



SEMINÁRIO
BRASILEIRO DE
**REVESTIMENTOS
EM DUTOS**

INT - Rio de Janeiro
15 de agosto

REALIZAÇÃO

 **ABRACO**
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO

Revestimento Autorregenerante



SEMINÁRIO
BRASILEIRO DE
**REVESTIMENTOS
EM DUTOS**

INT - Rio de Janeiro
15 de agosto

Propriedades clássicas de um revestimento

- ✓ Proteção contra corrosão;
- ✓ Decorativa;
- ✓ Funcional.

Revestimentos Funcionais

- Fácil limpeza ou antifúngico;
- Autolimpante;
- Antifouling;
- Antibactericida;
- Antiabrasivo;
- Hidrofóbico;
- Visco elásticos;
- Condutivo.

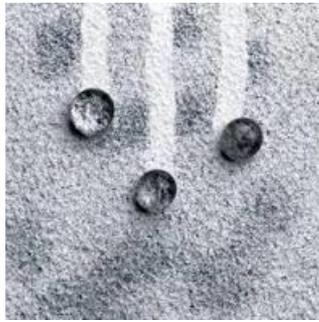
Revestimentos Autorregenerantes

- ✓ São projetados para promover a autorreparação quando aditivados de acordo;
- ✓ A autorreparação é ativada quando há um estímulo externo e após um defeito causado.

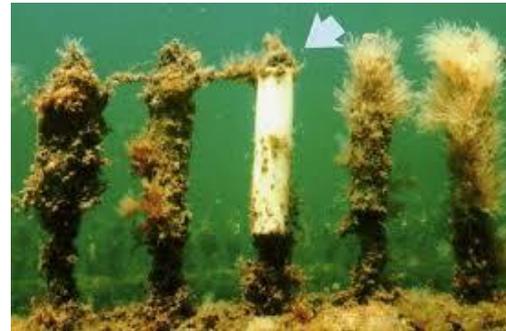
Smart coatings

Revestimentos funcionais

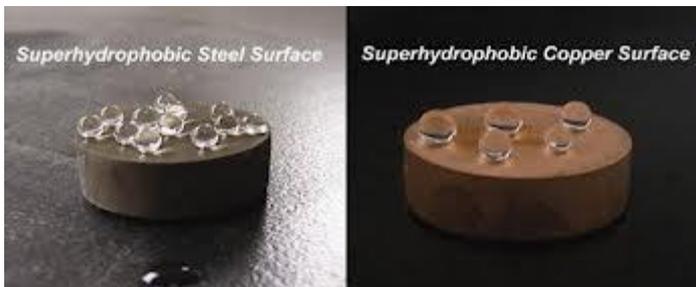
Autolimpante



Antifouling



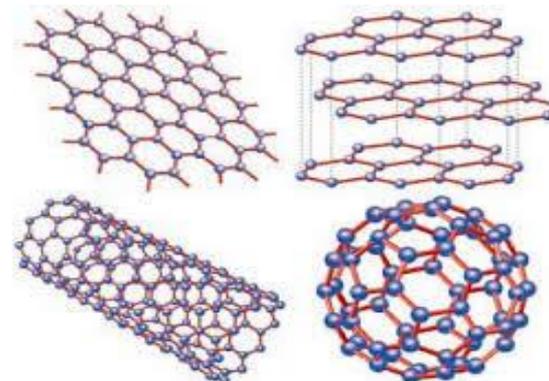
Hidrofóbico



Condutivo

Graphene

graphite



SEMINÁRIO
BRASILEIRO DE
**REVESTIMENTOS
EM DUTOS**
INT - Rio de Janeiro
15 de agosto

REALIZAÇÃO


ABRACO
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSAO

Revestimentos funcionais para dutos

Revestimentos Visco elásticos – Aplicação em campo ou fábrica

Gasoduto de 24” na Romenia



Alan Kehr, 2017 - Review of Self-Healing Pipeline Coatings for the Prevention of External Corrosion

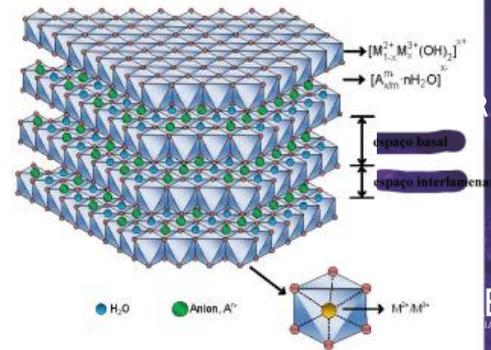
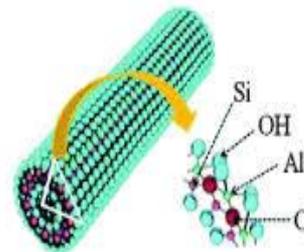
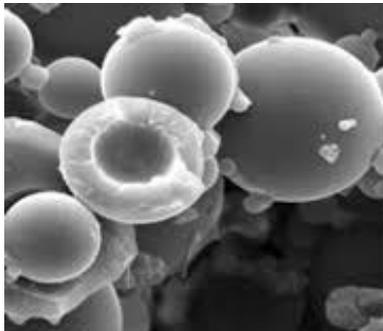
SEMINÁRIO
BRASILEIRO DE
**REVESTIMENTOS
EM DUTOS**
INT - Rio de Janeiro
15 de agosto

REALIZAÇÃO

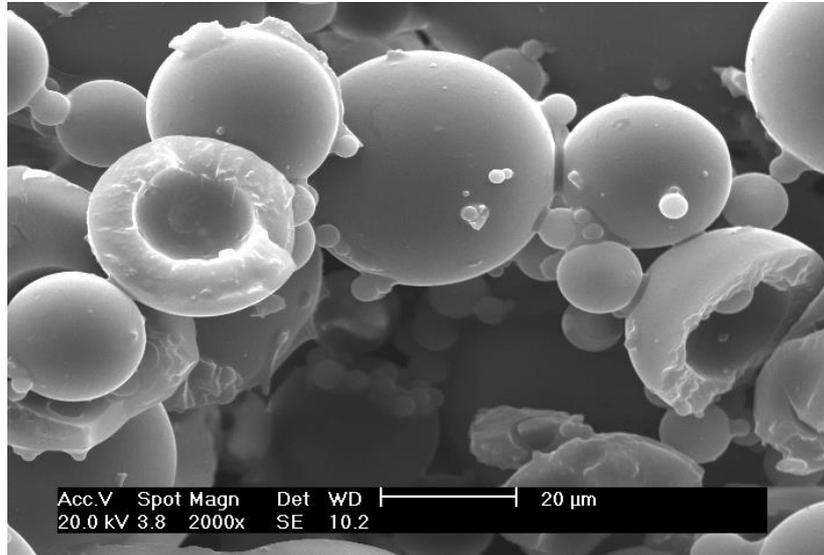

ABRACO
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSAO

Tipos de revestimento autorregenerantes

- ✓ Polímeros com memória de forma – Ativados termicamente
- ✓ Visco elásticos
- ✓ Aditivação com **microcápsulas poliméricas** contendo:
 - Formadores de filme;
 - Inibidores de corrosão;
 - Agente hidrofóbico.
- ✓ Aditivação com nanocontainers
 - Nano partículas de Sílica – método Layer-by-Layer;
 - Argila mineral: haloisita, montmorilonitas e bentonita e DLH(hydrotalcite);
 - Sílica mesoporosa, titania or zircônia;
 - Dendrímeros ou diferentes nanotubos: carbono, TiO_2 .



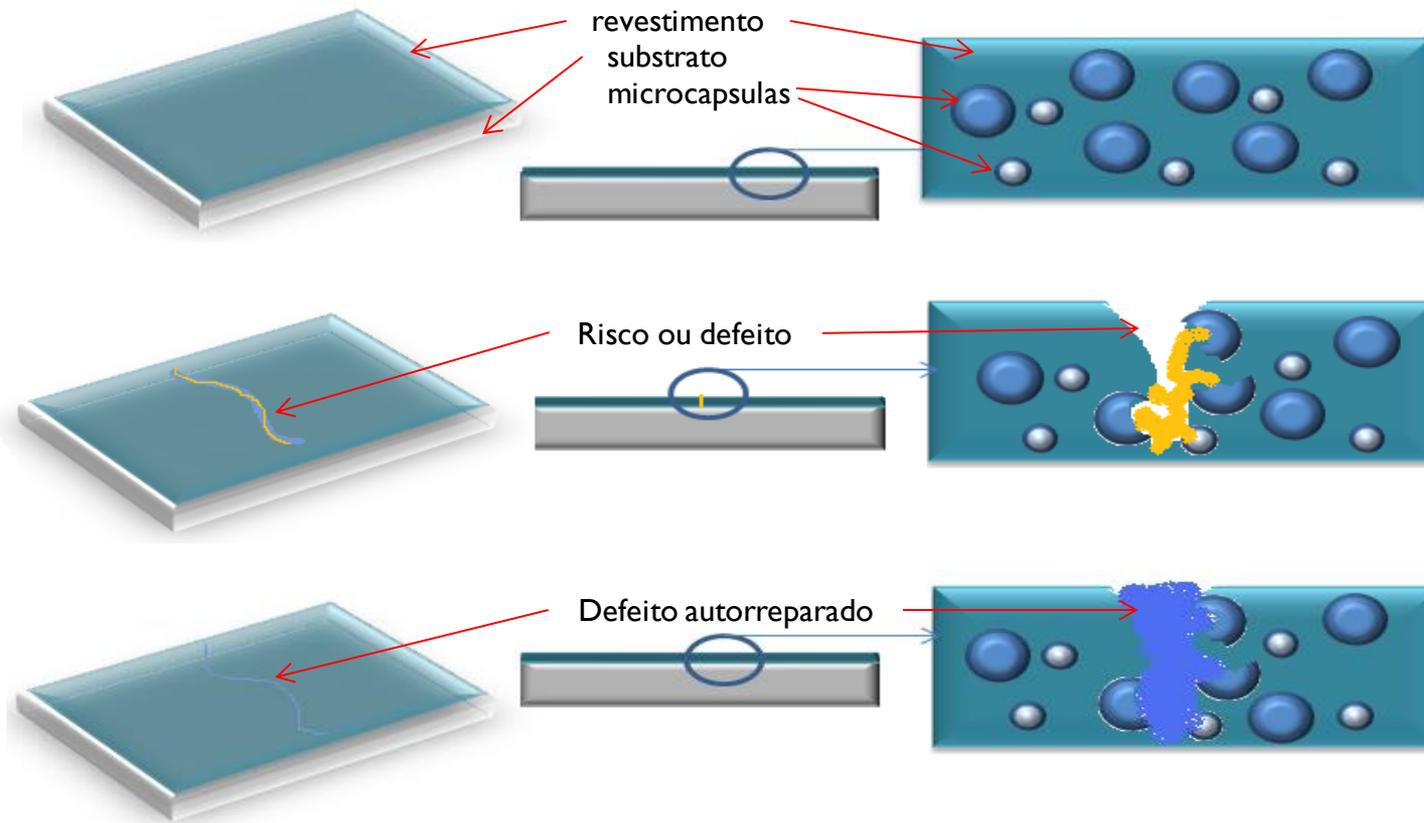
Definição de microcápsulas poliméricas



- ✓ São partículas esféricas pequenas contendo no seu interior um sólido, líquido ou gás.
- ✓ Comercialmente as microcápsulas possuem tipicamente o diâmetro de 3 a 800 μ m e possuem de 10 a 90 wt.% de material ativo.

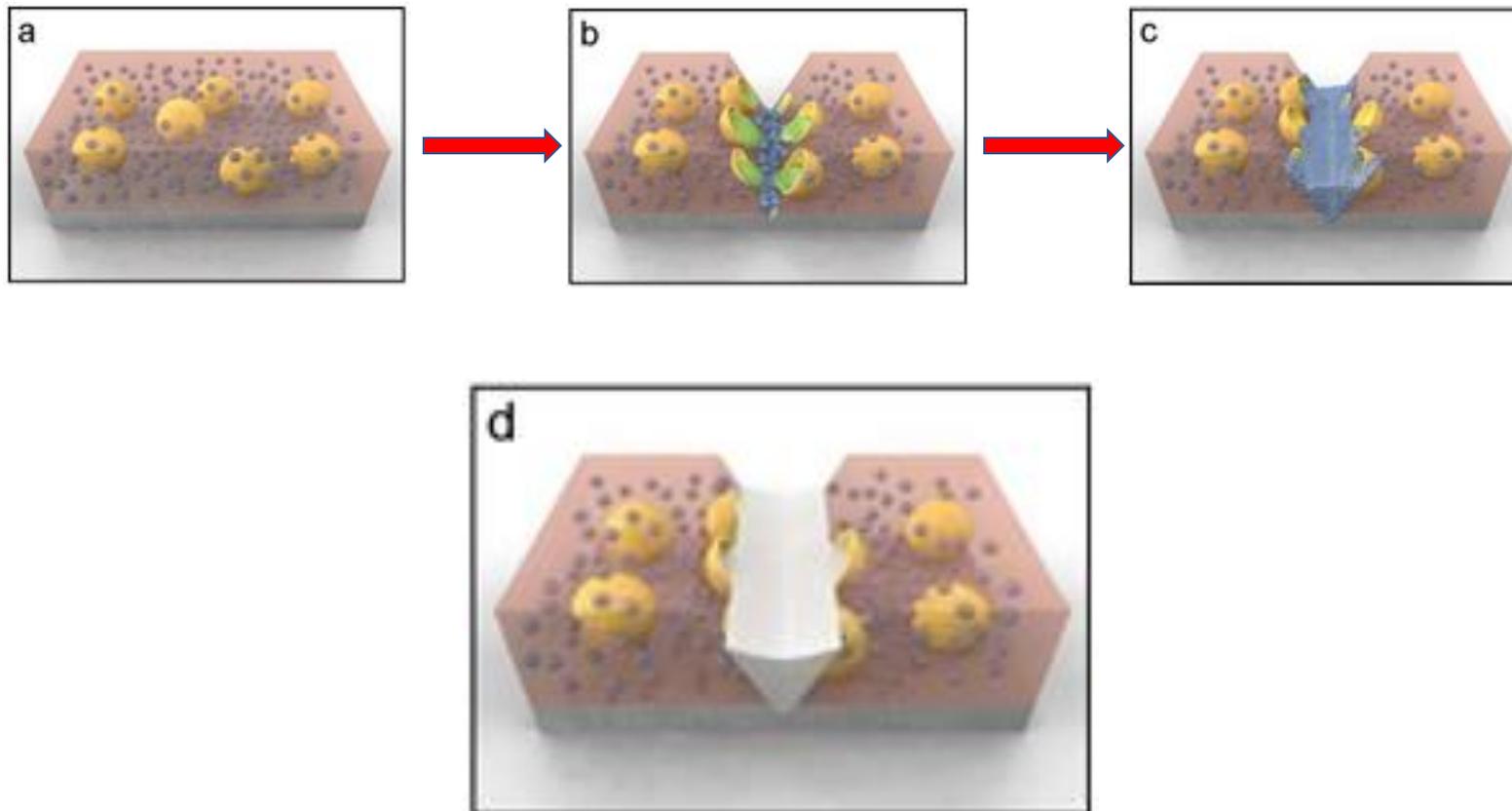
Revestimento Autorregenerante

- ✓ Aditivação de microcápsulas poliméricas carregadas com formadores de filme

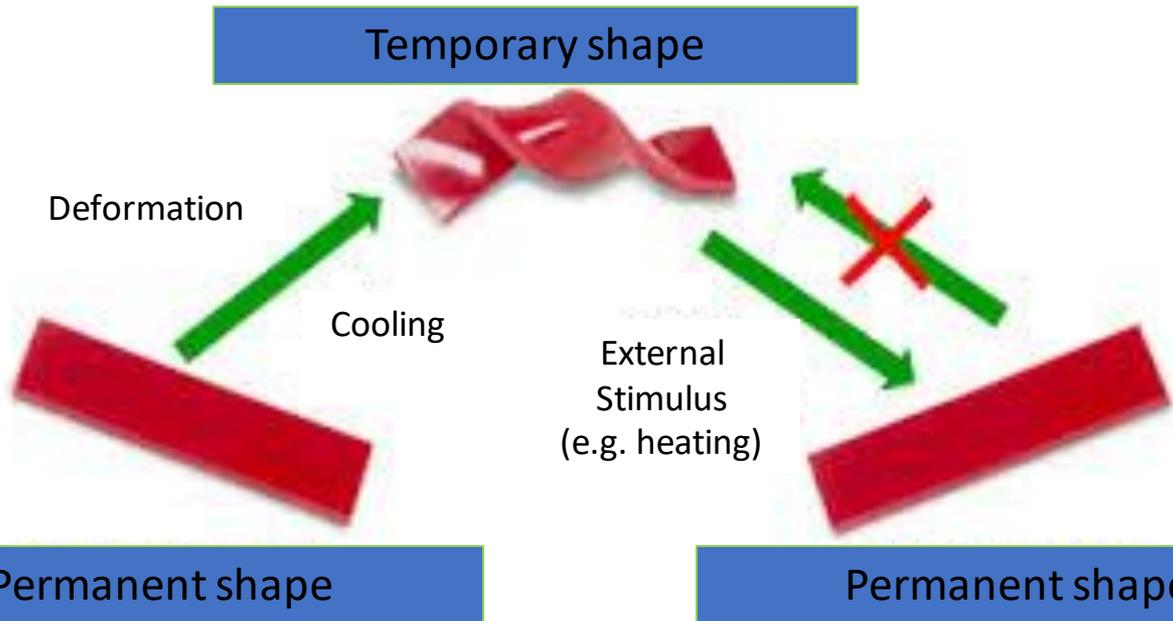


Revestimento Autorregenerante

- ✓ Agentes ativos encapsulados in microcápsulas poliméricas aditivadas a tinta visando obtenção de revestimento anticorrosivo inteligente.



Revestimento termo ativados



Gatilhos ou estímulos para a ativação do efeito Autorreparador

H₂O

metal

- Falha de aplicação ou defeito;
- Variação de pH;
- Radiação UV;
- Degradação mecânica;
- Delaminação;
- Corrosão;
- Stress térmico.

SEMINÁRIO
BRASILEIRO DE
**REVESTIMENTOS
EM DUTOS**

INT - Rio de Janeiro
15 de agosto

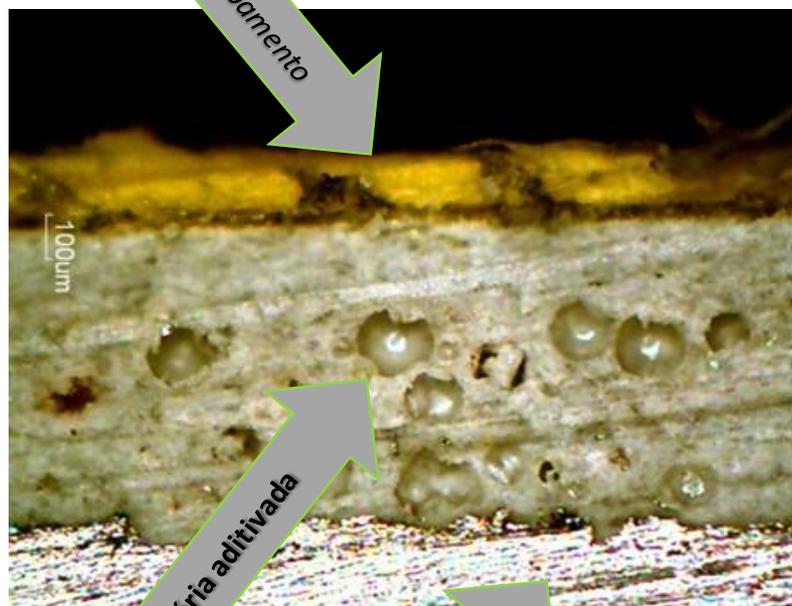
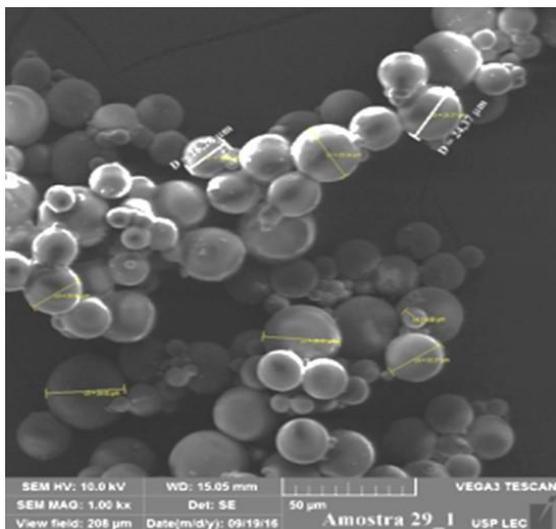
SEMINÁRIO
BRASILEIRO DE
**REVESTIMENTOS
EM DUTOS**

INT - Rio de Janeiro
15 de agosto

Projeto USP

Aditivo Autorregenerante

Revestimentos Anticorrosivos Autorregenerante



Camada de acabamento

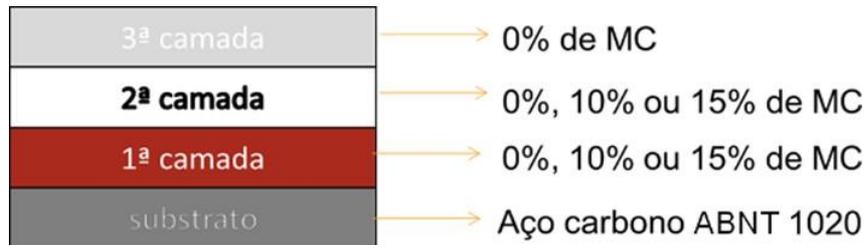
Camada intermediária aditivada

Substrato metálico

SEMINÁRIO
BRASILEIRO DE
**REVESTIMENTOS
EM DUTOS**
INT - Rio de Janeiro
15 de agosto

Revestimentos Anticorrosivos Autorregenerante

Aditivação com microcápsulas



Corpos de prova deixados ao ar por 48h após defeito ser provocado - reticulação

Composição das diferentes camadas de tinta aplicadas sobre o aço carbono ABNT 1020

Numeração dos suportes	1ª	2ª	3ª	Siglas
	Camada	Camada	Camada	
	a	a	a	
1	SC	SC	SC	L000
2	SC	10 C	SC	L020/10C
3	SC	15 C	SC	L020/15C
4	10 C	SC	SC	L100/10C
5	10 C	10 C	SC	L120/10C
6	15 C	SC	SC	L100/15C
7	15 C	15 C	SC	L120/15C

Resultados Laboratoriais

SEMINÁRIO
BRASILEIRO DE
**REVESTIMENTOS
EM DUTOS**

INT - Rio de Janeiro
15 de agosto



ABRACO
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROÇÃO

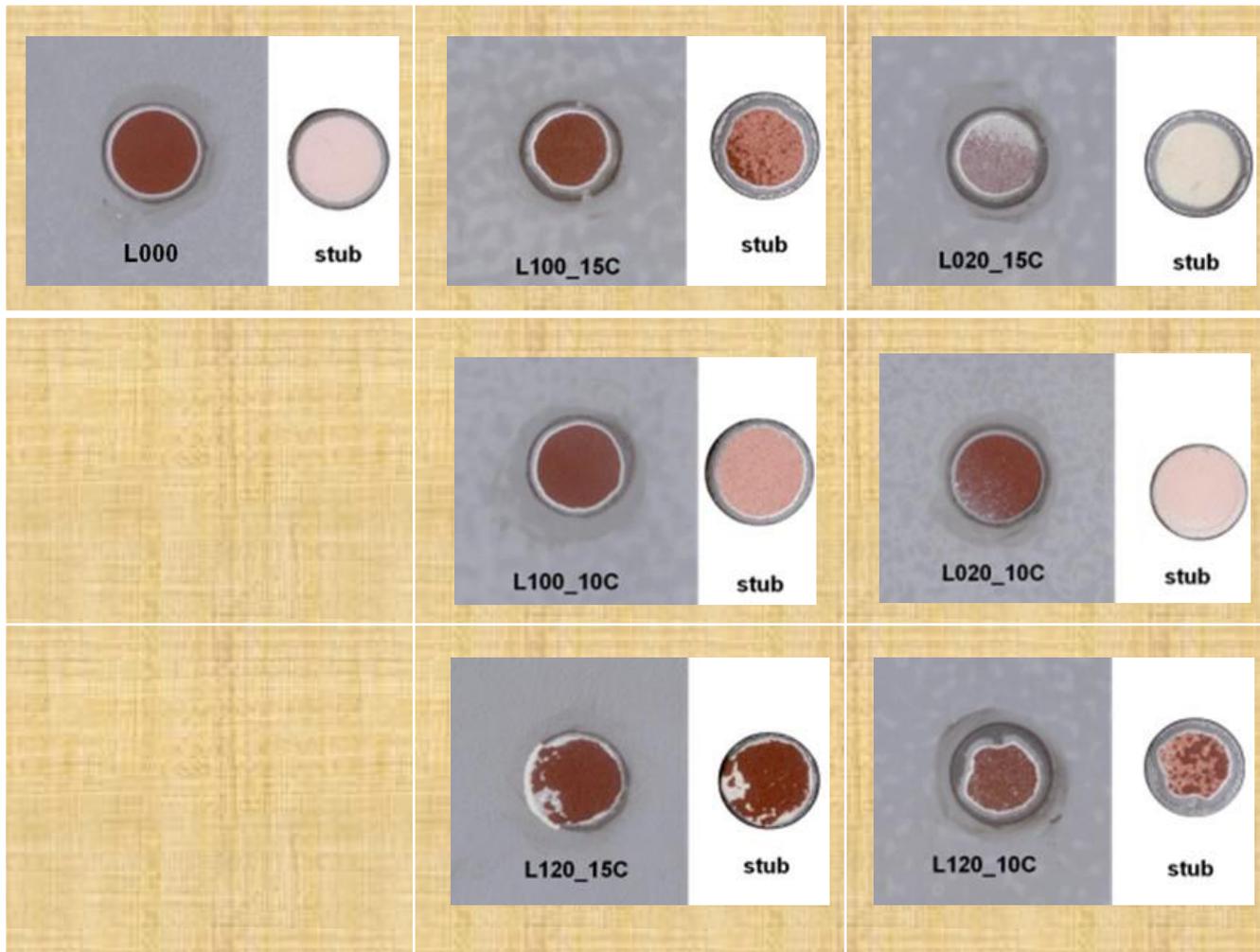
Teste aderência Pull-Off

Tabela 23 - Resultados de aderência pelo método pull-off representados pelos valores de tensão de ruptura e tipo de falha observado.

Amostra	Valor médio da tensão de arrancamento (MPa)	Desvio padrão	Tipo de falha
L000	6,5	0,7	Adesiva B/C
L100_10C	9,6	1,2	90% Adesiva B/C ; 10% Coesiva B
L020_10C	8,9	1,0	87% Adesiva B/C; 13% Coesiva C
L120_10C	10,5	1,5	50% Adesiva B/C; 50% Coesiva B
L020_15C	10,1	1,3	30% Adesiva B/C; 70% Coesiva C
L100_15C	11,6	1,4	95% Adesiva B/C; 5% Coesiva B
L120_15C	11,1	2,1	90% Adesiva B/C; 5% Coesiva B; 5% Coesiva C

- Não há ganho ou uma diminuição na propriedade de aderência;
- Valor de aderência baixo. Indicativo de baixa qualidade da tinta;
- Falha B/C. Reprodutibilidade. Sem interferência das microcápsulas.

Teste aderência Pull-Off

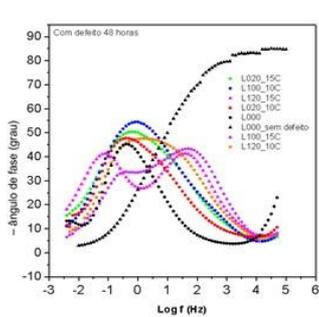
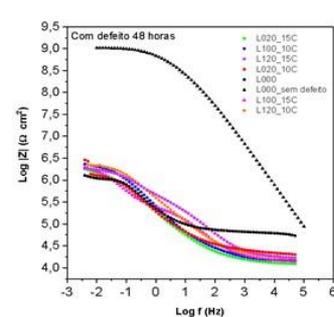
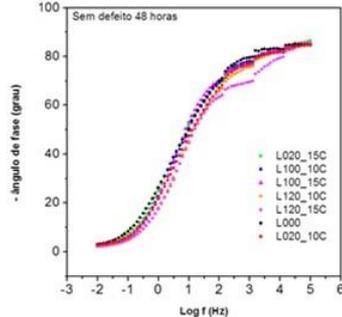
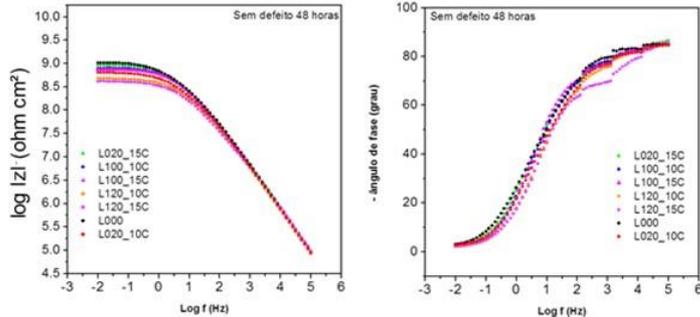
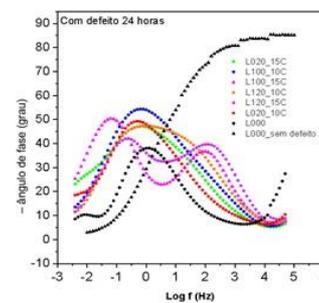
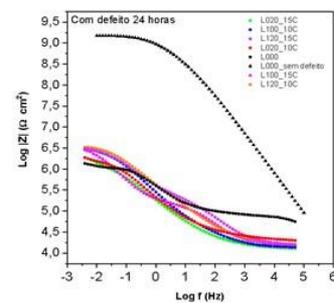
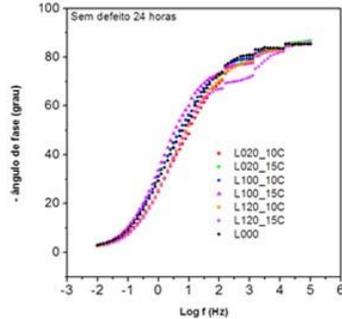
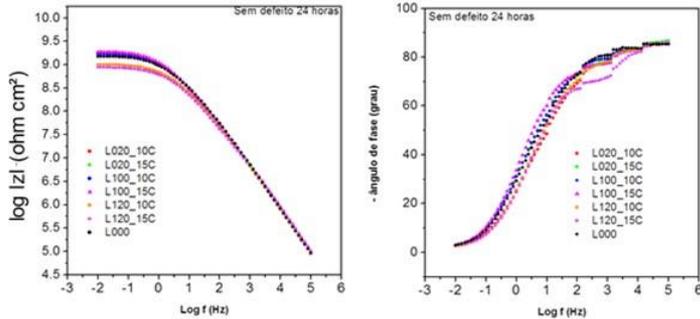
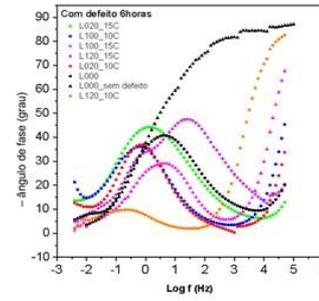
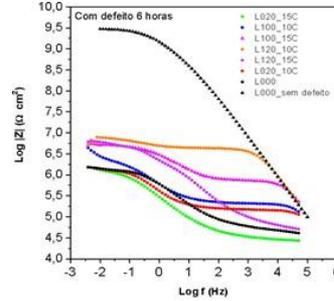
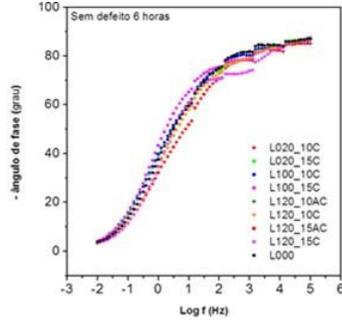
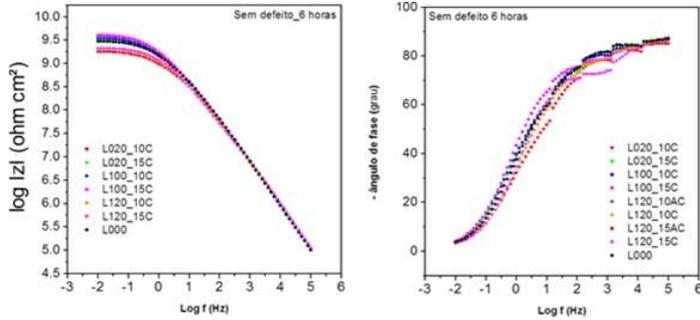


Aspecto dos corpos de prova pintados após a realização dos ensaios de aderência na posição central destes e aspecto dos respectivos pinos usados na medida.

Teste EIE (Espectroscopia de Impedância Eletroquímica)

sem defeito

com defeito



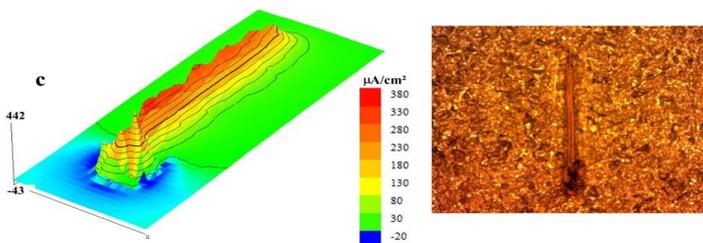
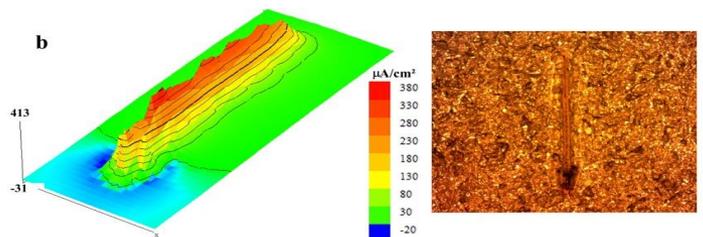
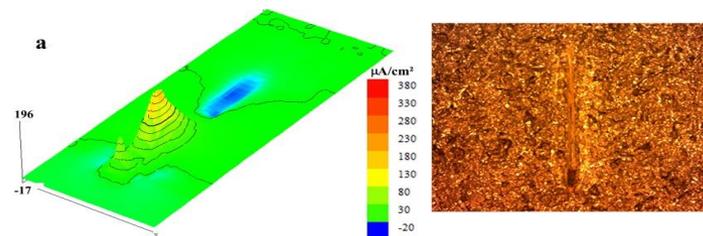
A presença de microcápsulas faz cair muito pouco a propriedade de barreira.

SEMINÁRIO
BRASILEIRO DE
**REVESTIMENTOS
EM DUTOS**

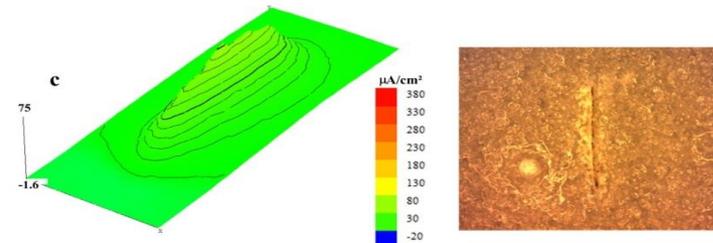
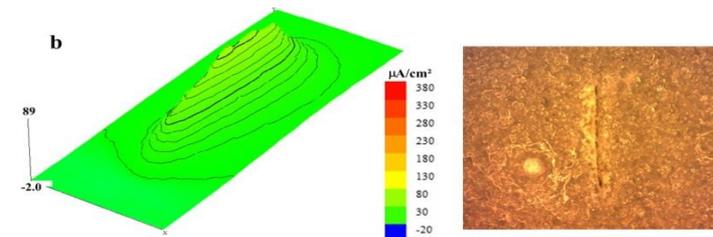
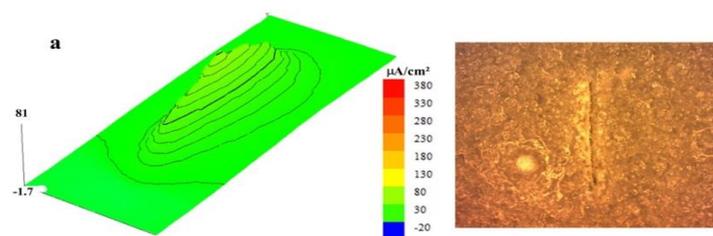
INT - Rio de Janeiro
15 de agosto

Teste Ensaios de SVET (Scanning Vibrating Electrode Technique)

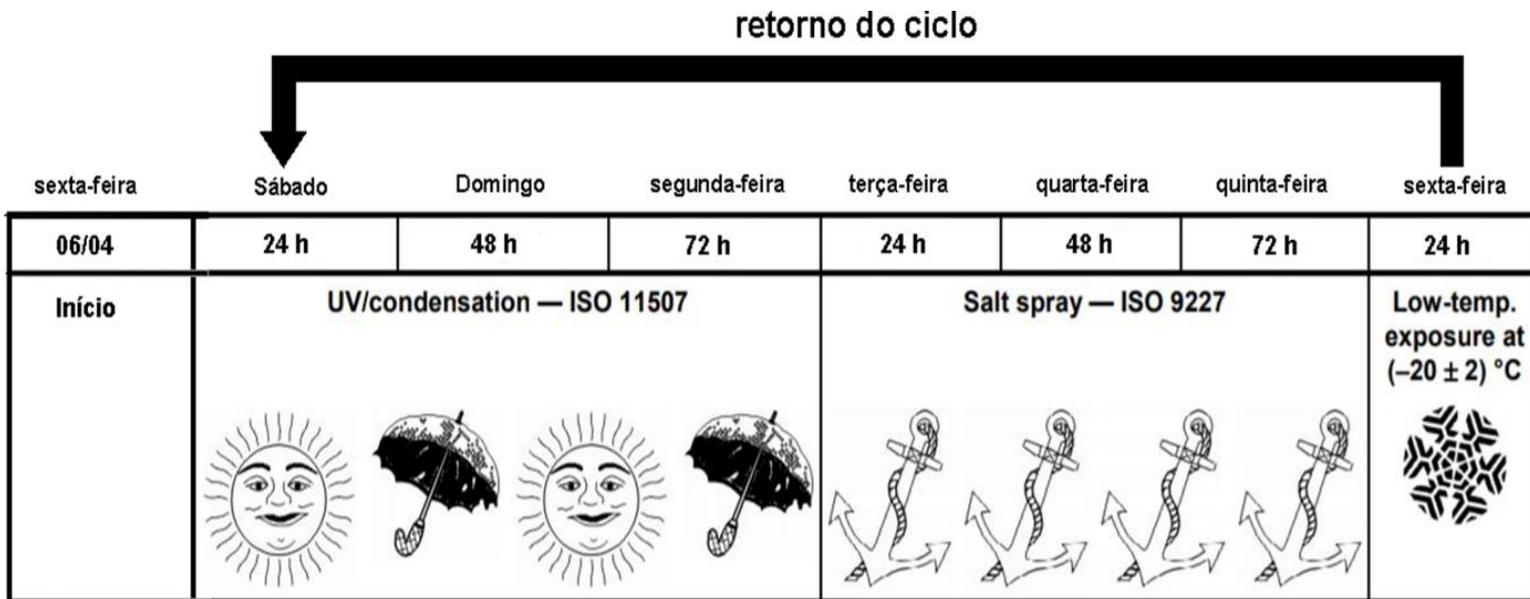
sem aditivo



com aditivo



- A espessura média da camada de tinta seca $200 \pm 5 \mu\text{m}$;
- Imersão em NaCl 0,01 mol/L por 6, 12 e 24 horas;
- Intensa atividade anódica na região do entalhe;
- Região de cor azul indica atividade catódica;
- Cp's com 15% - atividades iônicas anódica e catódica baixas;
- Comprovado o efeito autorreparador da tinta aditivada.



Início: sexta-feira 06/04 na câmara de UV

segunda-feira: sai da câmara de UV e vai para névoa salina

quinta-feira: sai da câmara de névoa salina e vai para o congelador - **LAVAR AS CHAPAS COM ÁGUA DESTILADA NESTA ETAPA!!!**

sexta-feira: retorna para a câmara de UV, completando o ciclo.

Duração total dos ensaios: 25 ciclos - 175 dias

25 ciclos, 4200 h
O ensaio terminou em 28/09/2018

SISTEMA	DESCRIÇÃO	ÁREA CORROÍDA ABSOLUTA (cm ²)	EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO (GANHO %)
123_5C	Branco (Tinta Epóxi Surface Tolerante)	33,5	-
E100_15C	Aditivo Éster de Epóxi	14,8	55,8
E120_1510C	Aditivo Éster de Epóxi	21,4	35,9
EP100_10C	Aditivo Tinta Epóxi bi-componente Surface Tolerante	17,7	47,2
HB100_2H	Aditivo Haloisita bruta sem inibidor	16,5	50,6
HB100_5H	Aditivo Haloisita bruta sem inibidor	12,5	62,7
HBC100_5H	Aditivo Haloisita bruta com inibidor	23,8	29,0
HBC100_2H	Aditivo Haloisita bruta com inibidor	22,5	32,8
HC100_2H	Aditivo Haloisita tratada com inibidor	25,6	23,5
HC100_5H	Aditivo Haloisita tratada com inibidor	22,9	31,7
HCE100_2H10EP	Aditivo Haloisita tratada com inibidor + epóxi	18,7	44,2
HCE100_2H10E	Aditivo Haloisita tratada com inibidor + éster de epóxi	12,6	62,4
HCE100_5H10E	Aditivo Haloisita tratada com inibidor + éster de epóxi	9,8	70,8
HCL100_2H10L	Haloisita tratada com inibidor + linhaça	2,5	92,4
HCL100_5H10L	Aditivo Haloisita tratada com inibidor + linhaça	3,0	91,0
HTAC100_2H	Aditivo Haloisita tratada sem inibidor	17,5	47,7
HTAC100_5H	Aditivo Haloisita tratada sem inibidor	18,5	44,7
L100_15C	Aditivo óleo de Linhaça	1,7	95,0
L120_1510C	Aditivo óleo de Linhaça	5,7	83,0

Amostra: 123-5C

Área corroída absoluta: 33,5 cm²

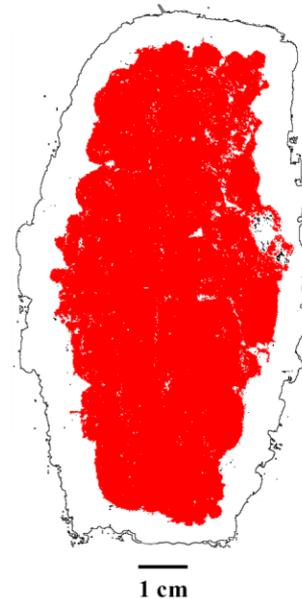
Tinta Epóxi bi-componente Surface Tolerante **SEM ADITIVAÇÃO**



Foto Original



Tratamento de Imagem



Área destacada

Amostra: E100-15C

Área corroída absoluta: 14,8 cm²

Aditivo **RESINA ÉSTER DE EPÓXI**

Ganho 55,8% de eficiência do tratamento

Observação: Produto retirado de linha

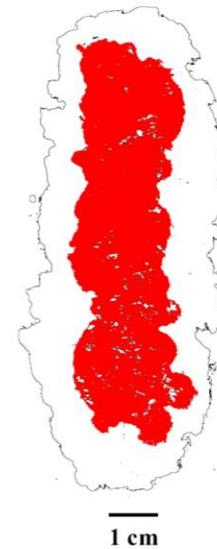


Foto Original

Tratamento de Imagem

Área destacada

Amostra: EP100-10C

Área corroída absoluta: 17,7 cm²

Aditivo **TINTA EPÓXI BI COMPONENTE**
SURFACE TOLERANTE

Ganho 47,2% de eficiência do tratamento

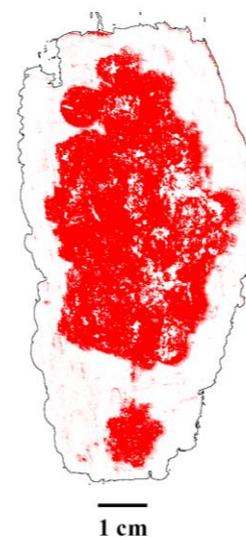
Observação: Melhoria da solução



Foto Original



Tratamento de Imagem



Área destacada

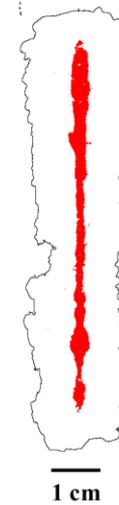
Amostra: L100-15C	Área corroída absoluta: 1,7 cm ²	
Aditivo <u>Óleo de linhaça</u>	Ganho 95,0% de eficiência do tratamento	Observação: Validação em campo. Iniciar acertos com UO's.



Foto Original



Tratamento de Imagem



Área destacada

Conclusão

1. A obtenção de microcápsulas foi realizada efetivamente;
2. A presença das microcápsulas no sistema de pintura não comprometeu as propriedades de adesão, barreira e dielétricas;
3. O sistema de pintura autorregenerante apresentou um excelente efeito de autorreparação quando comparado ao sistema tradicional;
4. Os ensaios de Pull-Off apresentaram resultados iguais e superiores as sistemas tradicionais;
5. Os ensaios cíclico comprovou a autorreparação com resultados superiores das amostras aditivadas.



Obrigado pela atenção

SEMINÁRIO
BRASILEIRO DE
**REVESTIMENTOS
EM DUTOS**
INT - Rio de Janeiro
15 de agosto

Perguntas?



André Koebisch
(021) 98116-1527
koebisch@petrobras.com.br

Idalina Vieira Aoki
idavaoki@usp.br