



ICZ
Instituto de Metais
Não Ferrosos

GALVANIZAÇÃO NA MINERAÇÃO




Tema

“Benefícios do uso de estruturas galvanizadas contra a corrosão, comparativo de custos e casos de sucesso no setor de Mineração”

Agenda

- **Custo com a Corrosão**
- **Galvanização & Sustentabilidade**
- **Comparativo de custos**





**Quem é o maior
consumidor de
aço no mundo?**



CORROSÃO
=
FERRUGEM

Corrosão

Tendência que os materiais têm de retornar ao seu estado natural, ou seja, o minério, no caso do aço.



A corrosão é um fenômeno que **depende do ambiente**, podendo ser mais agressiva em algumas áreas e menos agressiva em outras. A presença de **saís, gases e umidade, associados a temperaturas altas e ventos** podem tornar um ambiente extremamente agressivo ao aço.

Aproximadamente **30% da produção mundial de ferro e aço é perdida com a corrosão**, pois os metais sempre tendem a voltar para o seu estado de menor energia (estado de maior estabilidade), como minério.

Custos com corrosão correspondem de 1 a 5% do PIB dos países.



Estimativa média do custo de corrosão:
3,4% do PIB global

PIB 2020 Br = R\$7,4 trilhões
~4% do PIB gastos em manutenção da corrosão
~R\$ 296 bilhões

Com a utilização de **técnicas adequadas de proteção contra corrosão**, estima-se que poderiam ser economizados cerca de **25% - R\$ 74 bi/ano**

Fonte: NACE International Report – IMPACT
<http://impact.nace.org/economic-impact.aspx>
<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/>



Métodos de proteção de aço

Ligas com outros materiais:

- Aço inoxidável - cria uma camada de óxido de cromo;
- Aço patinável - camada protetora de Ferro, Cobre e Fósforo.

Revestimentos protetores:

- Orgânico - Tintas e vernizes;
- Cerâmicos;
- **Metálico - Galvanização ou metalização.**

Métodos eletroquímicos:

- Proteção catódica por ânodos de sacrifício.



Corrosividade Atmosférica

O zinco possui um tempo de vida bastante prolongado. Os índices de corrosão do zinco dependem do local onde estão instaladas as estruturas de acordo com a categoria de corrosividade.

Categoria de corrosividade	Taxa média anual de corrosão do zinco ($\mu\text{m}/\text{ano}$)	Taxa média anual de corrosão do aço carbono ($\mu\text{m}/\text{ano}$)
C1 – Muito Baixa interior: seco	<0,1	<1,3
C2 – Baixa interior: condensação ocasional exterior: rural	0,1 a 0,7	1,3 a 25
C3 – Média interior: alta umidade, pouca poluição no ar exterior: interior urbano ou costa urbana	0,7 a 2,1	25 a 50
C4 – Alta interior: piscinas, plantas químicas exterior: interior industrial ou costa urbana	2,1 a 4,2	50 a 80
C5 – Muito Alta interior: edificações ou áreas com condensação quase que permanente e com alta poluição exterior: industrial com alta umidade ou alta salinidade costal	4,2 a 8,4	80 a 200
CX – Extrema interior: edificações ou áreas com condensação quase que permanente e com alta poluição exterior: área costeira e "offshore" com alta salinidade	8,4 a 25	>200



Fatores que determinam a Corrosividade Atmosférica de acordo com a ISO 9223:

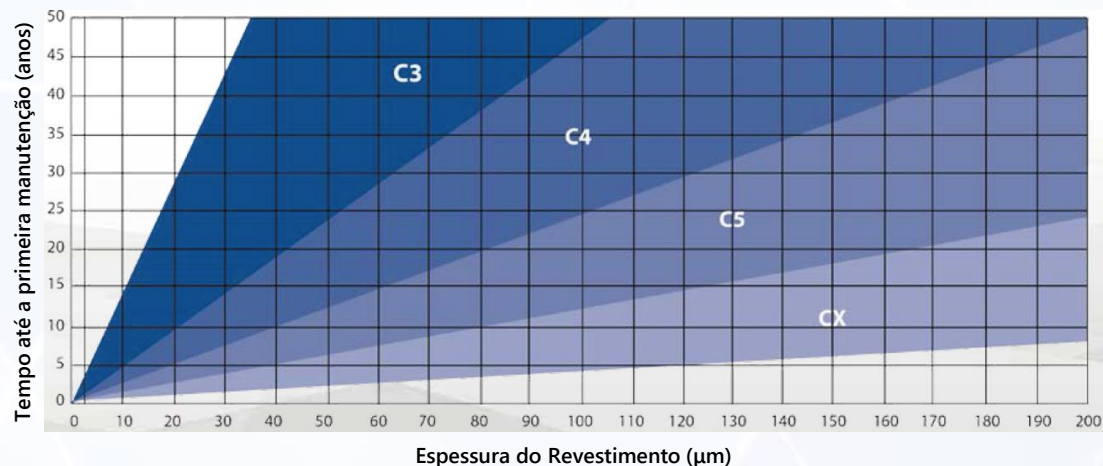
- Humidade do ambiente;
- Concentração de cloreto;
- Concentração de dióxido de enxofre.

Corrosividade Atmosférica

A relação entre a espessura do revestimento galvanizado e o tempo estimado para se realizar uma manutenção é possível ver na tabela abaixo.

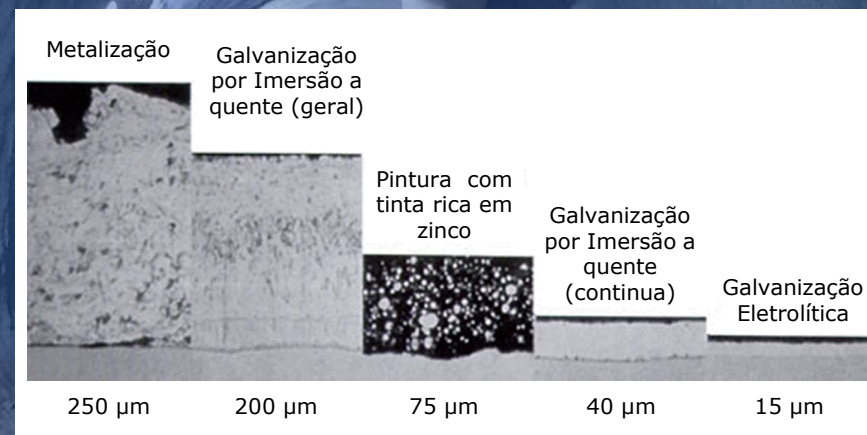
Sistema	Norma de Referência	Espessura Mínima (µm)	Categoria de Corrosividade (ISO 9223) – Tempo de vida min/máx. (anos)			
			C3	C4	C5	CX
Galvanização a quente	ISO 14713-1	85	40/>100	20/40	10/20	3/10
		140	67/>100	33/67	17/33	6/17
		200	95/100	48/95	24/48	8/24
Chapa galvanizada a quente	EN 10346	20	10/29	5/10	2/5	1/2
		42	20/60	10/20	5/10	2/5
Chapa eletro depositada	ISO 2081	5	2/7	1/2	1/1	0/1
		25	12/36	6/12	3/6	1/3

Relação entre a espessura do revestimento galvanizado e o tempo estimado de vida útil.



Métodos de Combate à Corrosão

Existem diversos revestimentos disponíveis no mercado para a proteção contra corrosão:



Critérios para definição do sistema adequado

- Tamanho da estrutura;
- Agressividade do ambiente que está inserido;
- Condições de acesso em caso de necessidade de manutenção;
- Durabilidade esperada.

Galvanização & Sustentabilidade

Estima-se que de **cada 2 toneladas de aço** produzidos, **1 é para substituir** o aço corroído.

Galvanização - É o uso eficiente do zinco para proteger o aço por longos períodos, **economizando recursos** com um menor impacto ao meio ambiente.



USP / IZA

+ sustentável -manutenções

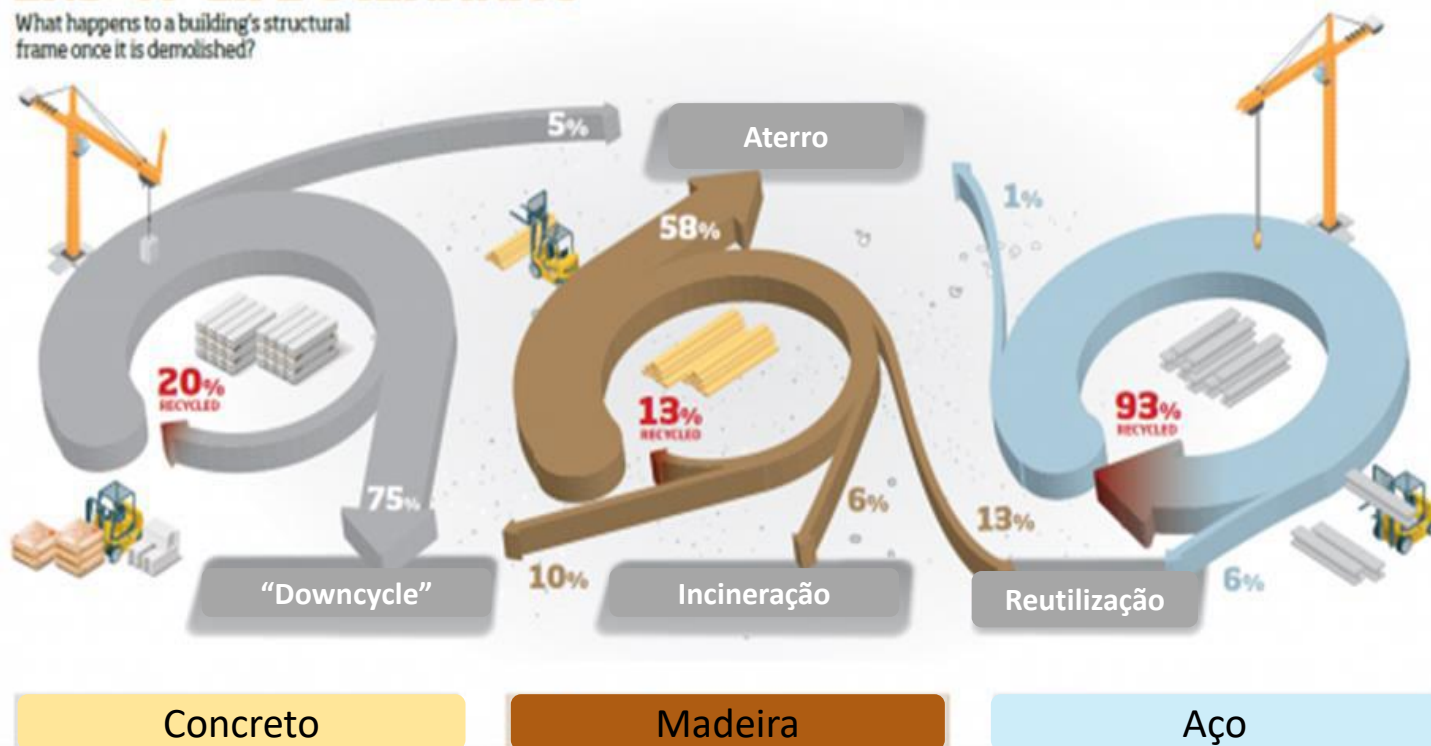


Galvanização & Sustentabilidade

Cenário de fim da vida útil - O que acontece com o marco estrutural de um edifício uma vez demolido?

END-OF-LIFE SCENARIOS

What happens to a building's structural frame once it is demolished?



Galvanização & Mineração

A indústria da mineração possui **investimentos significativos em infraestrutura**, na qual o **aço desempenha um papel muito importante**, pois está presente em diversas estruturas, como por exemplo:

- **Superfície** (suportes para tanques, pórticos para tubulações, esteiras/correias transportadoras, chaminés, estruturas de armazenamento, escadas e trilhos).
- **Transporte** (estações de transferência de minério, trilhos móveis elétricos);
- **Poços e galerias** (escoras, artefatos de aço para estações e cavaletes);
- **Retenção** (suportes de teto, estribos para tubos);

Realizar **manutenção nessas estruturas pode ser complicado** devido ao entorno onde estão instaladas, incluindo **ambientes que constantemente contém gases corrosivos**, ou mesmo pelo seu **acesso limitado**, como ocorre nos poços e galerias.

Portanto, deve-se especificar um sistema de proteção para o aço que **não necessite de manutenção**, que seja duradouro e econômico.

A GALVANIZAÇÃO PROPORCIONA AO AÇO

proteção **contra corrosão** e resistência à abrasão

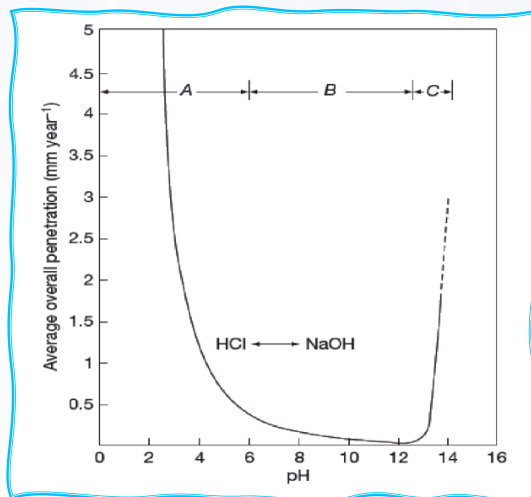


Foto: Projeto Aripuanã – Nexa Resources

Galvanização & Mineração

Os **entornos da indústria de mineração** podem ser agressivos e as demandas impostas para o aço são muitas vezes extremas, o que **expõe o aço a um esforço máximo**. Tais condições incluem:

- **Imersão total em água**
- **Condições de abrasão e impacto**
- **Umidade de longo prazo em superfícies**
- **Temperaturas elevadas**
- **Acidez e alcalinidade**

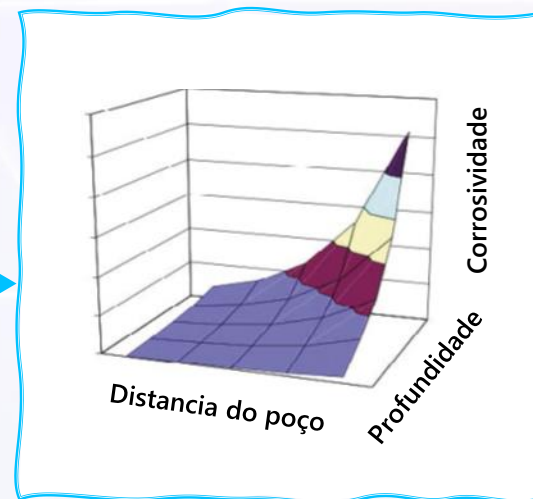


Efeito do pH na taxa de corrosão: (A) corrosão rápida, (B) película estável – baixa taxa de corrosão, (C) corrosão rápida.
*Reproduzido de Roetheli, B.E., Cox, G.L.;
Littreal, W.B. Metals and Alloys 1932, 3, 73.*

Os principais ambientes são subterrâneos, para logo poder realizar o beneficiamento de minerais na superfície e/ou para o transporte.

Quando subterrâneos, à medida que **aumenta a profundidade e a distância do poço** em direção à área de trabalho, a **gravidade da corrosão e a incidência de danos mecânicos** aumenta significativamente.

Por isso, a **galvanização por imersão a quente é extremamente recomendada** para os projetos de mineração, além de possuir um histórico de sucesso na proteção contra corrosão do aço desses ambientes.



Se utilizar o sistema duplex será possível melhorar ainda mais essa performance!

Fonte: IZA - International Zinc Association

Case Aripuanã

Planta de mineração da Nexa Resources

A mina de Aripuanã está localizado no Mato Grosso e o projeto prevê a **mineração de zinco, cobre e chumbo**. O início das obras aconteceu em 2019 e o startup para a produção de zinco está previsto para fim de 2021, início de 2022.

A Nexa está buscando incorporar o que há de **mais moderno em tecnologia** e **excelência operacional** neste projeto, além da **visão de sustentabilidade** em todos os processos. A empresa possui uma meta de reutilização de 100% da água, a construção de depósito de rejeitos a seco, foco na cocriação de um legado para a comunidade e o uso da

galvanização nas estruturas em aço do projeto.

O projeto contará com uma mina subterrânea, instalações de apoio operacional e administrativo e uma planta de beneficiamento do minério polimetálico para a produção concentrados de zinco, cobre e chumbo.

Case Aripuanã

Planta de mineração da Nexa Resources

Projeto foi 100% adequado para ser galvanizado, um exemplo disso é que foram substituídas as estruturas soldadas, por fixadas com parafusos também galvanizados.

Serão utilizados
~3.100 toneladas de
estruturas metálicas
galvanizadas no
projeto

O QUE SERÁ GALVANIZADO

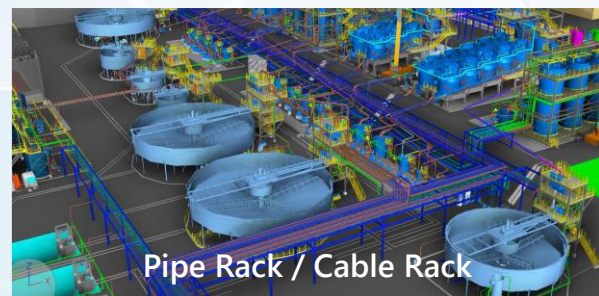
- Estruturas metálicas da construção dos prédios da usina de beneficiamento;
- Pipe-racks;
- Almoxarifado;
- Oficina de equipamentos móveis e depósitos;
- A estrutura das correias transportadoras.

Case Aripuanã

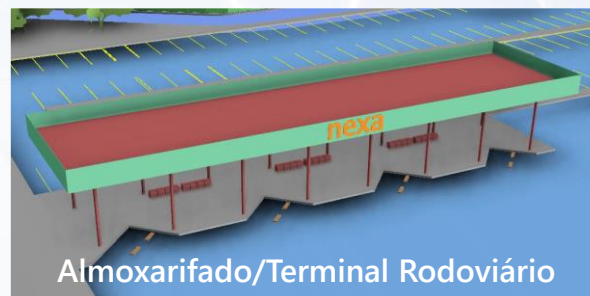
Planta de mineração da Nexa Resources

A galvanização das estruturas metálicas das correias transportadoras compreende: longarinas, treliças, apoios, articulações, travessas de passadiços, cavaletes de roletes, suportes de tambores e das casas de transferência.

Exemplos do projeto:



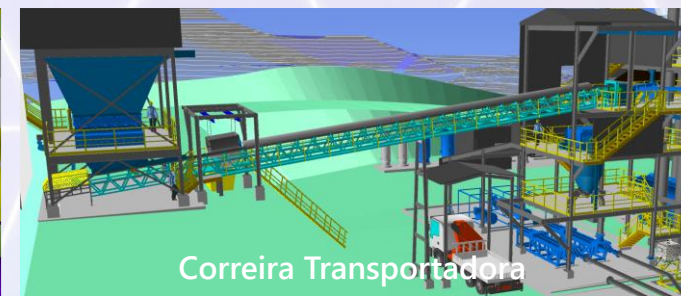
Pipe Rack / Cable Rack



Almoarifado/Terminal Rodoviário



Oficina de Equipamentos Móveis



Correia Transportadora

Fonte: Apresentação SNC Lavalin no WKS de Galvanização 2019 e Documento Nexa de contratação da correia transportadora



Case Aripuanã

Planta de mineração da
Nexa Resources

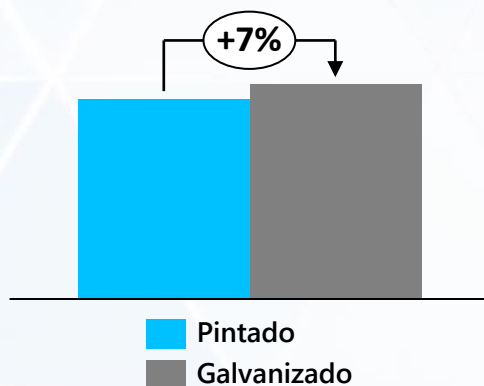


Case Aripuanã

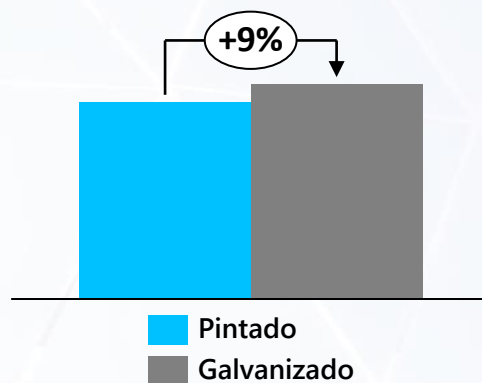
Planta de mineração da Nexa Resources

Quando comparados os **custos iniciais** da galvanização com os da pintura, cotados por diferentes empresas, temos em média:

Estruturas Metálicas



Correia Transportadora



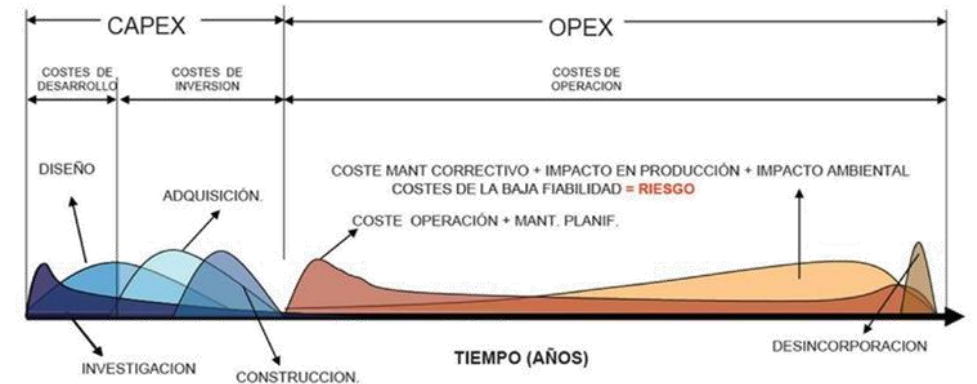
Por buscar a **excelência operacional** ao longo dos anos, diminuição das **paradas para manutenção** e **despesas com corrosão**, o projeto adotou a utilização da galvanização por imersão a quente.

Fonte: Equipe de CAPEX e Engenharia Nexa

Comparativo de Custos

Conceito do custo do ciclo de vida

- A **sustentabilidade** se concentra em ter uma visão de futuro. Portanto, deve-se evitar preocupar-se somente com o **presente**, que considera apenas os **custos iniciais**, e adotar uma mais **progressista** que inclua a análise dos **custos de longo prazo**.
- Avaliar o custo de um projeto ao longo da sua **vida útil** garante maior estabilidade econômica para as **futuras gerações**.
- No setor da construção, se utiliza principalmente a “**Análise de Custo do Ciclo de Vida**” (LCCA), que é um método de **avaliação comparativa** que permite determinar o “**custo real**” das alternativas de projeto de uma obra.
- Ferramenta automatizada para cálculo de LCC: lcc.galvanizeit.org



$$LCC_{VPN} = \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1 + TED)^n}$$

$$LCC = C_I + C_{E\&A} + C_{OM\&R} + C_R + C_O + C_{EX,MA} - VR$$

Onde:

N = horizonte da análise (em anos)

C_n = custo do ciclo de vida executado no período n

n = período (ano) de execução de custos C_n

TED = taxa de desconto efetiva

Onde:

C_I = custos iniciais (compra, aquisição e construção)

C_{E&A} = custos de despesas operacionais de energia, água e outras utilidades

C_{OM&R} = operação, manutenção e custos de reparo

C_R = custos de reposição de capital

C_O = outros custos (impostos financeiros ou especiais)

C_{EX,MA} = custos de externalidades ambientais

VR = valor residual ou remanescente da infraestrutura no final do período de estudo

Comparativo de Custos

Conceito do custo do ciclo de vida

- **Custos diretos** (iniciais e de manutenção);
- **Custos indiretos** (facilidade de acesso e tempos de deslocamento até o local de execução do projeto, perda de produtividade durante a manutenção, clima, etc);
- Alguns estudos mostram que os **custos indiretos** são, geralmente, **de 5 a 11 vezes mais onerosos** que o custo direto total;
- Para **sistemas de pintura** e revestimentos industriais de **alto rendimento**:
 - ✓ O **material** (sistemas de pintura/revestimento disponível);
 - ✓ O **número de revestimentos** necessários para enfrentar o meio ambiente;
 - ✓ O **método de limpeza** da superfície;
 - ✓ Se necessário, um **ambiente coberto** para permitir o processo de aderência.

Cost Comparison

HDG vs. Epoxy 100% Sol Pent Sealer/Epoxy

	HDG	Paint System
Initial Cost		
Per ft ²	\$1.76	\$4.20
Total	\$1,364,000.00	\$3,256,550.00
Life-Cycle Cost		
Per ft ²	\$3.83	\$136.00
Total	\$2,968,250.00	\$105,400,000.00
AEAC		
Per ft ²	\$0.11	\$3.91

For this project...

HDG Life-Cycle Cost Savings: 97%

Project Specs

3,100.00 short tons
Project Size

60 Years
Expected Life-Span

Simple - 50-100' high
Structure Type

Typical mix size/shapes
Member Type

Heavy Industrial (C51)
Service Life Environment

Paint System

2-Coat System comprised of:
Epoxy 100% Sol Pent Sealer/Epoxy, SP-10 Automated surface prep. and 6mil minimum DFT.

Currency, Units & Assumptions

Calculations are based on U.S. units of measure and figured in USD.

Inflation and interest are figured at rates of 3% and 2%, respectively.



Report generated by
lccc.galvanizeit.org

Comparativo de Custos

Conceito do custo do ciclo de vida

Custo Inicial da galvanização por imersão a quente em comparação com sistemas de pintura e outros revestimentos

Sistema de Revestimento	Custo Inicial	
	US\$/pie ²	Total US\$
Galvanização a quente	1,76	88.000
Pintura epóxi	2,61	130.600
Pintura epóxi / poliuretano	2,82	141.200
Revestimento IOZ ⁽¹⁾ / epóxi	2,85	142.700
Revestimento IOZ ⁽¹⁾ / epóxi / poliuretano	4,17	208.800
Sistema Duplex (galvanização, pintura epóxi, poliuretano)	5,22	260,750
Metalização com zinco e selador	8,13	406.450

- **Notas:** 75 anos de vida útil do projeto • C3: Categoria de corrosividade média • Mezcla típica de tamanhos e formas (250ft²/ton • 50.000 ft² de projeto / 40 toneladas • 3% de inflação, 2% de juros.

Fonte: Reimpreso de "Galvanizado en Caliente: Cuesta Menos, Dura Más" (Información y estudios de caso que examinan la naturaleza rentable del galvanizado en caliente). Por American Galvanizers Association [AGA], 2015, (p.7), Centennial, Colorado, USA.

Custo do Ciclo de Vida (LCC) e **Custo Equivalente Anual Médio (AEAC)** de diferentes sistemas de proteção contra corrosão

Sistema de Revestimento	Custo do Ciclo de Vida (LCC)		
	US\$/pie ²	Total US\$	AEAC ⁽²⁾ US\$/pie ²
Galvanização a quente	4,17	208.500	0,10
Sistema Duplex (galvanização, pintura epóxi, poliuretano)	22,45	1.122.500	0,58
Revestimento IOZ ⁽¹⁾ / epóxi	35,91	1.795.500	0,93
Revestimento IOZ ⁽¹⁾ / epóxi / poliuretano	38,26	1.913.000	0,99
Pintura epóxi	38,31	1.915.500	0,99
Pintura epóxi / poliuretano	51,90	2.595.000	1,34
Metalização com zinco e selante	60,99	3.049.500	1,58

- **(1)** IOZ – Inorganic Zinc
- **(2)** Além do custo total do ciclo de vida, alguns especificadores preferem olhar para o custo equivalente médio anual (AEAC), que converte todo o fluxo de custo atual e futuro para um valor presente (isto é, pega VPL (LCC) e distribui a soma em quantidades iguais ao longo da vida da estrutura).



Sustentável

Estético

GALVANIZE

Galvanização =
Sustentabilidade

Reciclável

Durável

Ágil

Produtivo

Versátil

Resistente

Econômico

Delhi - Templo de
Lotus da Fé Bahai



Obrigado!

Renato Tozin
renato.tozin@nexaresources.com

icz@icz.org.br
Tel: 55 11 3214-1311
www.icz.org.br

