and 0 impressions up to substrate TCP + CSL no impressions
Impact resistance reverse 2.5 – 5 and 10 N/m	TCP all specimens cracked TCP + CSL all specimens undamaged
Impact resistance forward 2.5 – 5 and 10 N/m	TCP all specimens cracked TCP + CSL all specimens undamaged

See photographs

Conclusion:

CSL coating produces excellent results on old TCP coating with regards to resistance against mechanical damage. During the impact resistance test the TCP coating cracks, but the CSL coating applied on top of it bridges these cracks.

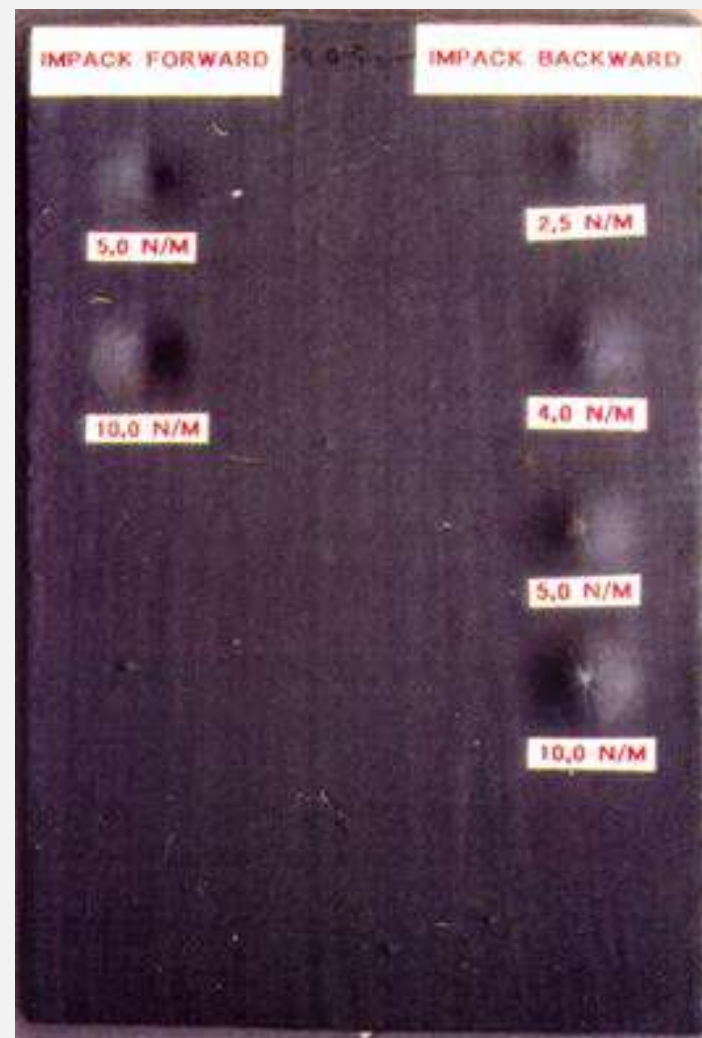
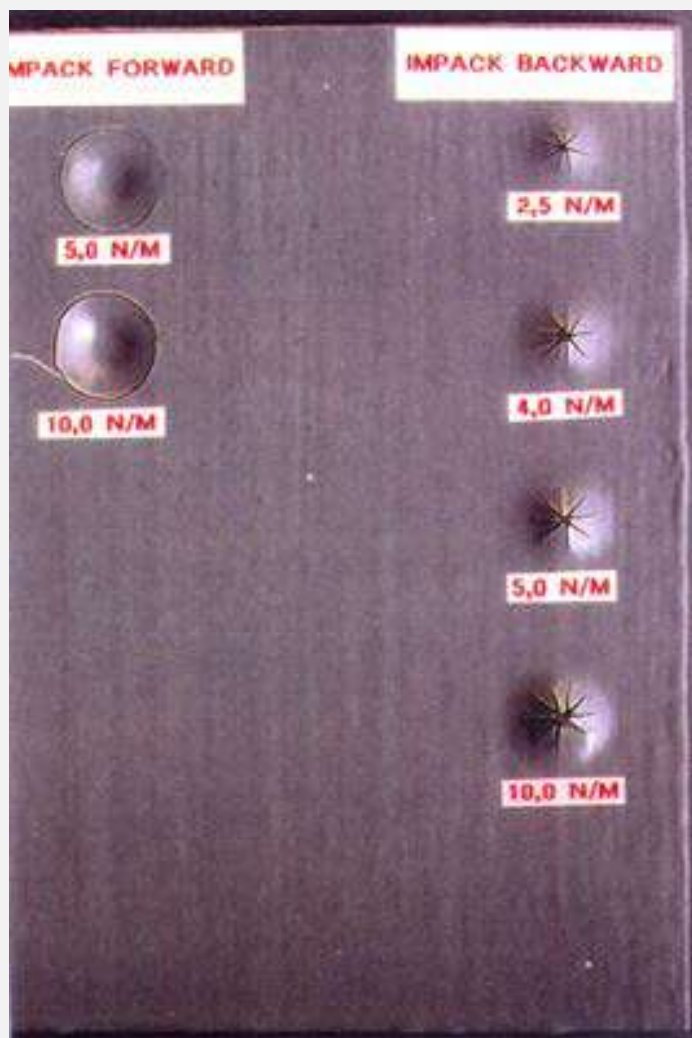


Figure 2: Si-CoAT applied over TCP shows no damage upon impact testing, and bridges all cracks of the underlying TCP



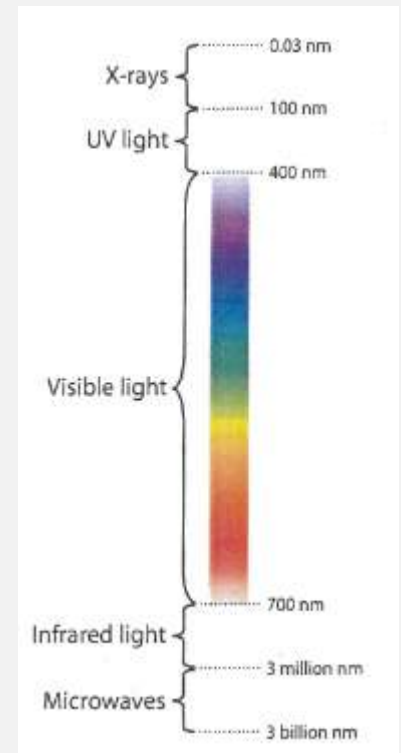
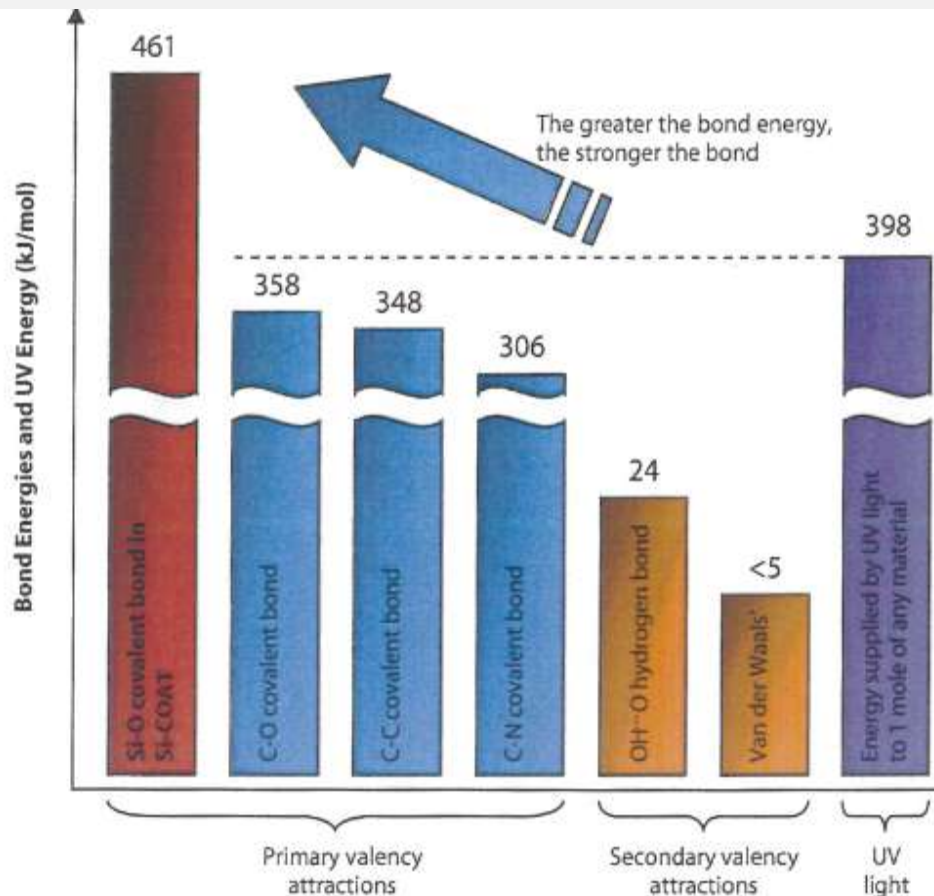
Figure 3: TCP coating alone shows heavy damage upon forward and reverse impact testing

Teste de impacto



Resistência aos raios UV

O Sol emite luz em todos os diferentes comprimentos de onda no espectro eletromagnético, incluindo ondas UV. Embora algumas ondas UV sejam impedidas de penetrar em nossa atmosfera, alguma radiação UV é capaz de penetrar e atingir a superfície da Terra, causando danos aos materiais e à matéria orgânica.



Resistência a radiação UV

Ultraviolet (UV) Radiation Resistance

Test Description:

Objective	To determine the resistance against UV-load by accelerated weather testing
Description	Apply CSL in two layers on aged TCP system (thickness 450 micrometers [DFT])
Procedure/standards	Ageing for 3 days @ 60°C, no standard Accelerated testing by Suntest in accordance with DIN 50017
Requirements	No discoloring, loss of gloss or other damage after 1,000 hours load
Duration	6 weeks

Results:

Suntest	After 1,000 hours Suntest the CSL coating does not show discoloring, loss of gloss or other damage
---------	--

See photograph

Conclusion:

CSL coating has a good outdoor durability.

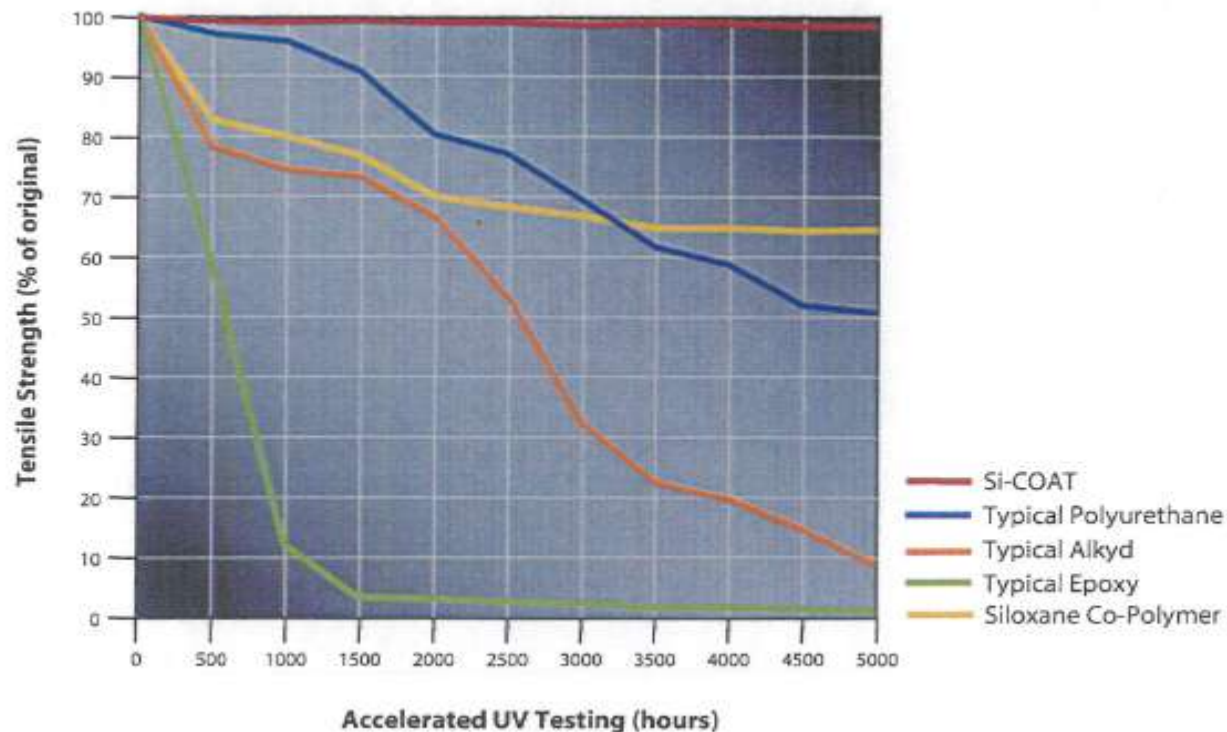


Figure 7: After 1,000 hours of accelerated UV testing, Si-COAT shows no loss of gloss, color or other damage

- Objetivo: Avaliar a resistência aos raios UV.
- Revestimento aplicado sobre sistema epóxi existente (DFT 450 microns)
- Envelhecimento: 3 dias a 60C
- Testes: 1000 horas de envelhecimento (DIN 500017)
- Conclusão: O revestimento de silicone não apresentou descoloração, perda de brilho ou outro dano. Adequado para uso externo.
- Observação: Os revestimentos foram retestados no NRC em 2016 e resistem a mais de 5000h de UV (lâmpadas fluorescentes ou de arco-xenônio)

Alta resistência à tração

Revestimentos de silicone mantêm a resistência à tração mesmo após envelhecimento acelerado



Resistência a abrasão com areia

- Objetivo: avaliar a resistência do revestimento contra abrasão em áreas de alto teor de particulados (áreas costeiras)
- Revestimento aplicado sobre sistema epóxi existente (DFT 200-500 microns)
- Envelhecimento: 3 dias a 60°C
- Testes: Abrasão por areia (ASTM D968-93)
- Conclusão: Devido a elasticidade do revestimento de silicone, a abrasão por areia não causa desgaste do revestimento. A resistência do revestimento tradicional envelhecido está entre 1.2 a 1.8 litros de areia por micrômetro.

Abrasion Resistance by Sand Drop Method (modified)

Test Description:

Objective	To determine the resistance to abrasion of the CSL coating
Description	Apply CSL on top of aged TCP system
Procedure/standards	Ageing for 3 days @ 60°C, no standard Abrasion resistance with sand drop test in accordance with ASTM D968-93
Requirements	At least equal to epoxy coating
Duration	1 week

Results:

Abrasion resistance	Average DFT (micrometers)		
	System	Prior to Testing	After 100 liters Sand
	TCP 1	603	519
	TCP 2	793	738
	TCP + CSL 1	1127	*
	TCP + CSL 2	972	*



Figure 8: Si-COAT's elasticity prevents damage to the coating from abrasion by the sand drop method

* Due to the elasticity of the coating, the dropping sand does not cause wear effects. Therefore it is hardly or not at all possible to determine a reduction in film thickness.

Conclusion:

The abrasion resistance of the TCP coating is 1.2 to 1.8 liters sand per micrometer.

Imersão em água salgada

- Objetivo: avaliar a resistência do revestimento para aplicação em sistema parcialmente submerso em água salgada.
- Procedimento: Revestimento aplicado sobre sistema epóxi existente (DFT 450 microns)
- Envelhecimento: 3 dias a 60C,
- Testes: Imersão em solução de NaCl 5% durante 1000 horas.
- Conclusão: O revestimento de silicone não apresentou falha durante o teste. Revestimento adequado para uso em contato com água salgada.

Salt Water Immersion

Test Description:

Objective	To determine the resistance against salt water of the CSL coating
Description	Apply two layers CSL on top of old TCP system (film thickness 450 micrometers (DFT))
Procedure/standards	Ageing for 3 days @ 60°C, no standard immersion in 5% NaCl salt water solution
Requirements	No damage after 1,000 hours
Duration	6 weeks

Results:

Salt water immersion	After 1,000 hours immersion in a 5% salt solution the CSL coating shows no damage
----------------------	---

See photograph

Conclusion:

CSL coating is fit for use in salt water.



Figure 9: After 1,000 hours of salt water immersion, SI-COAT shows no damage

Florida Fence Test

Aço em processo de corrosão



Preparado de acordo com SSPC-SP2



Painéis revestidos com diversos revestimentos e expostos por 3 anos, inclinados a 45° e virados para o sul (maior incidência solar), em Melbourne Beach, FL, USA

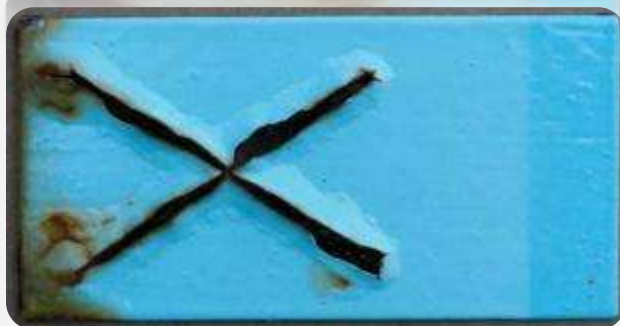
Obs.: Teste realizado próximo ao local de testes de corrosão da NASA

Resultados



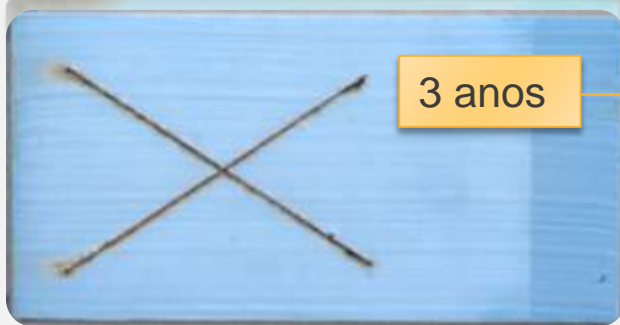
Sistema de 3 partes base epóxi (IOZ/epóxi/PU) em aço jateado:

- Alto índice de corrosão com falha de adesão



Sistema de 2 partes base epóxi-silicone (primer + revestimento) em aço jateado:

- Alto índice de corrosão com falha de adesão



3 anos

Revestimento de Silicone RTV

- Sem falha por corrosão ou perda de adesão

**Aparente perda de brilho e descoloração é devido aos contaminantes atmosféricos depositados durante o teste

Envelhecimento e névoa salina ISO 20340 (ensaio cíclico)

Corpo de prova A:

Superfície jateada
(sem primer)
Sistema monocomponente 1
(300 microns)



Corpo de prova C:

Superfície jateada
Primer PPG rico em zinco (5 mils)
Sistema monocomponente 2 (200 microns)



Corrosion from a scribe line

Sample	Exposition hrs	C	M
A	4200	16,17	7,09
B	4200	45,90	21,95
C	4200	9,69	3,85
G	2200	5,28	1,64
H	2200	52,94	25,47
I	2200	4,12	1,06

Corrosion creep is defined in ISO 20340 8.3.2 and calculated as follows:

$$M = (C-W)/2$$

M: Corrosion creep

C: Average of the nine width measurements

W: Original width of the scribe (2 mm)

De acordo com a norma ISO 20340, os valores mínimos de penetração da corrosão para sistemas com primer rico em zinco e sem zinco são 3 e 8 mm

Conclusões



Não há normas específicas para revestimentos elastoméricos no Setor Elétrico do Brasil, e em muitos outros setores industriais do Brasil e do mundo.

Revestimentos de silicone são fáceis de aplicar, duráveis, flexíveis, hidrofóbicos, resistentes ao calor, a oxidação e a determinadas concentrações de produtos químicos.

A elasticidade do produto acomoda movimentos estruturais da instalação, e a alta adesividade aos revestimentos tradicionais existentes e ao aço galvanizado (melhor adesividade quando envelhecido) torna adequado seu uso em manutenção.

Há necessidade de revisão de normas em diversos setores industriais, incluindo o Setor Elétrico, com ensaios específicos para revestimentos elastoméricos e requisitos de desempenho esperados.

Desenvolvimento de revestimentos de silicone para uso e manutenção no Setor Elétrico

Douglas A. Batista
+ 1 519 836 9044 ext 247
dbatista@csilsilicones.com

Organização:

