



Congresso Internacional de
Corrosão, Integridade,
Pintura e Revestimentos
Anticorrosivos



CORROSÃO EM ATIVOS DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Elber Vidigal Bendinelli, D. Sc.



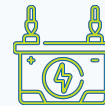
SETOR ELÉTRICO EM NÚMEROS



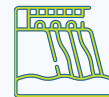
• **182 mil** Km de linhas de transmissão



• **772** subestações de energia elétrica



• **1.449** usinas hidroelétricas



• **3.484** usinas térmicas



• **881** usinas eólicas



• **7.077** usinas solares



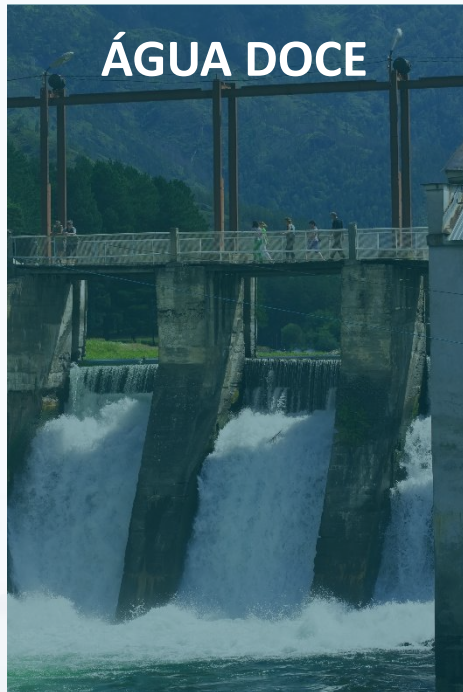
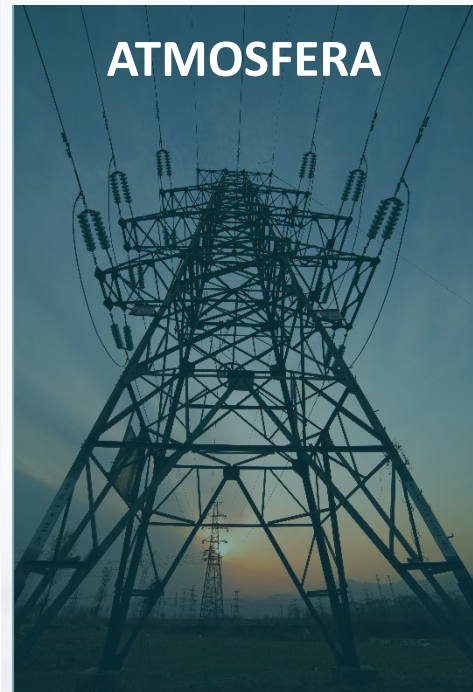
MEIOS CORROSIVOS

ATMOSFERA

ÁGUA DOCE

SOLO

USINAS



CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO



- Condições atmosféricas variadas
- Solos heterogêneos
- Estruturas submersas em parte do ano
- Operação intermitente de usinas

**PRATICAMENTE
IMPOSSÍVEL GENERALIZAR**



ATIVOS ENVIOSTOS À ATMOSFERAS



Atmosfera Úmida

Atmosfera Marinha



Atmosfera Seca



Atmosfera Urbana



Atmosfera Industrial





CASES

QUEDA DE TORRES

- Os ativos são remunerados por disponibilidade, logo, **indisponibilidade de transmissão = multa (parcela variável por indisponibilidade)**.
- Em 2022, foram apuradas 1.344 ocorrências com o total de desconto de **R\$ 351, 6 milhões das transmissoras**.

QUEDA DE TORRE = PVI

- **Principais causas:**

- Eventos climáticos severos.
- **Corrosão da fundação associada a velocidade ventos menores que os de projeto.**
- Vandalismo
- Erros de projeto

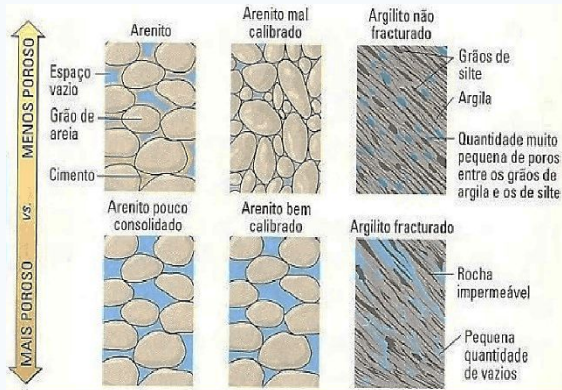


QUEDA DE TORRES POR CORROSÃO

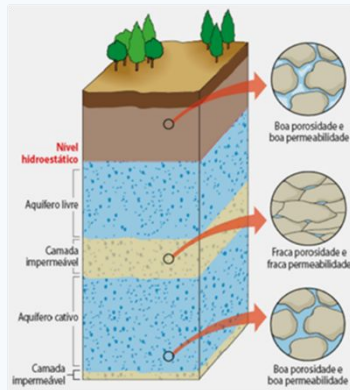
NEGLIGÊNCIAS

COMO EVITAR

GRAU DE AERAÇÃO



UMIDADE



PINTURA



CONCRETAGEM



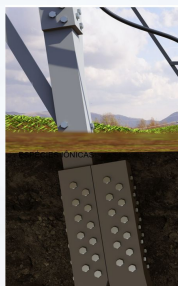
ESPÉCIES IÔNICAS



ACIDEZ



AERAÇÃO DIFERENCIAL



CONHECER A AGRESSIVIDADE

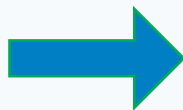
Parâmetros do solo	Pontos atribuídos
Resistividade ($\Omega \cdot \text{cm}$)	
< 700	10,0
700 – 1000	8,0
1000 – 1200	5,0
1200 – 1500	2,0
1500 – 2000	1,0
> 2000	0,0
pH	
0 – 2,0	5,0
2,0 – 4,0	3,0
4,0 – 6,5	0,0
6,5 – 7,5	0,0
7,5 – 8,5	0,0
> 8,5	3,0
Potencial Redox (mV)	
> 100	0,00
50 – 100	3,50
0 – 50	4,00
< 0	5,00
Sulfetos	
Positivo	3,5
Traces	2,0
Negativo	0,0
Umidade	
Drenagem pobre (continuamente molhado)	2,0
Drenagem razoável (geralmente molhado)	1,0
Drenagem eficiente (continuamente seco)	0,0

MANUTENÇÃO PREDITIVA



TORRE EM AMBIENTE AGRESSIVO – POLUIÇÃO QUÍMICA

LOCAL



ESTADO DA ESTRUTURA



CONTAMINANTES

- Cloretos
- Sulfatos
- Sais
- Hidróxidos

Padrão Não Visual NV - 3 > 50 µg/cm²

TORRE EM AMBIENTE AGRESSIVO – POLUIÇÃO QUÍMICA

SOLUÇÃO

- Construção e instalação de uma torre nova
- Nova especificação de pintura
- Aço galvanizado com espessura compatível
- Acompanhamento da pintura e montagem



PINTURA DO ABAFADOR DE GASES

LOCAL

Usina térmica próxima ao mar

Equipamento abafador de gases quentes

Condições operacionais:

- Névoa salina
- Radiação solar
- Operação a elevadas temperaturas (~300 °C)



Esquema de pintura com resistência a elevadas temperaturas:

- Substrato: aço carbono
- Primer: tinta à base de silicone pigmentada com zinco
- Acabamento: tinta à base de silicone modificada com acrílica pigmentada com alumínio

Descascamento da pintura

Pintura sobre carepa?

PINTURA DO ABAFADOR

Ensaio de laboratório

- Ensaio cíclico de corrosão modificado da ISO 12944-9 (névoa salina + UV-B + condensação + estufa a 210 °C)
- Choque térmico (freezer a -30°C para mufla a 300 °C)
- Aderência
- TGA
- Teste qualitativo de identificação de carepa de laminação

Ensaio cíclico (720 h)

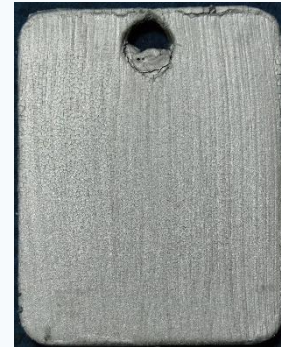


Grau Sa3



Grau A

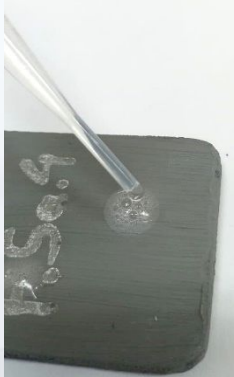
Choque térmico (38 ciclos)



Grau Sa3



Grau A



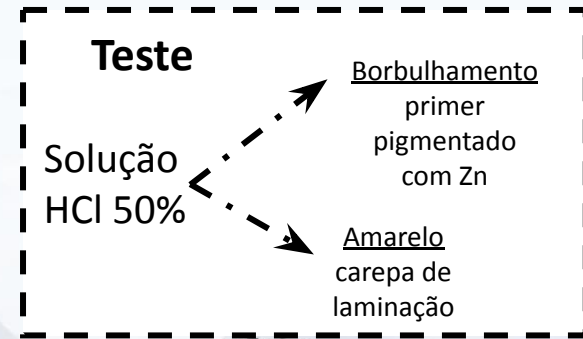
Primer com Zn



Carepa de laminação



Teste feito em campo



Positivo para carepa

MUDANÇA DE MATERIAL EM ESFERA DE SINALIZAÇÃO



Corrosão nos cabos



Reparação em helicóptero



A empresa optou por reparo ao invés da troca dos cabos danificados



MUDANÇA DE MATERIAL EM ESFERA DE SINALIZAÇÃO

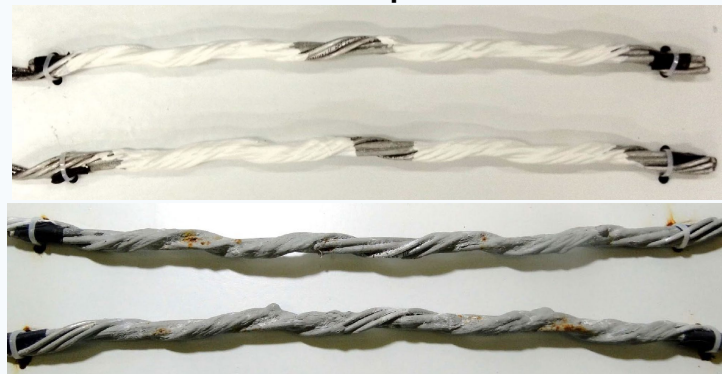
Envelhecimento em laboratório



Após 600 h de ensaio

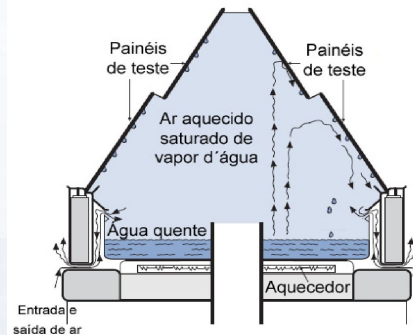


Aplicação de elastômeros monocomponente



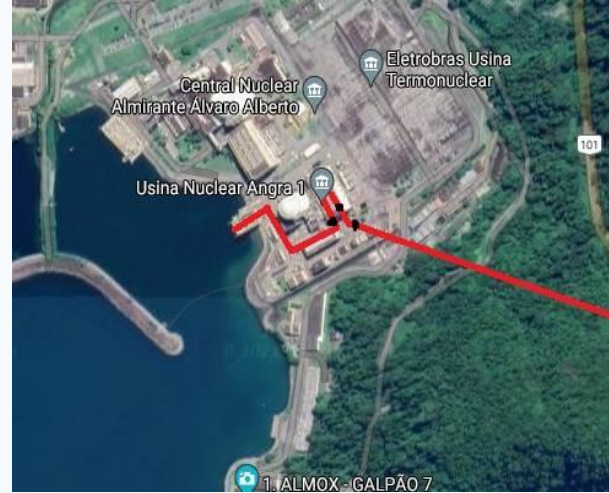
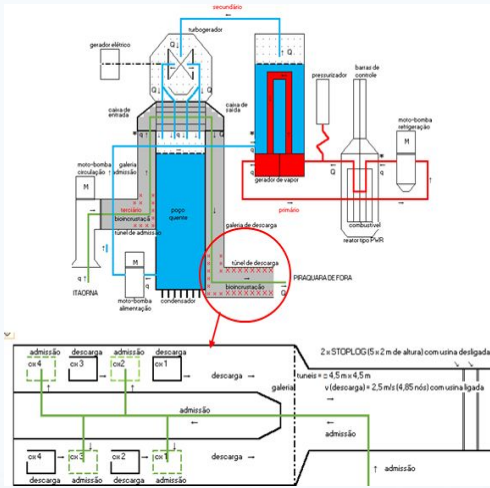
Câmara de condensação de umidade

Apenas um produto apresentou desempenho satisfatório



TINTAS ANTIINCRUSTANTES EM TÚNEL DE ÁGUA DO MAR

- Em 2017, a bioincrustação tomava todo o túnel de descarga.
- Em alguns pontos a bioincrustação estava inativa devido ao biocida.
- Não era possível inspecionar o concreto e a armadura.
- Foram selecionadas 5 áreas na região da bioincrustação no início do túnel de descarga para remoção da bioincrustação e aplicação das diferentes tecnologias.



TINTAS ANTIINCRUSTANTES EM TÚNEL DE ÁGUA DO MAR

ANO	ESQUEMAS				
	E1	E2	E3	E4	E5
2017 (INICIAL)					
2018					
2020					

ESTACAS HELICOIDAIS COMO FUNDAÇÃO DE TORRES

MOTIVAÇÕES

- Tipo de fundação helicoidal de histórico recente no SEN cerca de 15 anos.
- Falta padronização dos materiais utilizados na fabricação deste tipo de fundação.
- O uso de metal nu em solo sem proteção anticorrosiva adicional somente espessura de sacrifício.
- Histórico recente de problemas nas empresas Eletrobras.



ESTACAS HELICOIDAIS COMO FUNDAÇÃO DE TORRES

- **DOIS SOLOS DISTINTOS:**

- Solo contaminado: adição de cloreto de sódio (NaCl)

- Solo não contaminado: sem adição de cloreto de sódio (NaCl)

- **Aço carbono**
Utilização de 3 tipos de materiais (54 corpos de prova):

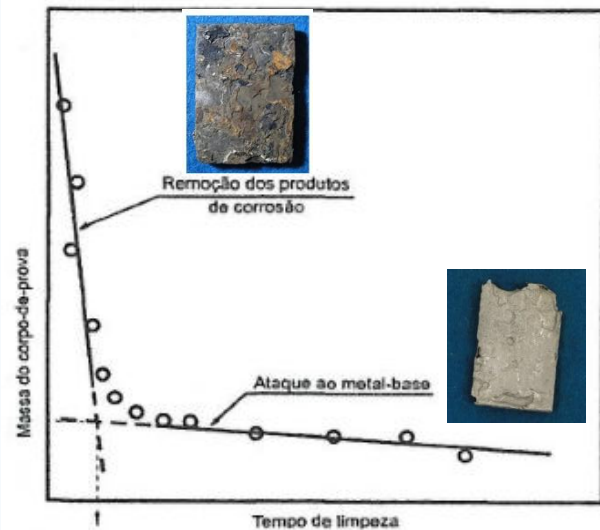
Monitoramento

- Duração do ensaio: 5 anos (2018) com retiradas anuais.

Aço galvanizado

- 1) Resistividade elétrica do solo (Método de Wenner)

- 2) Ensaio eletroquímico (potencial de circuito aberto)



ESTACAS HELICOIDAIS COMO FUNDAÇÃO DE TORRES

Material

Tempo (anos)

1 ano

2 anos

3 anos

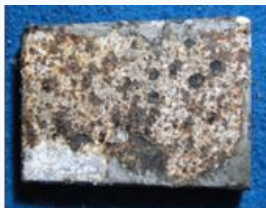
4 anos

5 anos

Aço Carbono



Aço Galvanizado

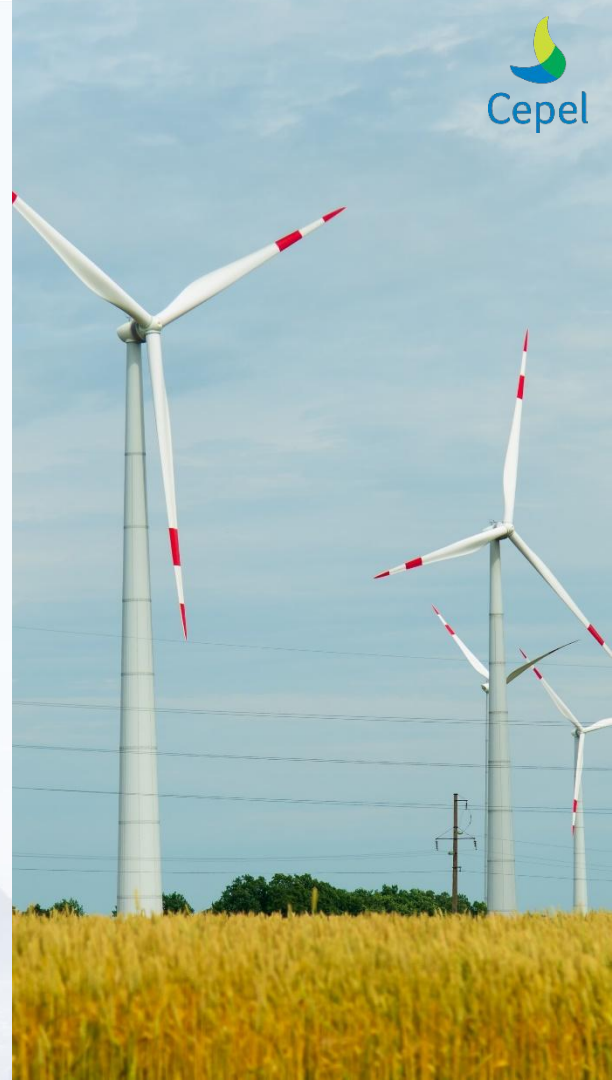


Aço Patinável



PANORAMA GERAL

- Este trabalho reforça a **importância da gestão proativa da manutenção com foco na corrosão**, sendo a causa primordial de falha e indisponibilidade de ativos na matriz energética brasileira.
- **Investimentos contínuos em tecnologias e práticas de controle de corrosão são extremamente necessários**, bem como a importância da regulamentação e fiscalização eficazes para assegurar a integridade dos ativos de infraestrutura do país.
- Destaque especial para a inspeção e manutenção preditiva como elementos-chave desse esforço para controle da corrosão dos ativos.





OBRIGADO!

Elber Vidigal Bendinelli

elbervb@cepel.br
(21) 2598-6226



in

[company/cepel](https://www.linkedin.com/company/cepel)



[@cepeloficial](https://www.youtube.com/@cepeloficial)



[@cepeloficial](https://www.instagram.com/cepeloficial)

