

O USO DO AÇO GALVANIZADO VISANDO O AUMENTO DA DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO PARA OBRAS DE SANEAMENTO

Lucy Inês Oliván ⁽¹⁾

Engenheira Civil, formada na Escola Politécnica da USP (1975), Mestre em Construção Civil pela Poli- USP (1982). Escreveu mais de 30 artigos técnicos em revistas e Congressos. Atualmente é professora adjunta na FAAP nas Faculdades de Arquitetura e Engenharia Civil desde 1995. Atua também, como Diretora da Techconsult Engenharia desde 2002, dando consultoria na área de concreto e materiais de construção para diversas empresas de porte na construção civil.

Luércio Scandiuzzi

Engenheiro Civil, Techconsult Eng.

Olga Shizue Taki

Engenheira Civil- Sabesp

Denise Katsue Koga

Engenheira Civil- Sabesp

Tarcísio Dias Ferreira

Engenheiro Civil-Sabesp

Daniele Beatriz Palmiro Albagli

Engenheira Química- Votorantim Metais;

Endereço⁽¹⁾: Rua Itapicuru, 613, cj 103 – Perdizes-São Paulo-SP-CEP:05006-000- Brasil - Tel: +55 (11) 3873-2977- e-mail: liolivan@techconsult.com.br.

RESUMO

Com base no plano de manutenção civil da SABESP, foram realizadas inspeções civis em 243 estruturas de concreto das unidades do interior e litoral. A análise mostrou que 45% das anomalias são armaduras corroídas, 63% das armaduras corroídas estão nas faces internas das lajes de cobertura, com 89% causadas por cobrimento insuficiente da armadura e, também agravadas pela ação de cloro. Com base nestas constatações e para suprir estas deficiências o trabalho aqui apresentado, compara o custo dos reparos de armaduras corroídas feitos com e sem revestimento de zinco. O zinco sofre corrosão a taxas entre 10-30 vezes inferiores ao aço, se dissolvendo gradualmente e formando produtos de corrosão, que são menos volumosos que os óxidos de ferro equivalentes e não tem uma fase expansiva volumosa. É apresentado o estudo econômico “Valor Presente Líquido” para o investimento inicial e as manutenções necessárias ao longo de 30, 40 e 50 anos. As vantagens decorrentes são: custo direto inicial x durabilidade; qualidade dos serviços com procedimentos mais abrangentes e com facilidade de execução e de fiscalização, no caso do procedimento com aço galvanizado; custos indiretos com a diminuição de paralisações do abastecimento de água para a população; diminuição da frequência de manutenções.

PALAVRAS-CHAVE: aço galvanizado, corrosão de armaduras, manutenção civil.

1 - OBJETIVO

A SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo implantou um Plano de Manutenção Civil, (ref.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 das 243 estruturas, localizados em todo o interior e litoral do Estado, 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, falhas construtivas 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 (ref.2), estudou-se uma alternativa de processo de recuperação das estruturas, substituindo o aço carbono tradicional pelo aço com revestimento de zinco obtido através do processo de 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.

Estão discutidos os resultados obtidos nas comparações dos dois métodos de recuperação apontando as vantagens e desvantagens de cada um.

2 – INTRODUÇÃO: 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 mais espessa de zinco puro.



Figura 1 – Esquema Típico de um Revestimento Galvanizado por Imersão a Quente (ref. 3)

A ligação metalúrgica garante forte aderência do revestimento do zinco no aço. 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.

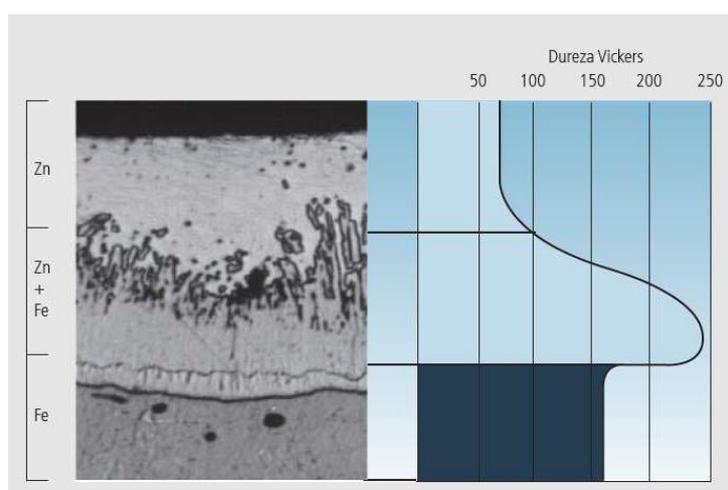


Figura 2 – Microsecção da Camada Galvanizada por Imersão a Quente, Mostrando as Variações por Rigidez Através do Revestimento. As Ligas de Zinco-ferro são mais Rígidas do que a Base de Aço (ref. 3)

Os vergalhões galvanizados por imersão a quente, conforme norma ASTM 767, apresentam desempenho aos esforços de tração similar aos vergalhões nus. 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 –

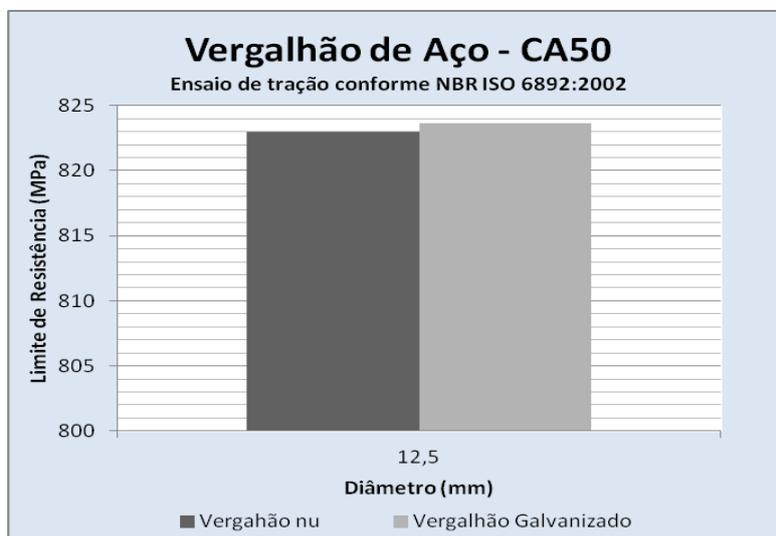


Figura 3 – Resultados de Ensaio de Tração para Vergalhão com e sem Revestimento de Zinco (ref. 3)

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 (min $\eta = 1,5$).

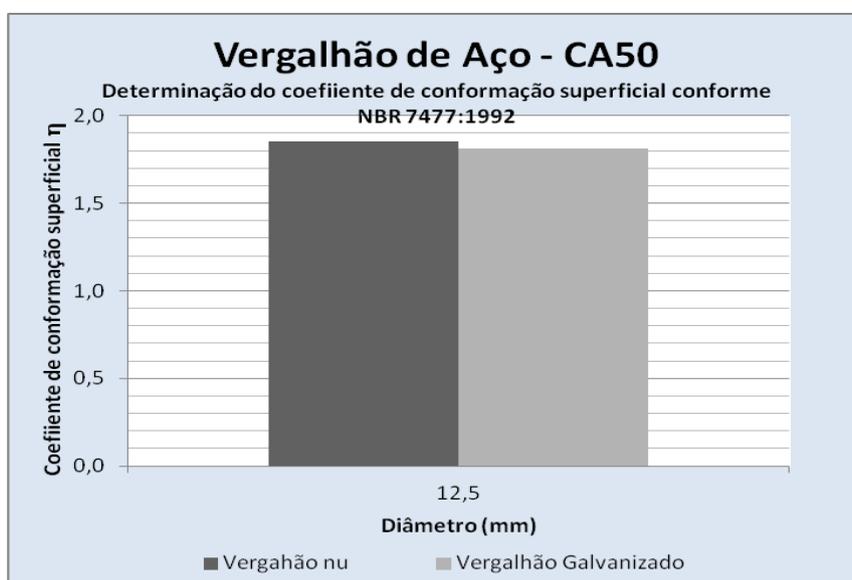


Figura 4 – Resultados de Ensaio de Determinação do Coeficiente de Conformação Superficial em Vergalhões com e sem Revestimento de Zinco (ref. 3)

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 Ensaios Mecânicos com Vergalhões com e sem Revestimento de Zinco (ref. 3)

Amostra	Limite de Resistência (MPa)		Limite de Escoamento (MPa)		Coeficiente de Conformação Superficial μ		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 (CO₂) atmosférico e/ou outros elementos ácidos (carbonatação) e a ação de íons despassivantes como cloretos (Cl⁻) na presença de oxigênio.

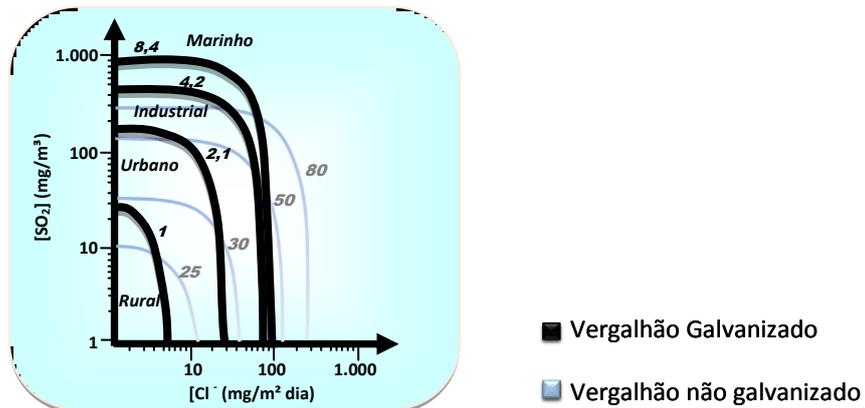


Figura 5 : Relação entre Concentração de SO₂ na Atmosfera, Velocidade de Depósito dos Cloretos sobre a Superfície e Velocidade de Corrosão do Aço $\mu\text{m}/\text{ano}$ (ref. 4)

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).

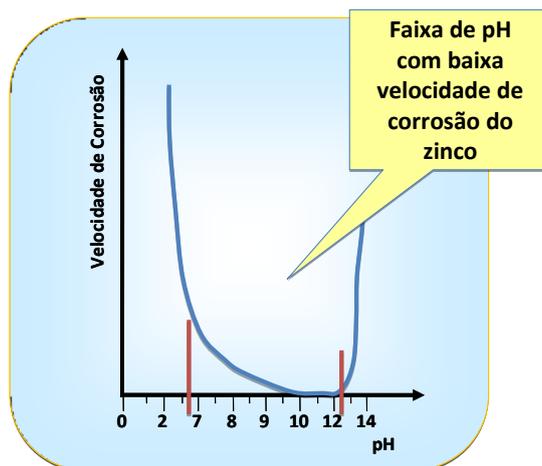


Figura 6 - Evolução da Velocidade de Corrosão do Zinco em Função do pH do Ambiente (ref. 4)

O aço galvanizado também pode suportar exposição à concentrações 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 tem uma fase expansiva volumosa, migram distanciando-se do contato com o vergalhão e preenchem as fissuras e vazios no concreto. Como resultado a deterioração do concreto é significativamente mais lenta.

3 – MATERIAIS E MÉTODO

Atendendo ao plano de manutenção civil da Companhia, foram realizadas inspeções visuais em 243 estruturas de concreto, sendo 197 reservatórios, 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 frequente é a corrosão de armaduras, procurou-se uma solução que promovesse o aumento da durabilidade das estruturas. A galvanização a quente como 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 à metodologia construtiva de recuperação de estruturas com armaduras expostas e corroídas, apresentada no item 2 – Introdução, deste trabalho.

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 à quente no zinco.

Como a durabilidade dos dois processos é diferente alterando a frequência 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 torna-se economicamente favorável, considerando a vida útil aumentada e a diminuição das manutenções requeridas.

A figura 7 mostra o aspecto típico da corrosão de armadura na face inferior da laje de cobertura de reservatórios.



Figura 7: Anomalias Típicas de Regiões com Corrosão de Armaduras

4 – ANÁLISE DOS PROBLEMAS PATOLÓGICOS DETECTADOS

A Figura 8 apresenta o gráfico dos dois primeiros parâmetros analisados, quais sejam as anomalias e a face atingida.

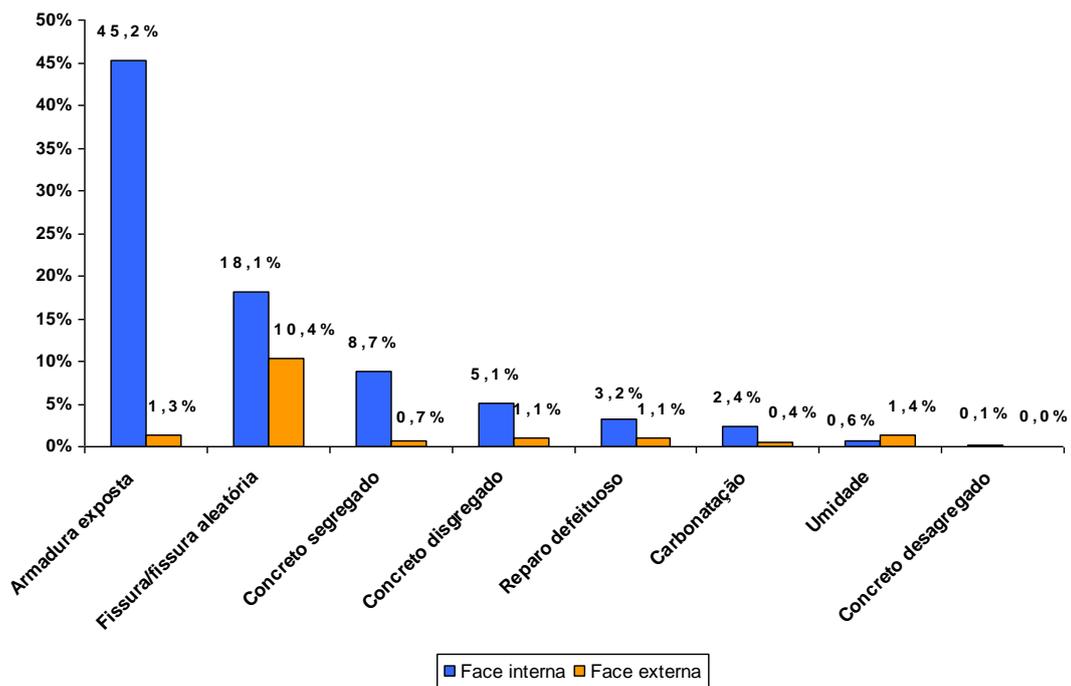


Figura 8: Gráfico dos Tipos de Anomalias Observadas

Constatou-se que a anomalia mais recorrente é a armadura exposta e corroída nas faces internas dos reservatórios. A Figura 9 apresenta a distribuição das percentagens nos elementos estruturais.

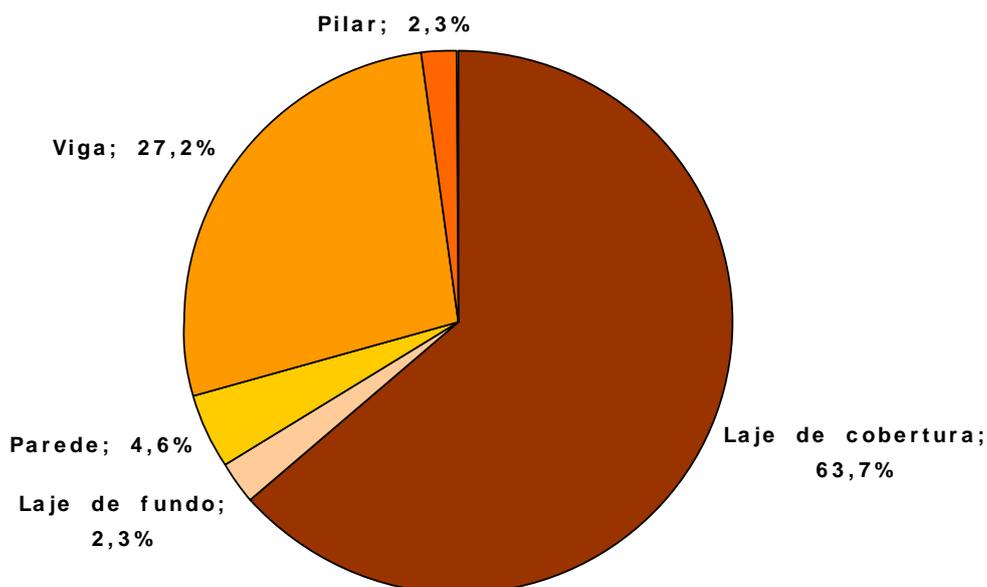


Figura 9: Distribuição da Área Afetada por Armadura Exposta e Corroída na Face Interna dos Elementos Estruturais dos Reservatórios Analisados.

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 10.

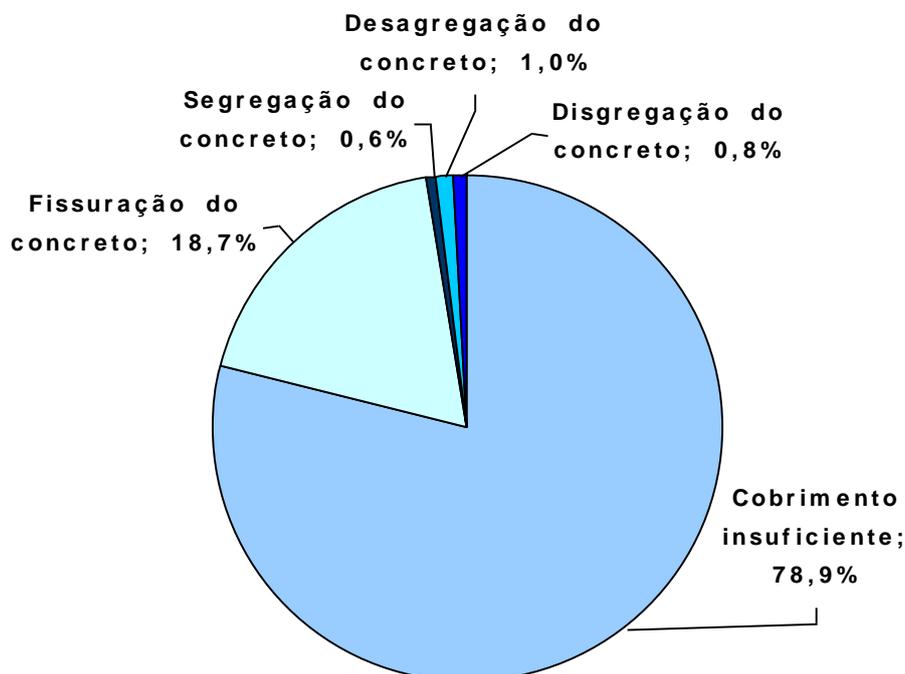


Figura 10 – Causas de Ocorrência de Armaduras Expostas e Corroídas nas Lajes de Cobertura dos Reservatórios Analisados.

A partir deste estudo foi determinado 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.

5 – RESULTADOS: ANÁLISE ECONÔMICA COMPARATIVA

As etapas do procedimento padrão ou convencional, usadas correntemente para a recuperação das regiões das estruturas com corrosão de armaduras estão esquematizadas a seguir:

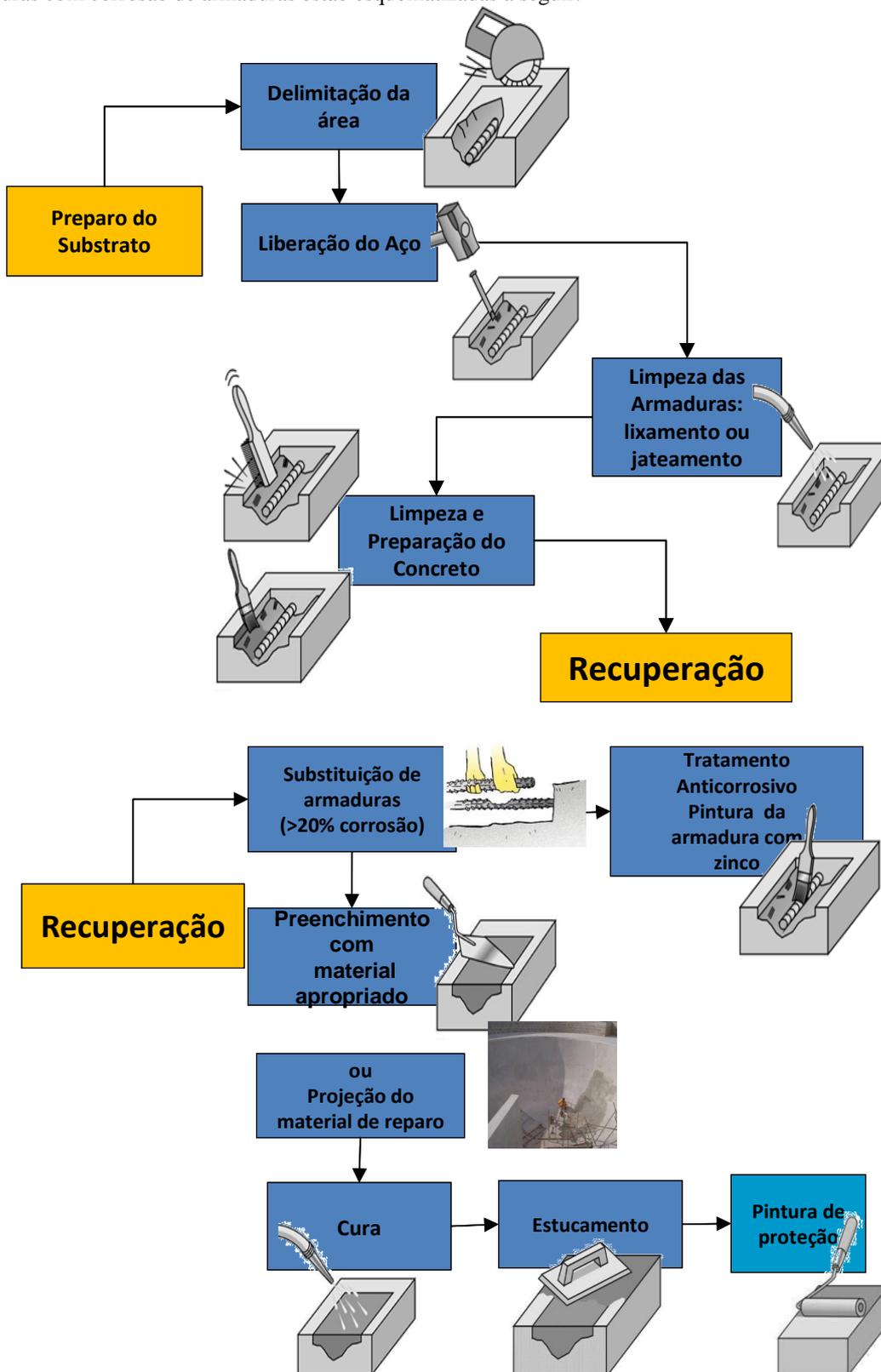


Figura 11 – Fluxograma das Etapas do Procedimento Padrão para Recuperação das Estruturas com Corrosão das Armaduras, Utilizando Vergalhão sem Tratamento Superficial (ref. 1)

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

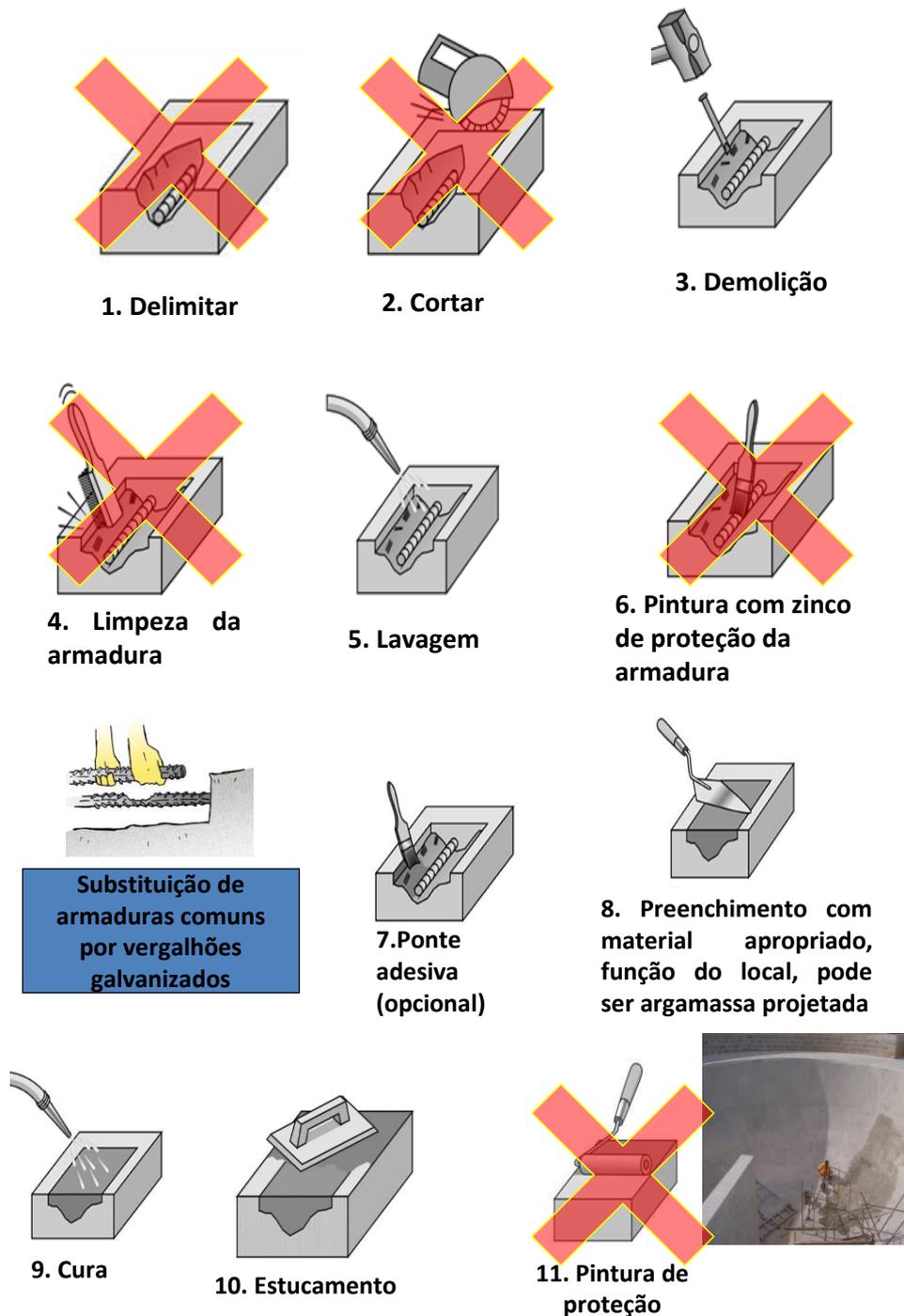


Figura 12 – Fluxograma das Etapas do Procedimento Alternativo para Recuperação das Estruturas com Corrosão das Armaduras, Utilizando Vergalhão com Revestimento de Zinco

Para cada etapa apresentada acima, para os dois procedimentos, foi feito o orçamento, com base nos preços praticados pela Sabesp.

Foi adotado para o preço do aço galvanizado 1,5x o 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 subseqüentes, até a vida útil de projeto.

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

$$VPL = \underbrace{1}_{2009} + \underbrace{\frac{M_1}{(1+r)^{p_1}}}_{2019} + \underbrace{\frac{M_2}{(1+r)^{p_2}}}_{2029} + \underbrace{\frac{M_3}{(1+r)^{p_3}}}_{2039} + \dots$$

Onde:

VPL= Valor Presente Líquido;

M1= Custo da manutenção no ano p1;

M2= Custo da manutenção no ano p2;

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 30cm e área de 28,26m²;

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 30cm e área de 850m²;

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

A representação gráfica deste caso estudado está a seguir apresentada:

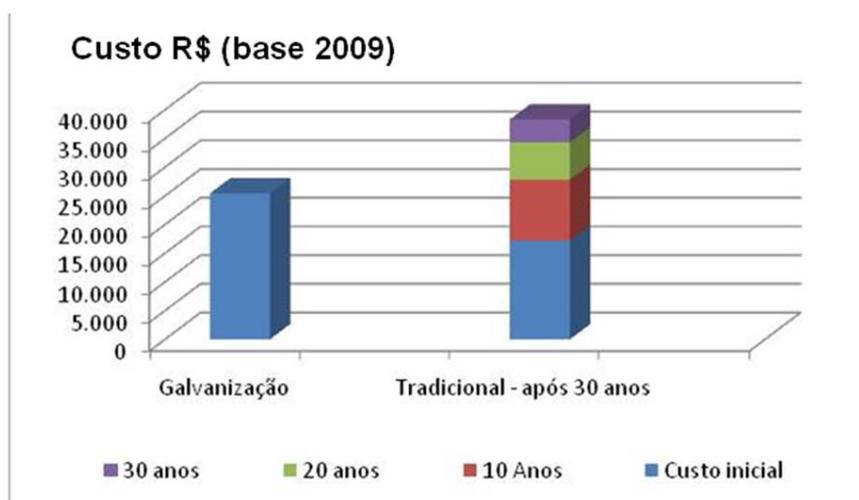


Figura 13 – Relação Entre o Custo da Recuperação Utilizando Aço com e sem Revestimento de Zinco e Para uma Vida Útil de 30 Anos

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

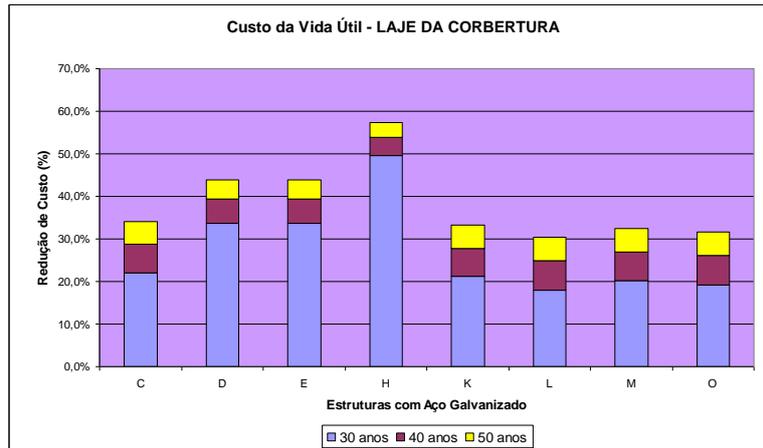


Figura 14 – Idem a Anterior para Varias Estruturas e Considerando Vida Útil de 30 Anos, 40 Anos e 50 Anos

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Cada caso precisa ser analisado, levando em conta o custo direto inicial, a durabilidade e o aumento de vida útil da estrutura;

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, na maioria dos casos.

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;

Deve-se, ainda considerar que o uso de aço galvanizado traz benefícios diretos sociais, financeiros e de qualidade de vida, devido à diminuição de paralisações para reparos;

A alta durabilidade e a 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