

Quais as Alternativas para Reparar Estruturas de Concreto com Problemas de Corrosão de Armaduras?

HELENE, PAULO R.L.

INTRODUÇÃO

Ao lado de um grande e indiscutível crescimento da necessidade de intervir nas estruturas de concreto com vistas ao restabelecimento de suas características e desempenho inicialmente previstas e desejadas na fase de concepção, planejamento e projeto, tem-se observado, infelizmente, um grande número de insucessos nessa intervenção, principalmente no caso de corrosão de armaduras. Os materiais, ou os

procedimentos adotados para reparo e reconstrução nem sempre conferem à estrutura as características de durabilidade compatíveis com a importância da obra e com os elevados custos de reparação e reconstrução de estruturas.

A comunidade inglesa, através da BS 7543¹, recomenda que os reparos e reconstruções efetuadas em obras públicas de importância como pontes, viadutos, certos edifícios monumentais e estádios

poli-esportivos, proporcionem uma vida útil de pelo menos 60 anos. Essa exigência, na grande maioria dos casos das intervenções praticadas atualmente nos países sul-americanos está longe de ser atendida. O resultado negativo, ou seja, uma vida útil muito curta decorrente de uma inadequada intervenção e reparação, na maioria das vezes muito mais curta que o período de tempo decorrido entre o término da obra até a necessidade da intervenção, infelizmente tem sido frequentemente constatada.

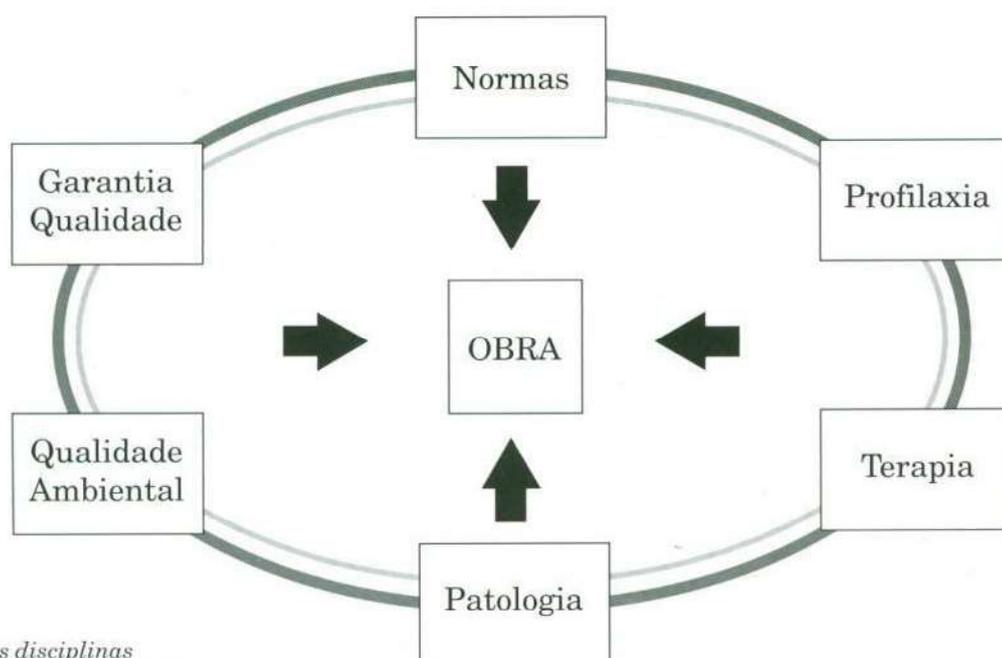


FIGURA 1. Novas disciplinas introduzidas na Engenharia Civil nos últimos anos.

Por que isso tem ocorrido? Por que as reparações em obras com corrosão de armaduras têm durado tão pouco?

Através de uma analogia com a Medicina² pode-se considerar que as estruturas de concreto e as construções civis em geral deveriam ser estudadas e entendidas à luz de novas abordagens que foram sendo introduzidas na engenharia civil para complementar os enfoques tradicionais não suficientes para o completo entendimento do comportamento das construções. A Teoria Clássica das Estruturas, a Resistência dos Materiais, a Estabilidade das Estruturas e o curso tradicional de Materiais e Técnicas de Construção Civil não foram, nem são suficientes para explicar adequadamente o envelhecimento prematuro das construções civis. Em vista disso, nos últimos anos, novas disciplinas foram colocadas à disposição dos engenheiros civis conforme apresentadas na Fig.1.

Entende-se por *Normalização* o grande movimento internacional de uniformização de critérios básicos de projeto e construção, cujos exemplos notórios, no caso das estruturas de concreto, são: CEB-FIP Model Code 90³, CIB W-86⁴, ISO 1920⁵, CEN-ENV 206⁶, MERCOSUL-CLAES⁷, NAFTA-ACI 318⁸ e outros.

Entende-se por *Garantia da Qualidade e Qualidade Ambiental* todos os procedimentos atualmente disponíveis e recomendados pelas normas da série ISO 9000⁹ e da série ISO 14000¹⁰.

Entende-se por *Profilaxia* todas as medidas preventivas que devem ser tomadas nas construções, a partir do correto diagnóstico dos eventuais problemas ocorridos em obras similares. Aplica-se essencialmente a novas obras com o intuito de evitar deteriorações precoces.

Patologia pode ser entendida como a parte da Engenharia que

estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos e falhas das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem um correto diagnóstico do problema.

À *Terapia*¹¹ cabe estudar a correção e a solução desses problemas patológicos ou de envelhecimento precoce. Para obter sucesso nas medidas terapêuticas é necessário que o estudo precedente, o diagnóstico da questão, tenha sido bem conduzido. Isso não é, no entanto, suficiente pois é preciso um projeto bem detalhado da solução, especificações bem claras de materiais e sistemas, controles de qualidade e outros cuidados para assegurar uma vida útil longa à obra reparada ou reformada.

Considerando que essas novas disciplinas foram introduzidas na Engenharia Civil nos últimos 20 anos, e forte na área. Um grande número de entidades nacionais e internacionais têm dedicado esforços nessa direção, principalmente a partir do início desta década, podendo-se citar: COST 509¹², COMETT PROJECT 7352/Cb¹³, ACI COMMITTEE 546¹⁴, GEHO¹⁵, RILEM 124-SRC¹⁶, RILEM 130-CSL¹⁷, SHRPS-360¹⁸, CYTED Red DURAR¹⁹ e outras, todas muito recentes e a maioria ainda com textos preliminares e em discussão.

O ainda pouco conhecimento consensual do tema fica mais agravado pelo grande número de novos materiais sistematicamente lançados no mercado. O setor de produção industrial para reparação de estruturas de hormigón é um dos mais promissores na construção civil e gerou nos últimos anos um elevado número de novas alternativas de materiais, sistemas e técnicas de reparação. Os catálogos técnicos de empresas do setor, tais como, Sika, Grace, Fosroc, Master Builder e outras apresentam mais do que o dobro de produtos e sistemas disponíveis a apenas 10 a 20 anos atrás.

Por exemplo todos os sistemas de reparação e proteção com base eletroquímica, foram introduzidos na engenharia civil somente no fim da década de 80, começo desta, e ainda estão em franco desenvolvimento. Até bem poucos anos os mecanismos de difusão natural de íons e gases assim como de migração de íons por corrente impressa eram desconhecidos da Engenharia Civil. Os modelos matemáticos desenvolvidos por Nernst²⁰, Faraday²¹, Fick²², ainda são muito pouco conhecidos e utilizados na engenharia civil para prever o comportamento das estruturas de concreto ao longo dos anos.

Diante de tantas e novas alternativas como deve se posicionar o engenheiro civil e o engenheiro de manutenção predial encarregado da correção desses problemas precoces de deterioração de estruturas de concreto por corrosão de armaduras?

A melhor e talvez única possibilidade é a da busca incessante do conhecimento e da permanente atualização técnica. Há necessidade de olhar os problemas e sua correção com uma visão ampla, abrangente, sistêmica e holística. A prática, infelizmente, ainda frequente de deixar por conta de um *mestre pedreiro mais experiente* tem sido desastrosa e deve ser energeticamente evitada. A intervenção numa estrutura com problemas de corrosão de armaduras é uma operação cara, delicada e requer um conhecimento consistente do assunto e das suas implicações estéticas, estruturais e sociais. Para ter sucesso e ser durável precisa ser projetada em detalhes; precisa ter especificado tecnicamente os materiais e os equipamentos, e finalmente necessita de grande precisão nos procedimentos de preparação do substrato, limpeza, aplicação dos materiais e sistemas de acabamento e proteção.

Uma metodologia geral para a solução duradoura dos problemas patológicos nas estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras pode ser aquela apresentada na Fig.2.

A PROBLEMÁTICA

Em todos os sistemas e procedimentos de reparação deve-se levar em conta pelo três aspectos fundamentais:

1. Desempenho intrínseco do

- material ou sistema de reparação;
- 2. Esforços na interface entre o reparo (novo) e a estrutura (antiga);
- 3. Interferência no equilíbrio físico-químico da estrutura existente, principalmente nas proximidades da região reparada.

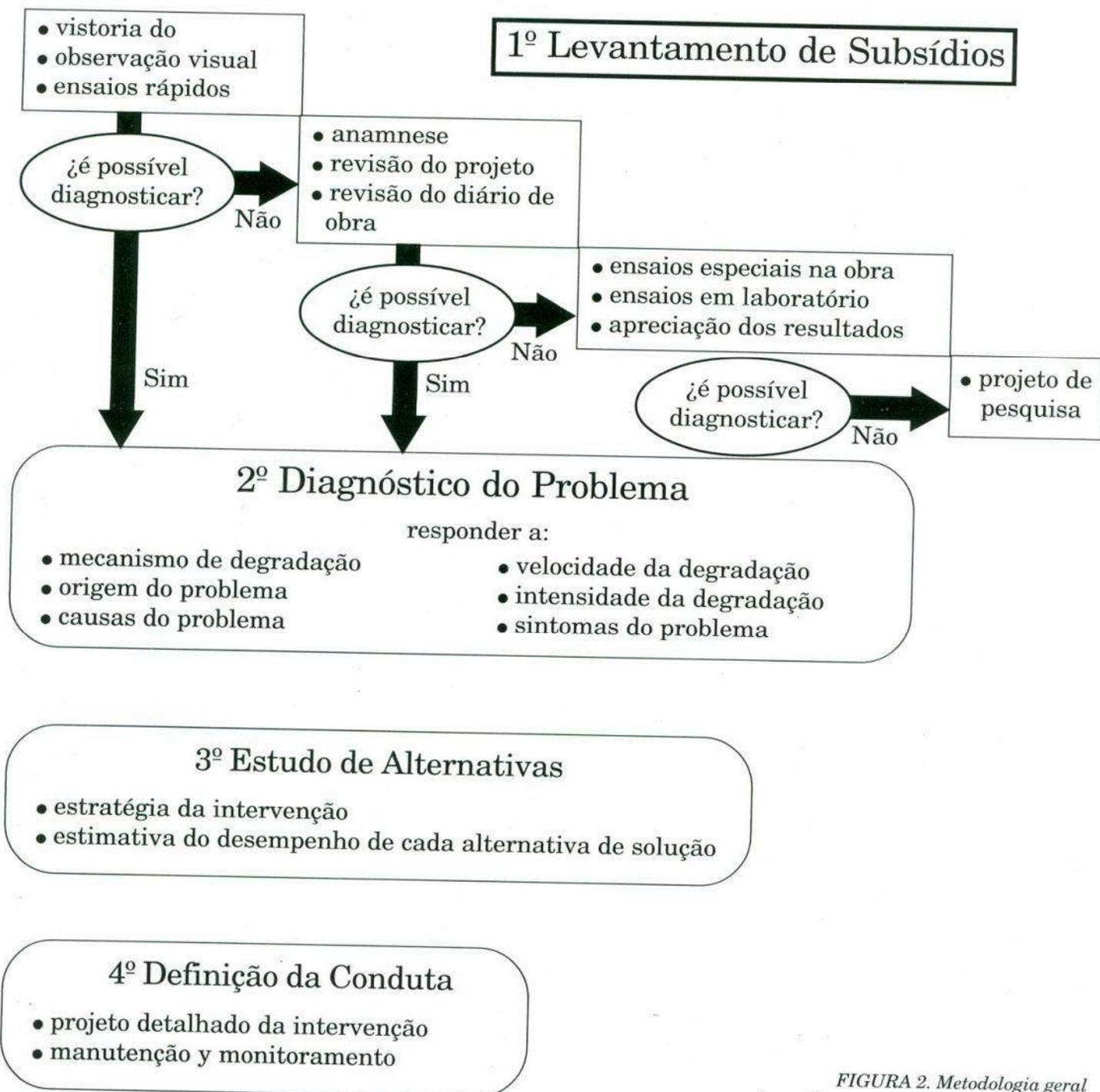


FIGURA 2. Metodologia geral de análise, correção e acompanhamento de problemas patológicos em estruturas de concreto.

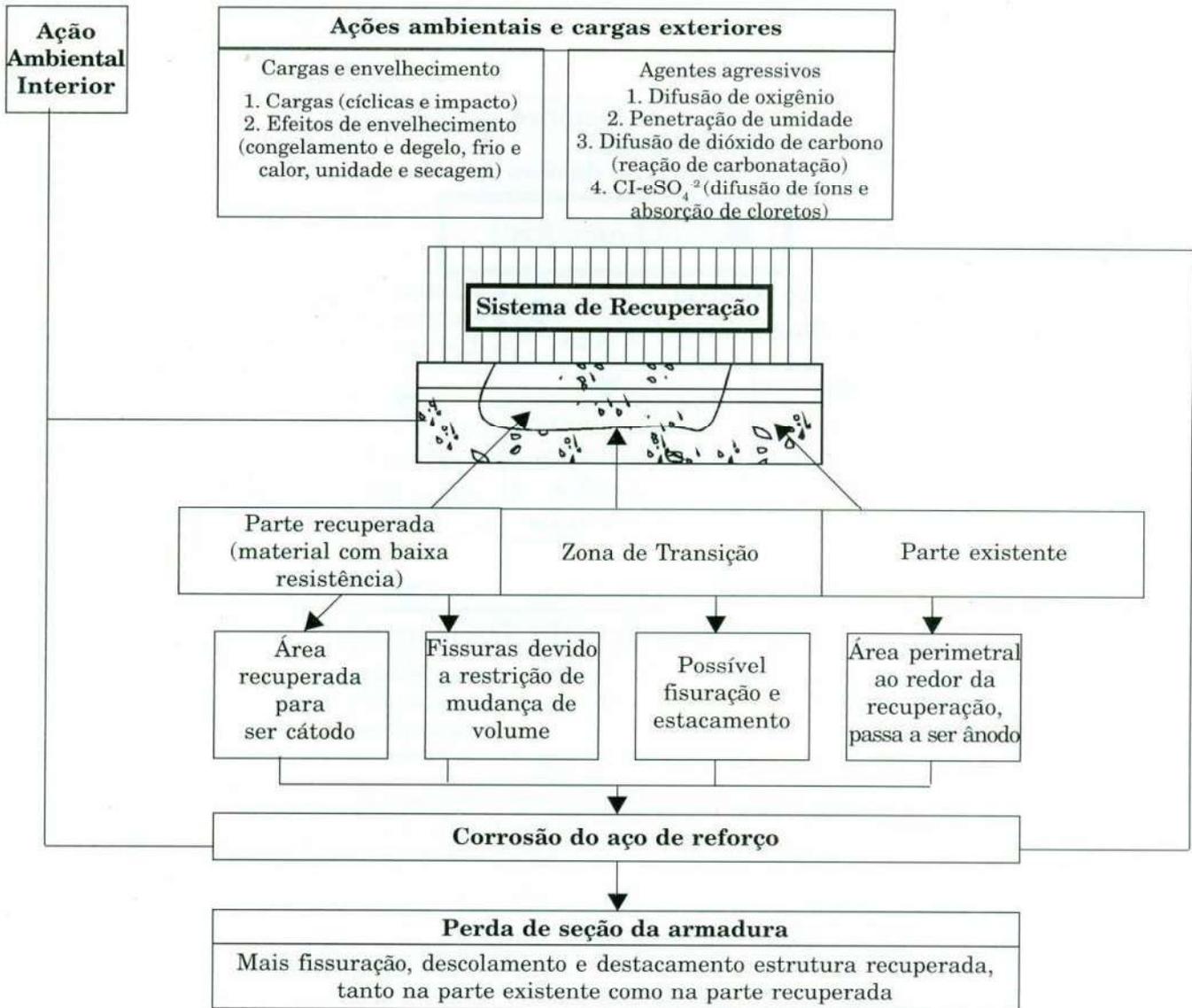
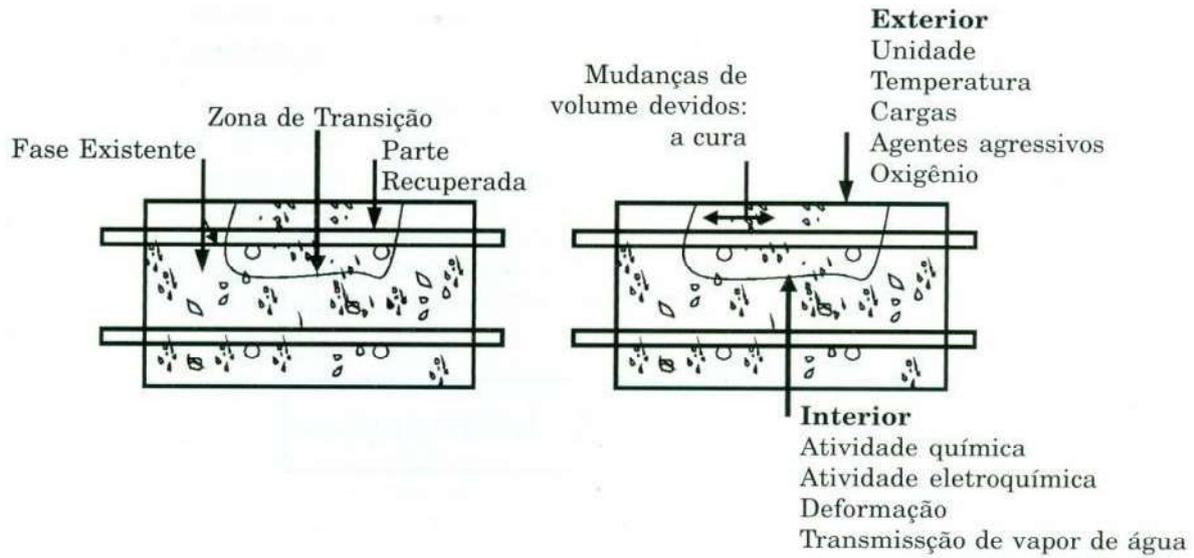


FIGURA 3. Ações e fenômenos que devem ser levados em conta para reduzir os riscos de insucesso numa intervenção. (EMMONS, Peter H & VAYSBURD, Alexander M., 1995)

Um reparo localizado sempre pode resultar numa intervenção de curta efetividade pois o risco de transferência das células de corrosão eletroquímica²³ é muito grande, principalmente quando o ambiente é agressivo e o concreto é de qualidade inferior. Além desse risco há uma série de outras ações que atuando sobre o reparo, sobre a

interface ou zona de transição e sobre a própria estrutura existente, podem levar a reparação a um insucesso caracterizado por curta vida útil após intervenção. Na Fig.3 apresenta-se os agentes principais que podem dar origem a problemas patológicos durante ou após a intervenção corretiva, segundo uma adaptação do trabalho de Emmons & Vaysburd²⁴.

VISÃO SISTÊMICA E METODOLÓGICA

O projeto detalhado da intervenção corretiva ou preventiva deve sempre ser efetuado, através da análise cuidadosa de todas as informações e alternativas disponíveis conforme sequência apresentada na Fig.4.

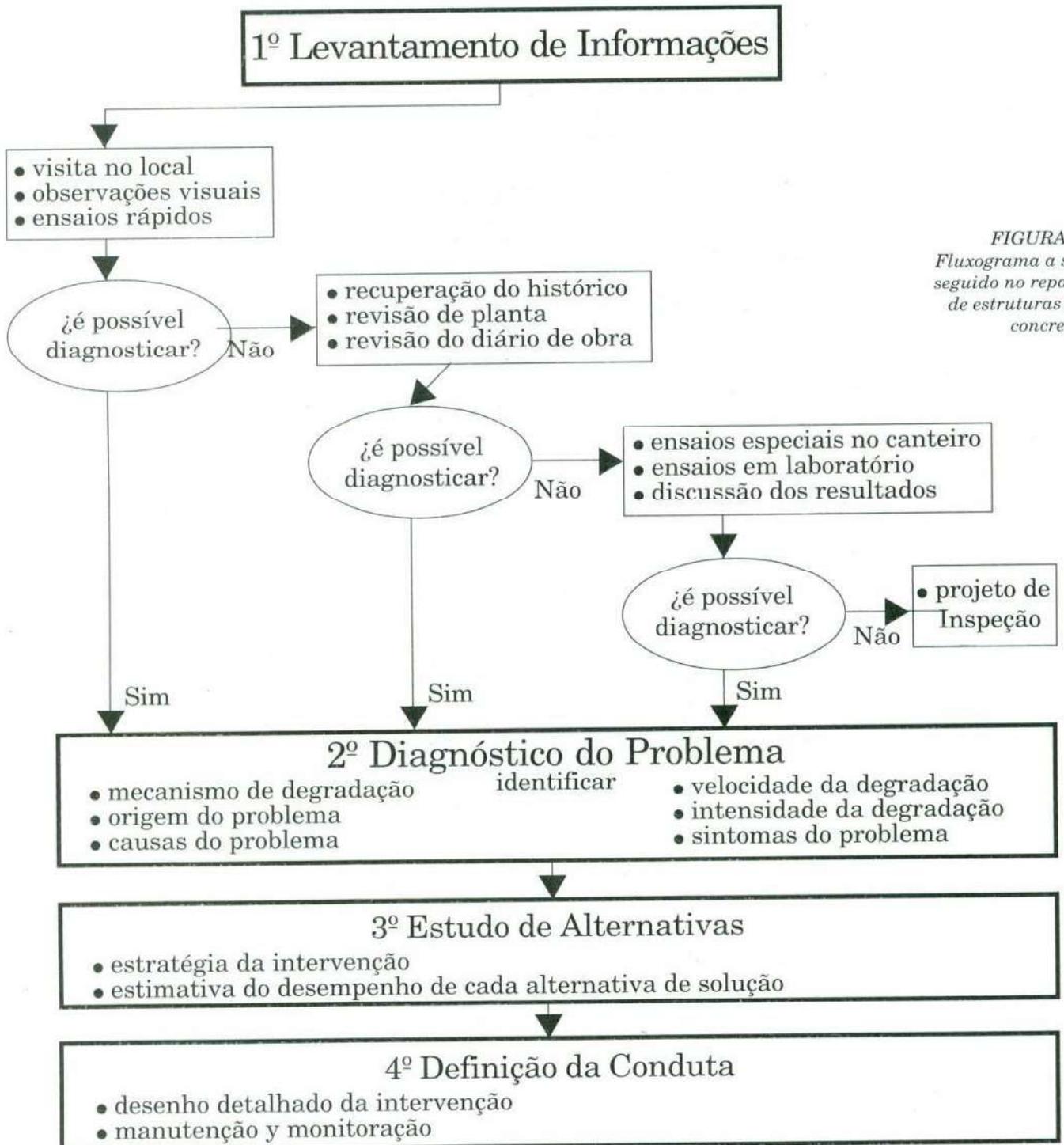


FIGURA 4. Fluxograma a ser seguido no reparo de estruturas de concreto.

ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO

Existem vários critérios para selecionar a melhor alternativa de reparação e proteção de acordo com as características específicas da estrutura avaliada e diagnosticada. O diagrama de fluxo da Fig.5 apresenta os critérios que devem ser considerados para a seleção da alternativa de intervenção mais conveniente.



FIGURA 5. Alternativas de reparo e proteção de estruturas de concreto danificadas por corrosão de armaduras.

ALTERNATIVAS DE PROTEÇÃO DIRETA DA ARMADURA

Na Fig. 6 apresenta-se um diagrama esquemático de alternativas de intervenção. Por razões didáticas estas alternativas são denominadas de proteção direta das armaduras pois estão baseadas em soluções que são aplicadas ou dizem respeito diretamente à armadura, ou melhor à proteção direta sobre o aço das armaduras.

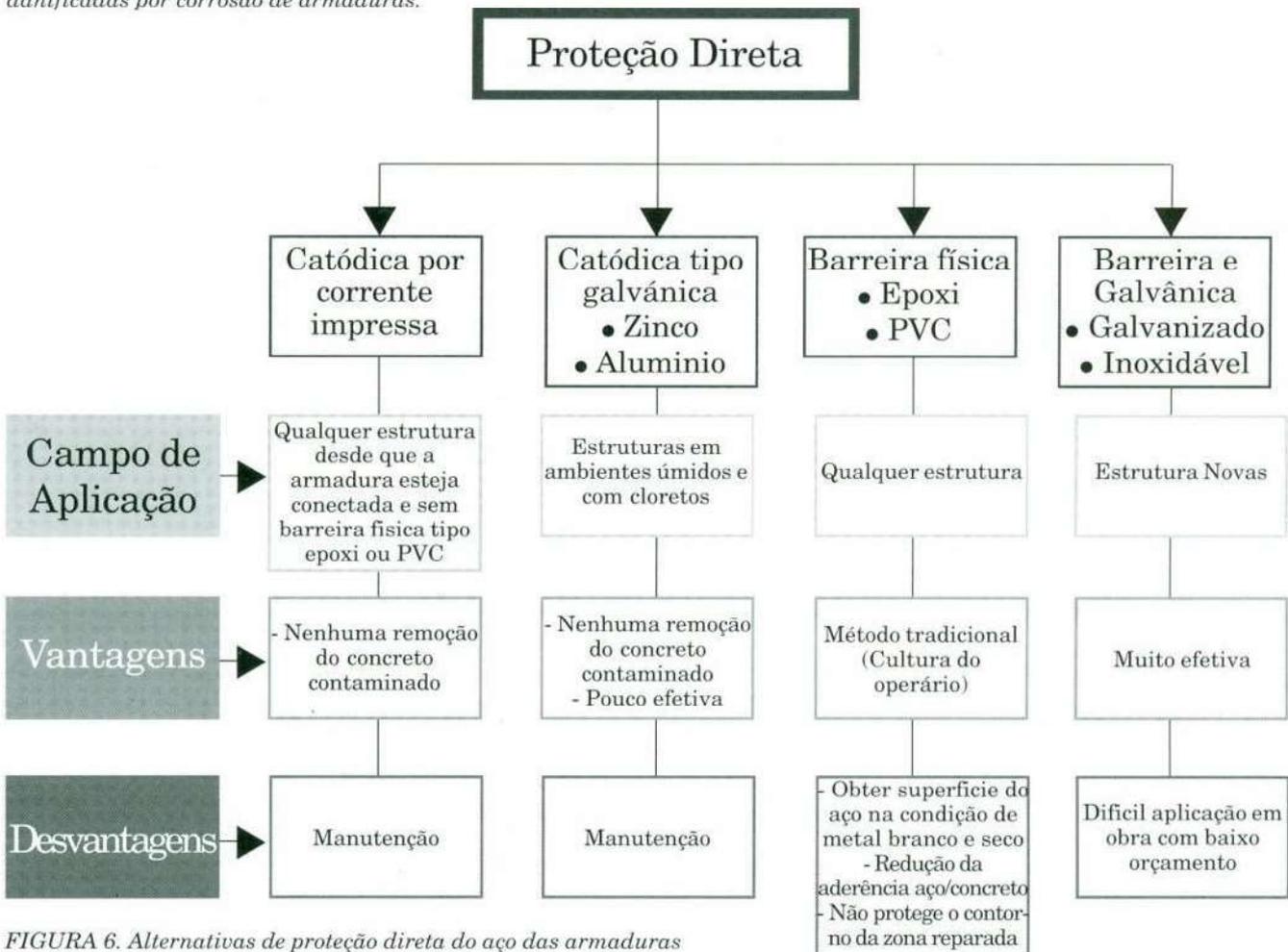


FIGURA 6. Alternativas de proteção direta do aço das armaduras contra a corrosão.

ALTERNATIVAS DE PROTEÇÃO INDIRETA DAS ARMADURAS

Na Fig.7 informa-se sobre as vantagens e desvantagens de cada um dos sistemas possíveis de serem utilizados na solução de problemas de corrosão de armaduras nas estruturas de concreto, baseados na alteração das características do concreto de revestimento dessas armaduras. Por essa razão são chamadas didaticamente de métodos ou alternativas de proteção indireta das armaduras, uma vez que são aplicáveis ou dizem respeito à modificações do concreto de cobrimento ou da argamassa de reparo.

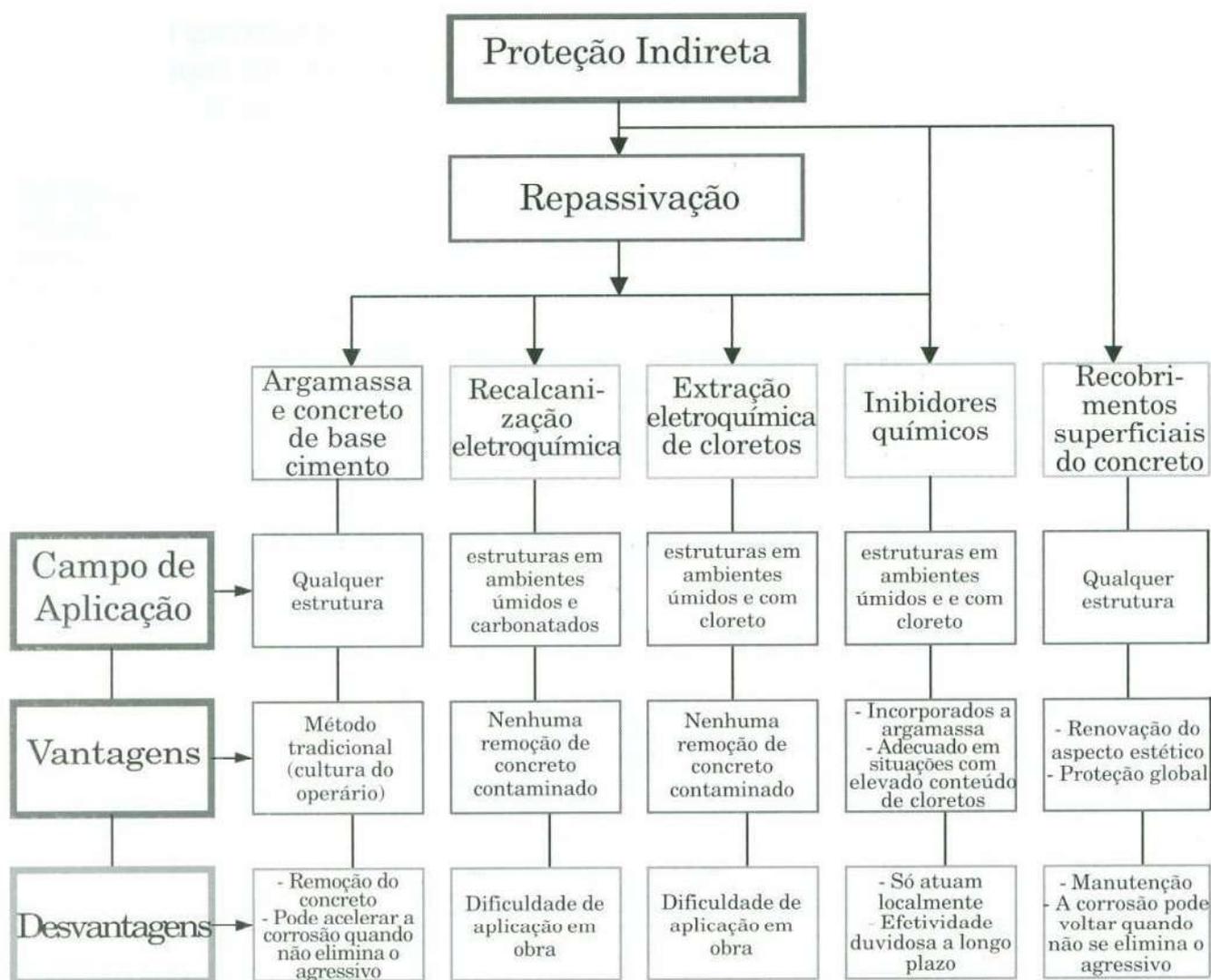


FIGURA 7. Alternativas de proteção indireta das armaduras contra a corrosão.

CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Para a eleição da solução é necessário ponderar aspectos técnicos de confiabilidade na efetividade da reparação proposta comparativamente com o custo que essa intervenção representa. Por outro lado não se pode esquecer de verificar se está disponível uma mão de obra qualificada para o serviço, se existem os equipamentos adequados, e se os materiais são disponíveis a preços convenientes no local da obra. Finalmente a solução proposta muitas vezes depende do prazo de

execução, cura e reutilização da obra, pois em indústrias, por exemplo, é frequente que o tempo disponível para uma reparação seja muito pequeno. Na Fig.8 apresenta-se os aspectos mínimos que devem ser considerados na eleição de uma solução viável, confiável e econômica.

PROJETO DETALHADO DA INTERVENÇÃO CORRETIVA

Esse é o coração da solução. Não se pode começar uma

intervenção duradoura e efetiva sem um bom e detalhado projeto da mesma no qual esteja explícitos e claros as qualidades dos materiais e sistemas, a forma de execução, as qualificações da mão de obra, os controles de qualidade, as especificações dos equipamentos que deverão ser utilizados e outros detalhes, conforme apresentado no fluxograma da Fig.9.

Os procedimentos recomendáveis para preparação do

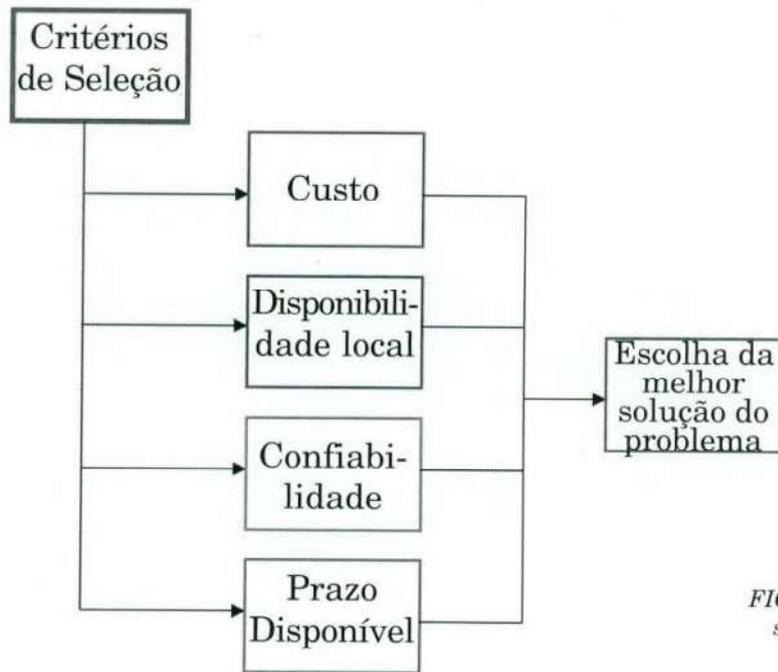


FIGURA 8. Critérios de seleção da solução mais conveniente a uma aplicação específica.

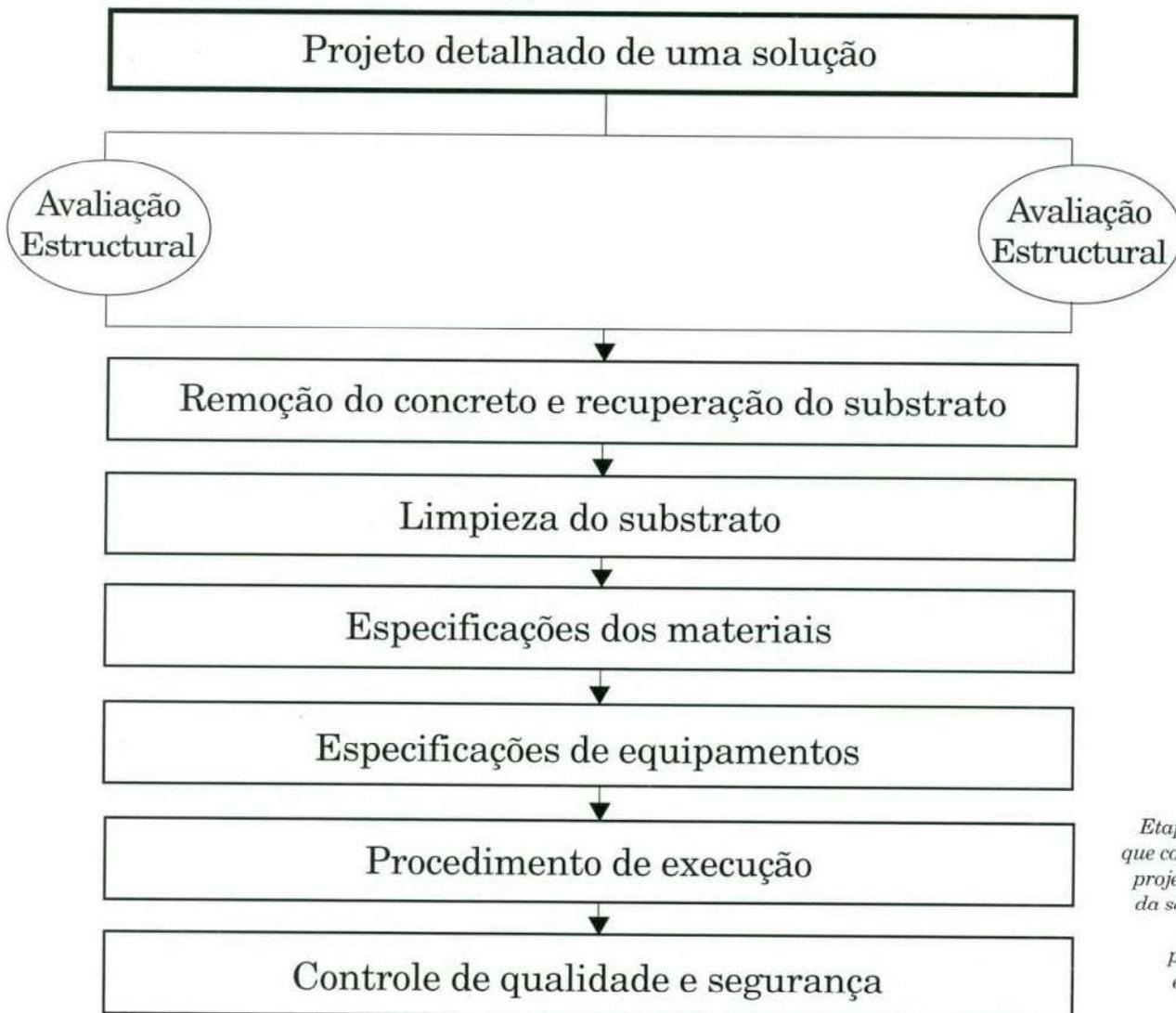


FIGURA 9. Etapas ou partes que constituem um projeto detalhado da solução de um problema patológico em estruturas de concreto

substrato, limpeza do substrato, aplicação dos materiais e sistemas, assim como seu controle e monitoramento serão objeto de outros artigos, em detalhe. ã

NOTAS

- 1 **BRITISH STANDARDS INSTITUTION.** Guide to Durability of Buildings and Building Elements, Products and Components. BS 7543. London, BSI, 1996.
- 2 **FERNANDEZ CANOVAS, M.** Patología y Terapéutica del Hormigón Armado. Madrid, Colégio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colección Escuelas, 3ª ed., Sep. 1994. 487p.
- 3 **COMITE EURO-INTERNATIONAL du BETON.** CEB-FIP Model Code 1990 Design Code. Lausanne, CEB, Thomas Telford, May 1993. (Bulletin D'Information, 213-214)
- 4 **COMITE INTERNATIONAL du BATIMENT.** Building verifica-se que, entre elas, a *Terapia das Construções* é a menos conhecida hoje em dia. Ainda são poucas as publicações técnico-científicas sobre o tema e praticamente ainda não há consenso que permita uma Normalização efetiva Pathology. A State-of-the-Art Report. CIB Report W-86, Publication 155, June 1993.
- 5 **INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION.** ISO 1920 Concrete Tests. Dimensions, Tolerances and Applicability of Test Specimens. Genève, ISO, 1976 (E).
- 6 **EUROPEAN COMMITTEE for STANDARDIZATION.** Concrete. Performance, Production, Placing and Compliance Criteria. ENV 206. s.l., CEN, 1991.
- 7 **COMITE LATINO-AMERICANO de ESTRUCTURAS - CLAES.** Associação voluntária que reúne especialistas de dezessete países latino-americanos com vistas à uniformização das normas de projeto de estruturas de concreto. Porto Alegre, UFRGS, CPGEC, 1997. Prof. Riera.
- 8 **AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.** Building Code Requirements for Reinforced Concrete: reported by ACI Committee 318. In:—. ACI Manual of Concrete Practice. Detroit, 1996. v.3.
- 9 **INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION.** ISO 9000 / 9001 / 9002 / 9003 / 9004. Quality Management and Quality Assurance Standards. Guideline for Selection and Use. Bern, 1987.
- 10 **INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION.** ISO 14000/14001. Environmental Management Systems. Specification with Guidance for Use. Genève, ISO, 1996.
- 11 **HELENE, Paulo R.L.** Manual de Reparo, Reforço e Proteção das Estruturas de Concreto. São Paulo, PINI, 1992. 211 p.
- Cost 509 ACTION "Corrosion and Protection of Metals in Contact with Concrete". European Union Research COST h Projects.
- 13 **COMETT Project 7352/Cb.** Concrete Repair. European Union Research Projects.
- 14 **AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.** ACI 546. In:—. ACI Manual of Concrete Practice. Detroit, 1996. v.1.
- 15 **Grupo Español del Hormigón.** Encuesta sobre Patología de Estructuras de Hormigón. Madrid, GEHO, Feb. 1992. (Boletín, 10)
- 16 **REUNION INTERNATIONALE de LABORATOIRES D'ESSAIS et MATERIAUX.** RILEM 124 SRC
- 17 **REUNION INTERNATIONALE de LABORATOIRES D'ESSAIS et MATERIAUX.** Durability Design of Concrete Structures. Report of RILEM Technical Committee 130-CSL. Espoo, RILEM, E & FN Spon, 1996.
- 18 **STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM.** Concrete Bridge Protection, Repair, and Rehabilitation Relative to Reinforcement Corrosion: A Methods Application Manual. SHRP-S-360. Reported by Richard E. Weyers, Briuan D. Prowell, Michael M. Sprinkel & Michael Vorster. Washington, National Research Council, 1993.
- 19 **CYTED "Programa Ibero-Americano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo".** Rede DURAR "Red Temática XV.B Durabilidad del Acero de Refuerzo. Maracaibo, Venezuela, Universidad del Zulia, 1993. Profa. Oladis de Rincón.
- 20 **Walther Hermann Nernst (1864 - 1941)** químico alemão, um dos fundadores da físico-química moderna. Recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1920 pela formulação da terceira lei da termodinâmica.
- 21 **Michael Faraday (1791 - 1867)** físico-químico britânico que descobriu, através de experiências no campo da eletro-química, os princípios do eletromagnetismo e da indução de corrente elétrica.
- 22 **Adolf Eugen Fick (1829 - 1901),** médico fisiologista alemão que desenvolveu as leis da difusão ou de difusividade a partir do estudo de percolação do sangue no corpo humano.
- 23 **MONTEIRO, Paulo J.M. & HELENE, Paulo R.L.** Can Local Repairs Be Durable Solutions for Steel Corrosion in Concrete?. Anais da International Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, Sheffield, England, Sheffield Academic Press, v.2, July 1994. p. 1525-38
- 24 **EMMONS, Peter H. & VAYSBURD, Alexander M.** The Total System Concept -- Necessary for Improving the Performance of Repaired Structures. Detroit, Concrete International, Mar. 1995. p. 31-6