

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## **Aumento da Durabilidade das Estruturas de Concreto usando vergalhão de aço galvanizado**

Lucy Inês Oliven<sup>a</sup>; Luércio Scandiuzzi<sup>b</sup>; Olga Shizue Taki<sup>c</sup>;  
Tarcísio Dias Ferreira<sup>d</sup>; Daniele Beatriz Palmiro Albagli<sup>e</sup>

### **Abstract**

Inspections have been carried out in 243 concrete structures in inland and coastal areas based on Sabesp civil maintenance plan. The analysis of the results showed that 45 % of the anomalies are due to corrosion of reinforcements; 63 % of these anomalies occurred at the internal side of the concrete covering slabs and 89 % of these anomalies were caused due to low concrete coverage. The corrosion was accelerated by the action of the chloride ions. Based on these findings and to remedy the anomalies, this work was conducted aiming at comparing the cost of repairs carried out with steel bars, with and without zinc coating, taking into account the "Net Present Value" for the initial investment and maintenance requirements over 30, 40 and 50. Hot dip galvanizing is one of the corrosion protection processes used to improve the overall durability of reinforced concrete. The zinc coating delays the onset of corrosion of the steel bars, because zinc corrosion rates are about 10 to 30 times lower than the steel corrosion rates. This coating reduces the risk of cracking, rust stains and disruption of concrete. It reduces also the frequency and magnitude of the concrete repair and extends the service life of the structure (4 to 5 times), providing security and sustainability to the concrete structures. It also provides reduction of social costs with the reduction of outages of water supply for the population, due to less frequent maintenance

**Keywords:** galvanized steel, corrosion, management, civil maintenance, drinking water reservoir.

### **Resumo**

Com base no Plano de Manutenção Civil da Sabesp - Companhia de Saneamento Básico de São Paulo, foram realizadas inspeções civis em 243 estruturas de concreto das unidades do interior e litoral. A análise dos resultados mostrou que 45 % das anomalias eram decorrentes de armaduras corroídas; destas 63 % estavam localizadas na face interna das lajes de cobertura, com 89 % dessas anomalias são causadas por deficiências no recobrimento de concreto das armaduras e agravado pela ação de íons cloretos. Com base nestas constatações para suprir estas deficiências, foi realizado este trabalho que tem por objetivo comparar o custo dos reparos realizados com armaduras de aço, com e sem revestimento de zinco, levando em conta o "Valor Presente Líquido" para o investimento inicial e as manutenções necessárias ao longo de 30, 40 e 50 anos. A zincagem por imersão a quente é uma das

<sup>a</sup> Mestre, Engenheira Civil e Professora de Materiais de Construção da Fundação Armando Álvares Penteado – FAAP, TechConsult Engenharia

<sup>b</sup> Engenheiro Civil - TechConsult Engenharia

<sup>c</sup> Engenheira Civil – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP

<sup>d</sup> Engenheiro Civil – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP

<sup>e</sup> Engenheira Química – Votorantim Metais

diversas medidas de proteção contra a corrosão, usada para melhorar a durabilidade geral do concreto armado. O revestimento do aço retarda o início da corrosão, já que o zinco sofre corrosão a taxas entre 10-30 vezes inferiores ao aço. Este revestimento reduz os riscos de fissuras, manchas de ferrugem e a desagregação do concreto. Reduz, também a frequência e a magnitude dos reparos do concreto, aumenta a vida útil da estrutura (cerca de 4 a 5 vezes) proporcionando segurança e sustentabilidade à obra. Proporciona, ainda, redução dos custos sociais com a diminuição de paralisações do abastecimento de água para a população, devido a menor frequência de manutenções.

**Palavras-chave:** aço galvanizado, corrosão, gestão, manutenção civil, reservatório de água potável.

## **Introdução**

---

A SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo é responsável pela implantação, operação e manutenção do sistema adutor e de distribuição de águas nas unidades do interior e do litoral do Estado, além da região metropolitana. A Companhia implantou um Plano de Manutenção Civil, (1) que se iniciou pela realização de inspeções civis e criação de índices para priorizar as ações de reparos e recuperações em suas estruturas de concreto.

A análise dos resultados dos problemas patológicos encontrados nas inspeções realizadas em 197 reservatórios de água potável, localizados em todo o interior e litoral do Estado, foi realizada da seguinte maneira:

- o primeiro parâmetro estudado determinou qual a taxa de deterioração apresentada pelas 197 estruturas inspecionadas, em função da relação entre as áreas deterioradas e totais;
- após a avaliação dessa taxa de deterioração, o próximo passo foi detectar o tipo de anomalia que mais afetou estas estruturas e a face em que isso ocorreu;
- uma vez determinada a patologia que mais contribuiu para a deterioração dessas estruturas, assim como a face em que isso ocorreu, foram realizadas análises para verificar qual elemento estrutural é mais propenso à anomalia de maior incidência (laje de cobertura, laje de fundo, parede, viga ou pilar);
- na sequência, detectou-se para o elemento mais atingido, qual a causa da anomalia que mais ocorreu.

Este estudo mostrou que as anomalias mais encontradas são de corrosão das armaduras, que estão na face interna das lajes de cobertura, e que foram causadas por problemas no cobrimento da armadura (insuficiência de espessura, defeitos construtivos ou má qualidade do concreto) e, também agravados pela ação do cloro.

Com o objetivo de aumentar a durabilidade das estruturas, enfocando o problema primordial de combate à corrosão de armaduras (2), estudou-se uma alternativa de processo de recuperação das estruturas, substituindo o AC- carbono tradicional pelo aço com revestimento de zinco obtido por imersão a quente, assunto principal deste artigo.

A comparação foi feita com base nas características técnicas dos dois materiais e no estudo econômico, levando em consideração o “Valor Presente Líquido” para o investimento inicial e as manutenções necessárias ao longo de 30 anos, 40 anos e 50 anos de operação das estruturas.

Neste trabalho, estão discutidos os resultados obtidos nas comparações dos dois métodos de recuperação apontando as vantagens e desvantagens de cada um.

## **Metodologia**

---

Atendendo ao plano de manutenção civil da Companhia, foram realizadas inspeções visuais em 243 estruturas de concreto, das unidades do interior e do litoral, para identificação de problemas patológicos, com atribuição de índices que avaliam o grau de deterioração, garantindo a priorização dos serviços corretivos. Para tanto, cada anomalia foi cadastrada com sua respectiva causa e sua intensidade, tornando-se possível ter uma visão global, bem como as consequências para a estrutura como um todo.

Após a realização das inspeções e compilação dos dados levantados em campo, partiu-se para o tratamento das informações obtidas, através de um sistema informatizado, a fim de se obter uma visão geral dos principais problemas observados.

Como o resultado das inspeções mostrou que a anomalia mais freqüente foi a corrosão de armaduras, procurou-se uma solução que promovesse o aumento da durabilidade das estruturas. A galvanização a quente como um revestimento do aço ajuda a protegê-lo nas situações de agressividade do meio.

Paralelamente, foi realizada uma análise técnica comparativa das principais ações da galvanização a quente com zinco, com o objetivo de verificar a adequação deste processo ao processo construtivo de recuperação de estruturas com armaduras expostas e corroídas.

Em seguida, foram determinadas as etapas executivas para os dois processos de recuperação e calculados os custos para a recuperação de cada uma das estruturas utilizando o processo construtivo tradicional com aço sem revestimento e o processo construtivo com aço galvanizado por imersão a quente do zinco.

Como a durabilidade dos dois processos é diferente alterando a freqüência de manutenção, com todos os custos advindos deste fato e o investimento inicial também, só que de maneira inversa, foi necessária a utilização de conceitos de “Valor Presente Líquido”.

A análise foi concluída a partir da constatação da viabilidade do uso do processo com aço galvanizado e constatação das situações em que este material se torna economicamente favorável, considerando a vida útil aumentada e a diminuição das manutenções requeridas.

A Figura 1 mostra o aspecto típico da corrosão de armadura na face inferior da laje de cobertura de reservatórios.



Figura 1 – Anomalias típicas de regiões com corrosão de armaduras

## Resultados e discussão

### Problemas Patológicos Detectados nos 197 Reservatórios de Água Potável da Sabesp

A Figura 2 apresenta o gráfico dos dois primeiros parâmetros analisados, quais sejam as anomalias e a face atingida.

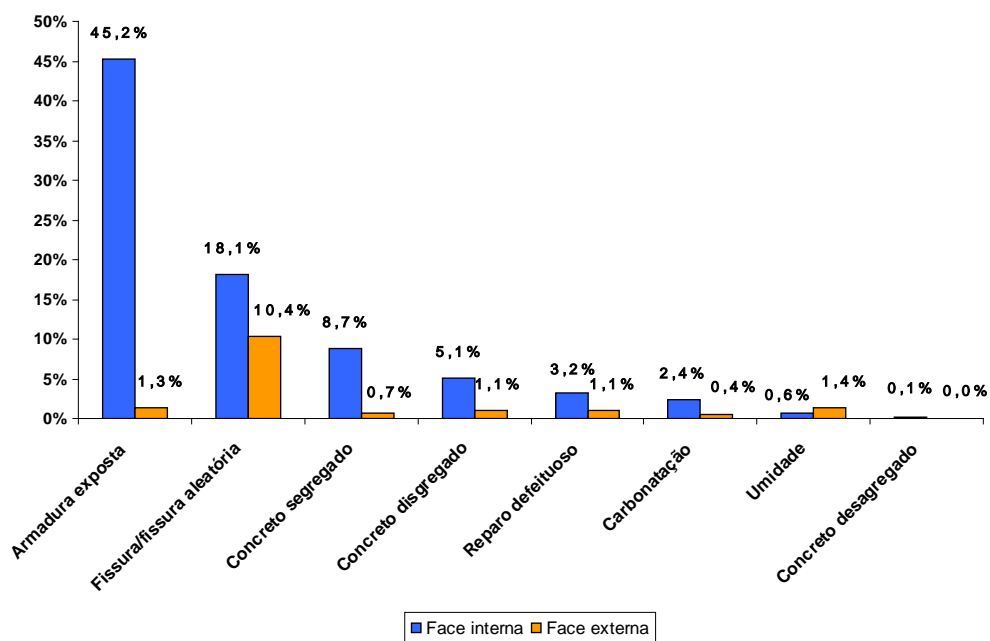
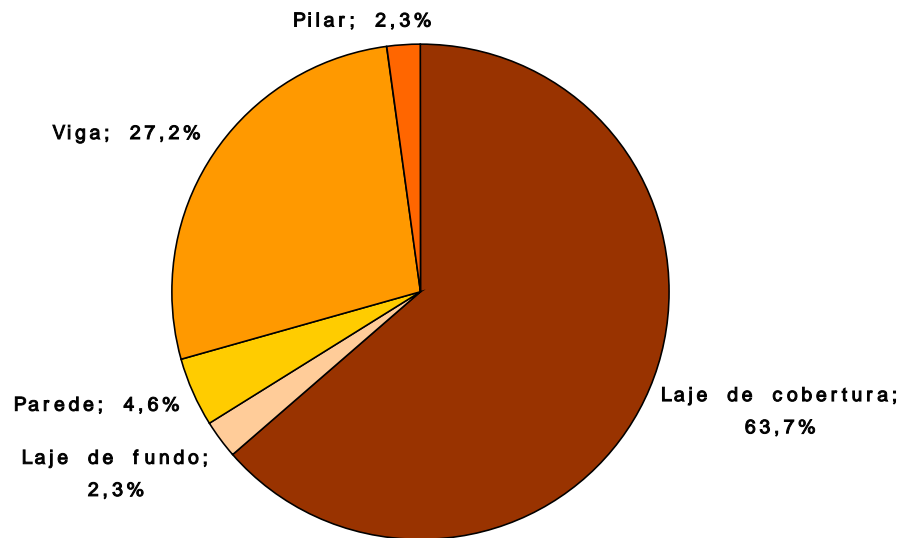


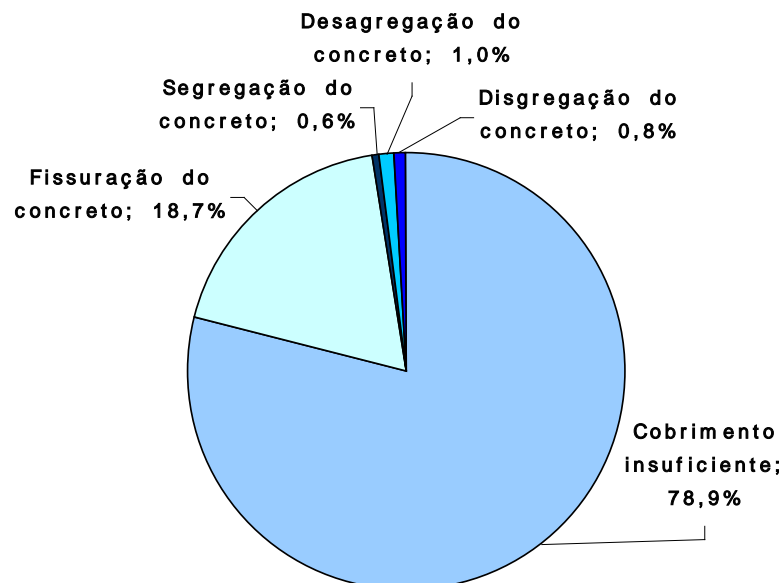
Figura 2 – Gráfico dos tipos de anomalias observadas nas 197 estruturas – faces internas e externas.

Constatou-se que a anomalia mais recorrente é a armadura exposta e corroída nas faces internas dos reservatórios. A Figura 3 apresenta a distribuição das percentagens nos elementos estruturais.



**Figura 3 – Distribuição da área afetada por armadura exposta e corroída na face interna dos elementos estruturais dos reservatórios analisados.**

A maior incidência desse tipo de anomalia ocorreu na laje de cobertura, com cerca de 64 %, e a causa provável para essa anomalia, foi a deficiência de cobrimento da armadura, com cerca de 79 %, conforme mostrado na Figura 4.



**Figura 4 – Causas de ocorrência de armaduras expostas e corroídas nas lajes de cobertura dos reservatórios analisados.**

O fluxograma da Figura 5 mostra os resultados obtidos.

A partir deste estudo, verificou-se que 45 % das anomalias encontradas são de corrosão das armaduras, 63 % das armaduras corroídas estão na face interna das lajes de cobertura, com 89 % dessas anomalias causadas por cobrimento insuficiente da armadura e, também agravado pela ação do cloro.

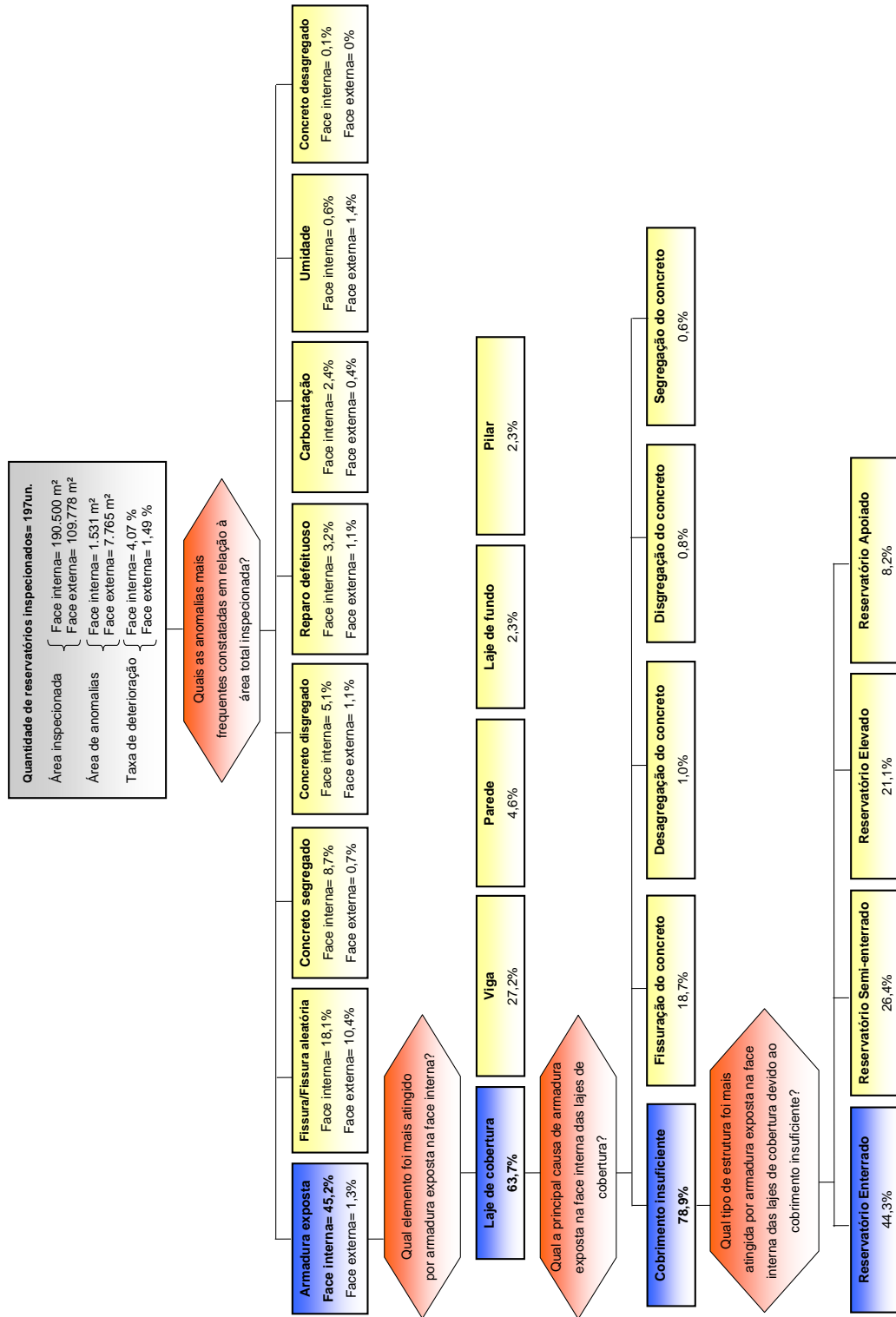


Figura 5 – Fluxograma apresentando os resultados obtidos no levantamento das anomalias



## Análise Comparativa das Características Técnicas dos Aços Com e Sem Revestimento de Zinco

A galvanização por imersão a quente é um processo simples e rápido que consiste na imersão do aço em um banho de zinco fundido a 450 °C. Durante essa imersão, ocorre uma reação metalúrgica entre o aço e o zinco produzindo um revestimento contínuo formado por uma série de camadas de liga ferro- zinco e uma camada externa de zinco puro (ver Figura 6).



Figura 6 – Esquema típico de um revestimento galvanizado por imersão a quente (3)

A ligação metalúrgica garante forte aderência do revestimento de zinco no aço (Figura 7), o qual é muito superior se comparada a outras formas de revestimento, como o epóxi aplicado por fusão. Além disso, o revestimento de Fe-Zn apresenta dureza maior que o aço em si, conferindo ao mesmo elevada resistência à abrasão. Desta maneira o aço galvanizado não exige precauções especiais para proteger o revestimento durante o manuseio, transporte e instalação na obra.

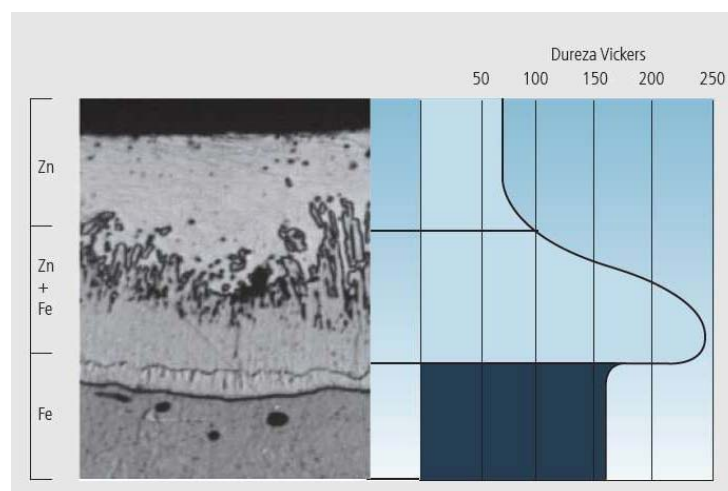
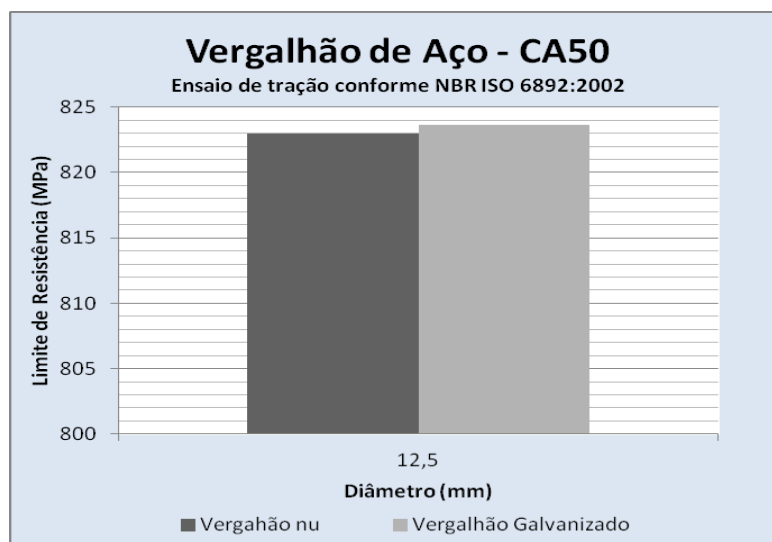


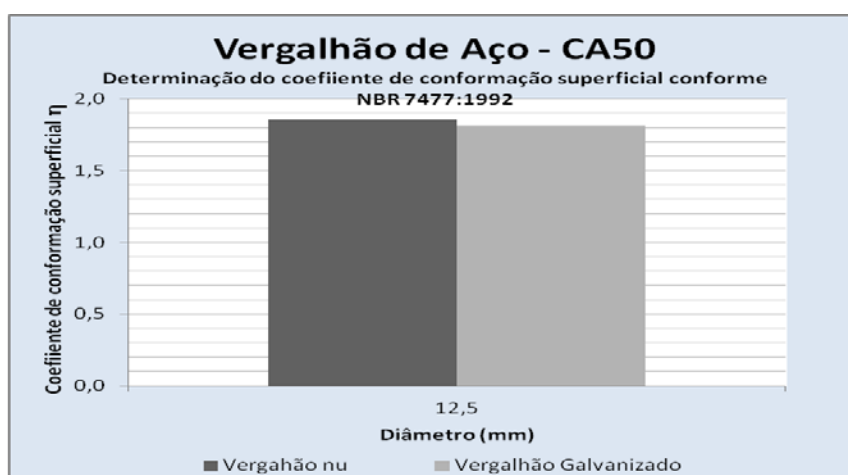
Figura 7 – Microsecção da camada galvanizada por imersão a quente, mostrando as variações por rigidez através do revestimento. As ligas de zinco-ferro são mais rígidas do que a base de aço (3)

Os vergalhões galvanizados por imersão a quente, conforme norma ASTM 767, apresentam desempenho aos esforços de tração similar aos vergalhões nus (ver Figura 8). O processo de galvanização a quente não afeta as propriedades mecânicas do aço para concreto armado, e também, não afeta as características para dobramento. Os vergalhões galvanizados não apresentam trincas nem fissuras na região tracionada quando submetidas ao ensaio de dobramento de 180° - conforme NBR 6153:1988 – Produtos metálicos – Ensaio de dobramento semi-guiado.



**Figura 8 – Resultados de ensaios de tração para vergalhão com e sem revestimento de zinco (3)**

Uma boa aderência entre a armadura e o concreto é essencial para o desempenho confiável do concreto armado. Os vergalhões galvanizados por imersão a quente possuem aderência similar aos vergalhões nus. A média do coeficiente de conformação superficial das faces do vergalhão galvanizado  $\eta = 1,8$  atende os requisitos da norma de ABNT NBR 7480 – Aço destinado a armaduras de concreto armado ( $\eta = 1,5$  mínimo) – ver Figura 9.



**Figura 9 – Resultados de ensaios de determinação do coeficiente de conformação superficial em vergalhões com e sem revestimento de zinco (3)**



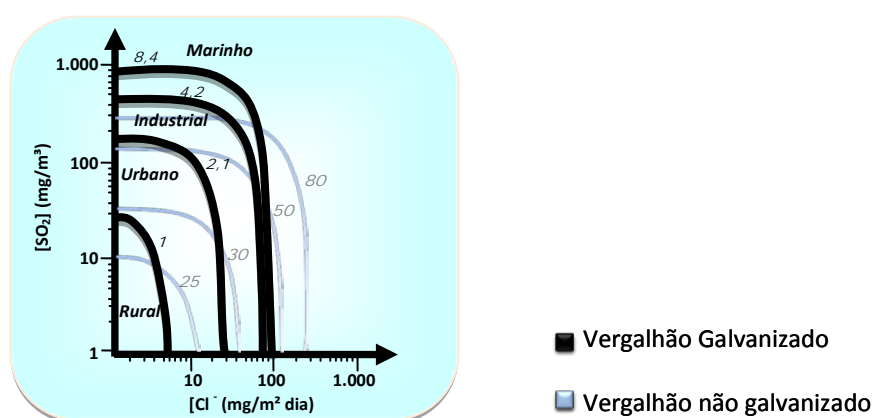
A Tabela 1 apresenta resultados dos ensaios de tração à temperatura ambiente – NBR ISO 6892:2002 – Materiais metálicos e o ensaio de determinação do coeficiente superficial – 7477:1992 de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado.

**Tabela 1 – Resultados de Ensaio Mecânicos com Vergalhões com e sem Revestimento de Zinco (3)**

Amostra	Limite de Resistência (MPa)		Limite de Escoamento (MPa)		Coeficiente de Conformação Superficial $\mu$		Massa Linear (kg/m)	
	Vergalhão		Vergalhão		Vergalhão		Vergalhão	
	Nu	Galvanizado	Nu	Galvanizado	Nu	Galvanizado	Nu	Galvanizado
1	825	816	645	619	1,9	1,7	0,949	0,993
2	820	822	596	637	2,1	1,8	0,962	0,973
3	836	815	588	623	1,8	1,4	0,948	0,982
4	822	820	647	629	1,8	2,1	0,947	0,986
5	818	833	604	631	1,6	1,8	0,956	0,970
6	814	852	601	657	2,0	2,0	0,955	0,967
7	825	821	608	629	2,2	1,8	0,954	0,985
8	825	818	615	612	1,7	1,7	0,941	0,988
9	822	816	621	618	1,6	2,0	0,939	0,991
Média	823	824	614	628	1,9	1,8	0,950	0,982
Mín. *	540		50		1,5		(0,905 a 1,201)	

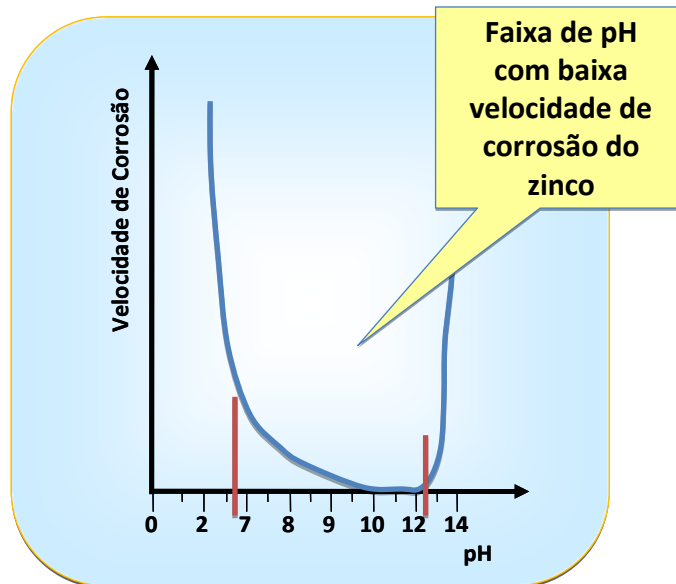
\* Valores limites estabelecidos pela Norma NBR 7480:2007

As estruturas de concreto armado estão expostas a diferentes condições ambientais. As causas mais frequentes de corrosão do concreto armado são: redução da alcalinidade devido à presença de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico e/ou outros elementos ácidos (carbonatação) e a ação de íons despassivantes como cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) na presença de oxigênio (ver Figura 10).



**Figura 10 - Relação entre concentração de  $\text{SO}_2$  na atmosfera, velocidade de depósito dos cloretos sobre a superfície e velocidade de corrosão do aço em  $\mu\text{m}/\text{ano}$  (4)**

O vergalhão galvanizado não sofrerá esses efeitos produzidos pela carbonatação à medida que o concreto envelhece, pois o zinco tem uma faixa de pH de passivação muito maior que o aço (pH entre 4 e 12) –ver Figura 11.



**Figura 11 - Evolução da velocidade de corrosão do zinco em função do pH do ambiente (4)**

O aço galvanizado também pode suportar exposição a meios com concentrações de cloreto superiores às suportadas pelo aço sem proteção. Quando utilizado o aço sem proteção, deve-se considerar 0,4 % como limiar superior de íons cloreto por massa de cimento. Já para o aço galvanizado, esse limite se eleva a 1,0 %.

A galvanização mantém a integridade do concreto. O zinco sofre corrosão a taxas entre 30-40 vezes inferiores ao aço, dissolvendo-se gradualmente e formando produtos de corrosão que são menos volumosos que os óxidos de ferro equivalentes, não apresentam uma fase expansiva volumosa, migram distanciando-se do contato com o vergalhão e preenchem as fissuras e vazios no concreto. Como resultado o concreto não sofre deteriorização.

### **Análise Comparativa Econômica**

As etapas do procedimento padrão ou convencional usadas correntemente para a recuperação das regiões das estruturas com corrosão de armaduras estão esquematizadas na Figura 12.

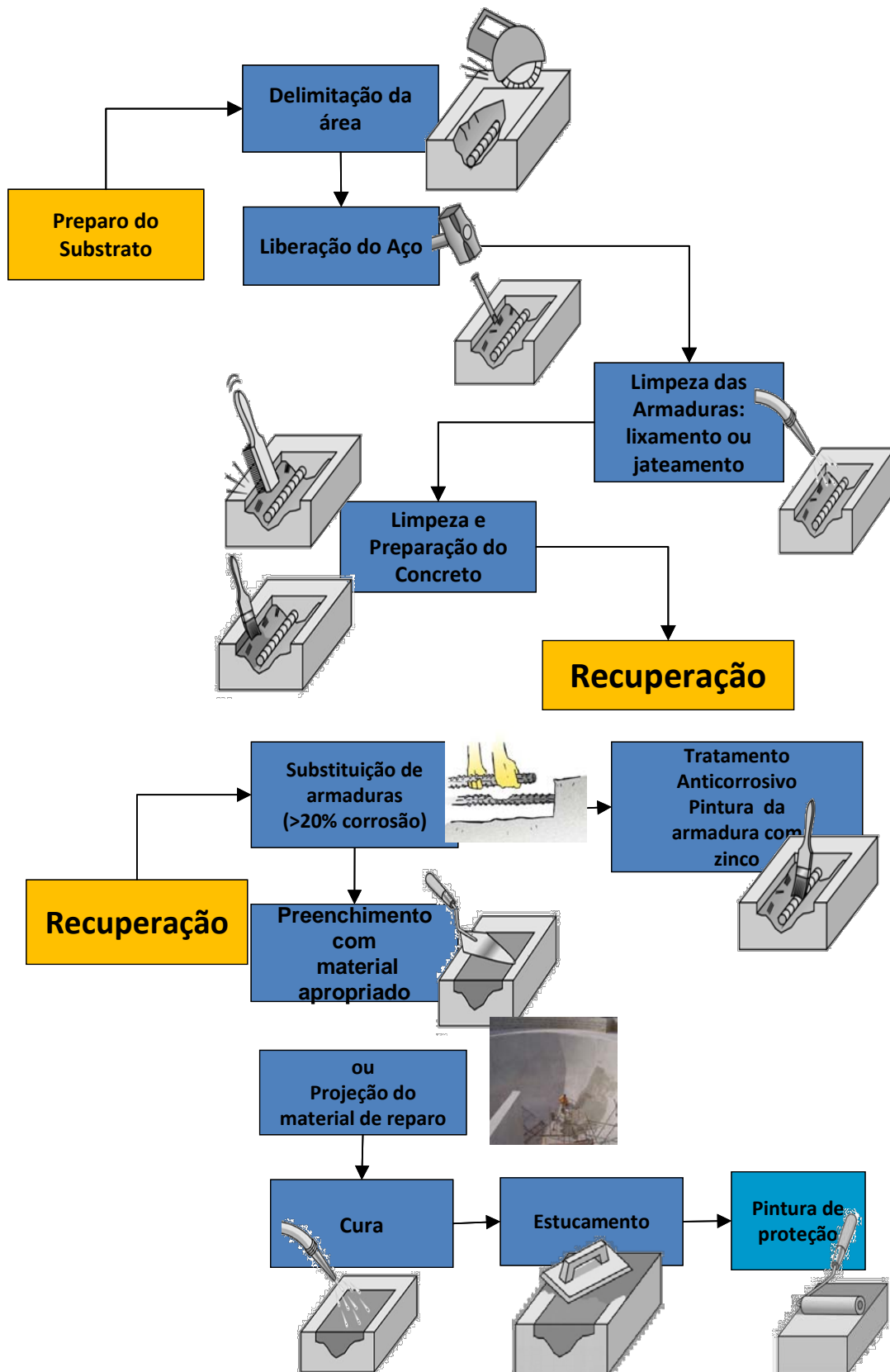


Figura 12 – Fluxograma das etapas do procedimento padrão para recuperação das estruturas com corrosão das armaduras, utilizando vergalhão sem tratamento superficial (1)

O procedimento alternativo proposto neste trabalho, utilizando vergalhão galvanizado, ou seja, utilizando aço com revestimento de zinco por imersão a quente para aumentar a durabilidade das estruturas, está esquematizado na Figura 13. Com um **X** estão destacadas as etapas que não são necessárias no procedimento usando o aço galvanizado.

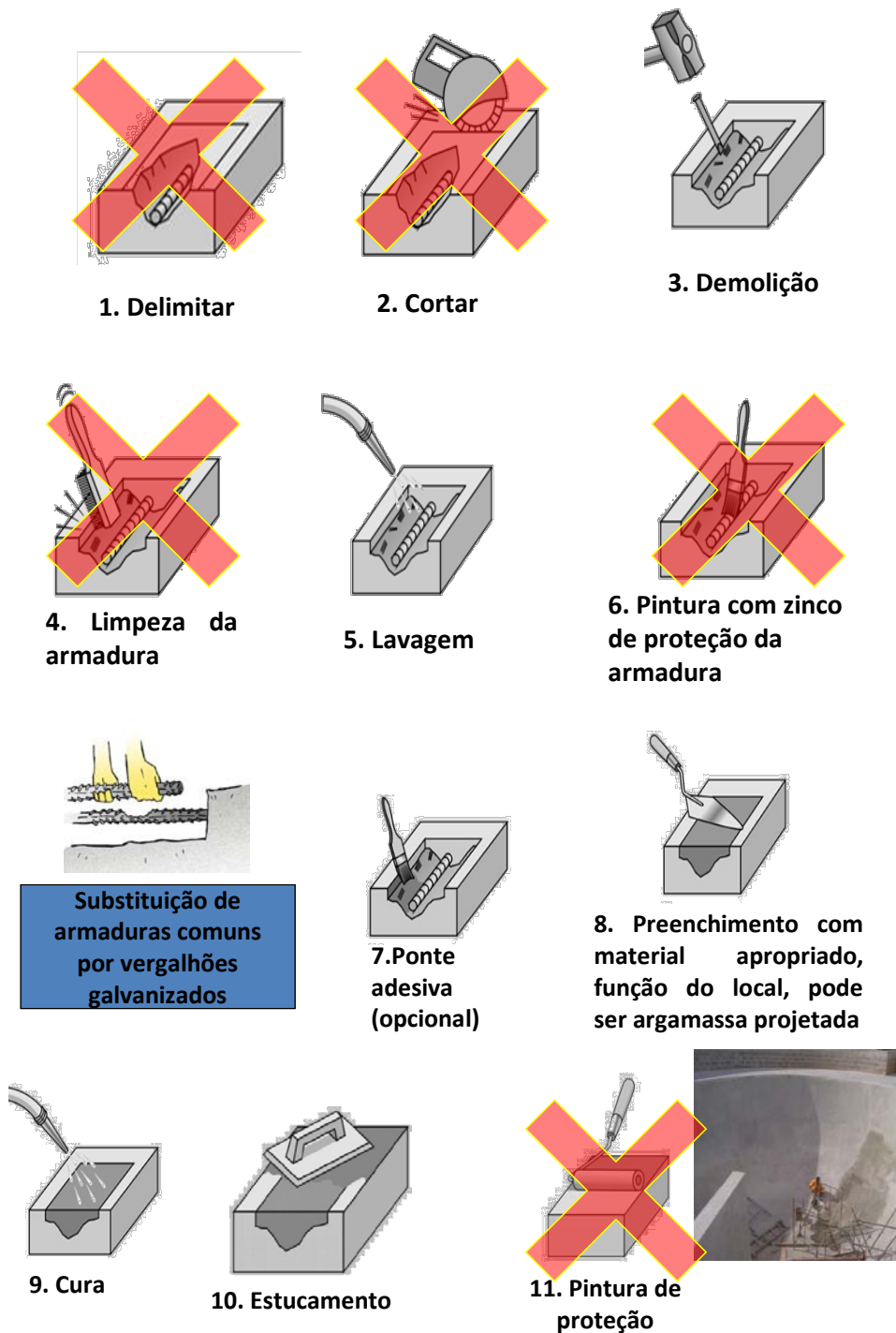


Figura 13 – Fluxograma das etapas do procedimento alternativo para recuperação das estruturas com corrosão das armaduras, utilizando vergalhão com revestimento de zinco

Para cada etapa apresentada na Figura 13, para os dois procedimentos, foi feito o orçamento, com base nos preços praticados pela Sabesp, e assim foram calculados os custos de recuperação para cada uma das estruturas dos reservatórios inspecionados, utilizando aços com e sem revestimentos de zinco. Este estudo foi feito para uma das Unidades de Negócio da Sabesp do litoral.

Foi adotado para o preço do aço galvanizado o dobro do preço do aço comum, uma estimativa a favor da segurança, pois este produto ainda não está disponível no banco de preços da Sabesp.

Existem diversos métodos para calcular vantagens ou desvantagens econômicas, sendo um deles, o VPL = Valor Presente Líquido, que considera o custo do empréstimo do dinheiro, o custo inicial, os custos de manutenções subsequentes, até a vida útil de projeto.

Assim para a manutenção a cada 10 anos, tem-se:

$$VPL = 1 + \underbrace{M_1 / ((1+r)^{p_1})}_{2009} + \underbrace{M_2 / ((1+r)^{p_2})}_{2019} + \underbrace{M_3 / ((1+r)^{p_3})}_{2029} + \dots$$

Onde:

VPL = Valor Presente Líquido;

$M_1$  = Custo da manutenção no ano  $p_1$ ;

$M_2$  = Custo da manutenção no ano  $p_2$ ;

$r$  = Taxa de retorno.

A seguir estão apresentados dois exemplos da comparação de custos para a construção de uma nova laje de cobertura, com dimensões bastante distintas:

### Caso 1:

Laje circular com espessura de 30 cm e área de 28,26 m<sup>2</sup>;

Preço do aço galvanizado = 1,5 x preço do aço normal;

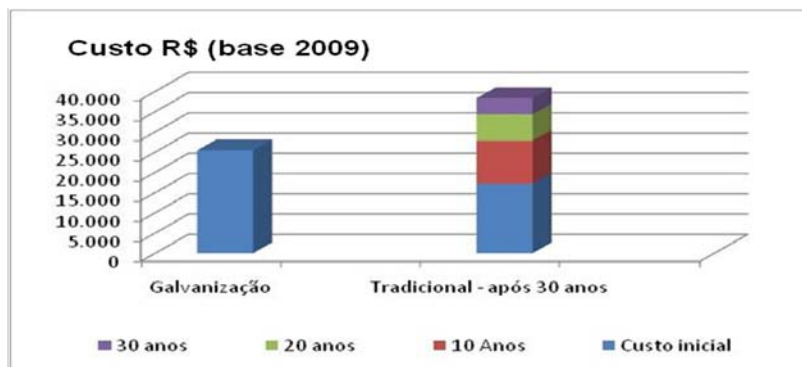
Custo Final considerando durabilidade mínima do aço galvanizado de 50 anos e a durabilidade do aço normal 10 anos e taxa de retorno de capital de 5 %. O resultado obtido foi uma redução de custo da ordem de 39,6 % .

### Caso 2:

Laje circular com espessura de 30 cm e área de 850 m<sup>2</sup>;

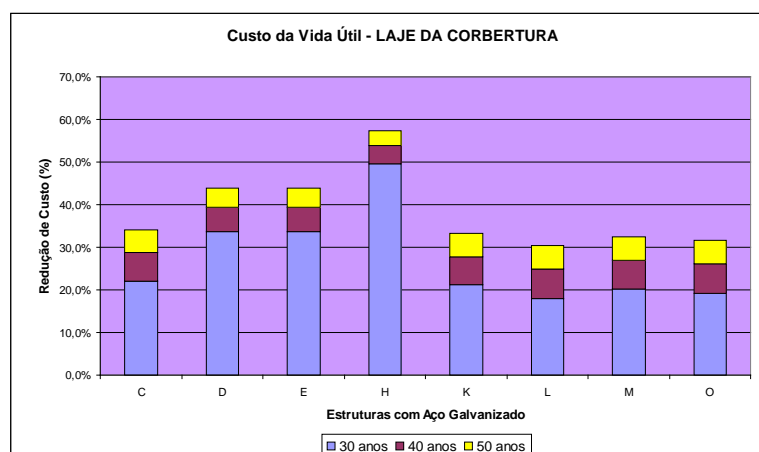
Mantendo os demais parâmetros, o custo final tem prevista uma redução da ordem de 40,3 %.

A representação gráfica deste caso estudado está apresentada na Figura 14.



**Figura 14 – Relação entre o custo da recuperação utilizando aço com e sem revestimento de zinco e para uma vida útil de 30 anos**

O gráfico da Figura 15 mostra os valores obtidos para várias estruturas considerando vida útil de 30, 40 e 50 anos.



**Figura 15 – Idem a anterior para varias estruturas e considerando vida útil de 30 anos, 40 anos e 50 anos**

## Conclusões

Cada caso precisa ser analisado, levando em conta o custo direto inicial e a durabilidade.

O procedimento de recuperação com demolição da estrutura existente e substituição por uma nova com aço galvanizado, leva a um aumento significativo da durabilidade da estrutura a um custo final menor.

O trabalho de recuperação com aço galvanizado é abrangente, o que acarreta facilidade, tanto para a execução, como para a fiscalização da execução da reconstrução.

Há significativa redução nos custos indiretos com a diminuição de paralisações do abastecimento de água para a população.

A utilização de aço galvanizado é mais indicada nos casos em que a agressividade do meio ambiente em que a estrutura está exposta reduz significativamente a vida útil da estrutura.

É necessário que haja uma mudança nos critério de projeto em vigor, quanto ao cobrimento e abertura de fissuras, levando em conta a durabilidade do aço galvanizado.

Usar aço galvanizado em reparos com porcentagens elevadas de anomalias com corrosão de armaduras.

Considerar que o uso de aço galvanizado traz benefícios diretos sociais, financeiros e de qualidade de vida, devido à diminuição de paralisações para reparos.

Alta durabilidade e baixa manutenção levam ao menor consumo de recursos e acarreta uma quantidade menor de material de construção gasto.

### **Referências bibliográficas**

---

- (1) SABESP – CIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Plano de Manutenção Civil para Reservatórios Litoral e Interior**. São Paulo, 2009.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 6118/2007: **Projetos de estrutura de concreto armado – procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.
- (3) YEOMANS,S. – **Galvanized steel reinforcement in concrete**.USA:Elsevier,2004.293p.
- (4) BEROLINI, L - **Materiais de Construção: patologia / reabilitação / prevenção**, Brasil: tradução Leda Maria Dias Beck, 2010.409p