PROGRAMA DE MANUTENÇÃO CIVIL - INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM UNIDADES PETROQUÍMICAS

ROMANICHEN, Anderson[1], SANTOS, Leonardo Luiz Freitas[2], ARAUJO, Ricardo Melo[3]

[1] Petróleo Brasileiro S.A., TM Pleno, Engenheiro Civil (UP), e-mail: romanichen@petrobras.com.br
[2] Petróleo Brasileiro S.A., Eng. Civil Pleno, Mestre em Engenharia Civil (UFF), e-mail: leonardolfs@petrobras.com.br
[3] Petróleo Brasileiro S.A., TPCM Pleno, Mestre Eng. de Materiais (UTFPR), e-mail: ricardomaraujo@petrobras.com.br

RESUMO

A disponibilidade operacional de plantas industriais de processamento contínuo é assegurada por atividades de manutenção em campanha e por paradas programadas de manutenção. Se, por um lado, a manutenção de equipamentos mecânicos é planejada em caráter preventivo e preditivo, levando-se em conta aspectos como vida útil de seus componentes, tempo médio entre falhas e históricos de inspeção, a manutenção de estruturas de concreto armado ainda é feita em caráter corretivo. Buscando mudar essa realidade, a área de Refino da Petrobras, composta por treze refinarias localizadas de norte a sul do país, iniciou em 2011 a implantação de um plano para mudar o foco da manutenção dessas estruturas de corretivo para preventivo. São três as etapas deste plano: (1) Inspeção preliminar; (2) Inspeção completa, projetos de recuperação e planos de manutenção e (3) Obras de recuperação e implantação de manutenção preventiva. Este trabalho apresenta o programa de manutenção civil e os resultados das inspeções preliminares realizadas nas oito refinarias que iniciaram este processo. Os resultados deste trabalho indicaram que 9% das estruturas necessitavam de manutenção corretiva para restabelecimento das condições originais; 37% de intervenções preventivas para evitar agravamento no médio prazo; e 54% não possuíam indícios de problemas estruturais ou de durabilidade.

Palavras Chave: Inspeção; Diagnóstico; Indústrias petroquímicas; Programa de Manutenção.

ABSTRACT

The operational availability of continuous processing industrial plants is ensured through maintenance activities while operating or during programmed shutdowns. If, on the one hand, the maintenance of mechanical equipments is planned in a preventive and predictive perspective, taking into account aspects such as service life of your components, mean time between failures and historical inspection, maintenance of reinforced concrete structures is still taken in a corrective perspective. In order to change this reality, the Petrobras Refining Department, consisting of thirteen refineries located from north to south of the country, began in 2011 to implement a plan to change the corrective focus of the maintenance of these structures to preventive. There are three steps in this plan: (1) preliminary inspection; (2) full inspection, recovery projects and maintenance plans, and (3) recovery services and implementation of preventive maintenance. This paper presents the plan and the results of first step carried out in the eight refineries that started this work. The results of the preliminary inspection indicated that 9% of the structures needed corrective maintenance to restore the original performance; 37% of preventive interventions to prevent deterioration in the medium term; and 54% had no evidence of structural or durability issues.
Keywords: Inspection, Diagnostic, Petrochemical Industry, Maintenance Program.

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade operacional de plantas de processamento contínuo deve ser assegurada através de manutenções planejadas, durante a campanha ou em paradas de manutenção, visando à recuperação das características originais e mantimento da capacidade de produção. Devido à criticidade envolvida os equipamentos estáticos devem atender as exigências da NR-13 (Caldeiras e Vasos de Pressão), sendo inspecionados periodicamente.

Entretanto as estruturas civis, expostas os ambientes com classe de agressividade forte ou muito forte (NBR 6118/2007), não possuíam planos sistemáticos, prevendo a manutenção das características originais. O parque atual de refino do sistema Petrobras é composto por 13 unidades, sendo a mais antiga inaugurada em 1950 (RLAM-BA), possuindo unidades em operação há mais de seis décadas. Dependo do projeto as unidades industriais possuem estruturas de suportação de equipamentos e tubulações em concreto armado ou aço.

Segundo Brunauer e Colepand[1] (1964, *apud* Metha e Monteiro, 2008) o concreto é o material mais largamente usado na construção civil. É um material utilizado para a execução de casas e edifícios residenciais, obras de arte do tipo pontes e viadutos e ainda obras de industriais. Porém, quando a estrutura de concreto, serve a outra função que não a projetada, ou não ocorre manutenção periódica, falha de projeto ou execução, materiais não adequados ou de qualidade duvidosa, ou ainda quando o ambiente a que está exposto é agressivo ao concreto, pode então, surgir patologias.

Embora o concreto possa ser considerado um material praticamente eterno - desde que receba manutenção sistemática e programada - há construções que apresentam manifestações patológicas em intensidade e incidência significativas, acarretando elevados custos para sua correção. Sempre há comprometimento dos aspectos estéticos e, na maioria das vezes, redução da capacidade resistente, podendo chegar, em certas situações, ao colapso parcial ou total da estrutura (HELENE, 1988).

Segundo Cánovas (1988), o concreto armado deve reunir não apenas condições de resistência mecânica, mas também condições de suportar as ações externas de caráter físico e químico. Ações do tipo químico são as de maior importância e as que maiores danos produzem. As três principais causas de corrosão química do concreto são: gases contidos na atmosfera (CO_2, SO_2, entre outros); águas puras, turvas, ácidas, selenitosas e marinhas; compostos fluídos ou sólidos de natureza orgânica (óleos gorduras, combustíveis, líquidos alimentares, entre outros).

[1] BRUNAUER, S, L. E. COPELAND, **Scientific American,** 1964

Correa (2013) apresentou metodologia para implantação do programa de manutenção civil, na Superintendência de Industrialização de Xisto (UN-SIX), aplicável especificamente a estruturas de concreto armado, justificado pelos seguintes fatores:

- Alto risco de incidentes ou acidentes com danos materiais, pessoais e ambientais;
- Prejuízos à confiabilidade das unidades de processo, no caso de industriais;
- Dificuldades de identificação das prioridades de intervenção; e
- Altos custos de manutenção e baixa efetividade em comparação à manutenção preventiva.

Conforme apresentado por Caldeira e Santos (2013), a manutenção corretiva em uma indústria petroquímica de processamento continua é muito complexa e apresenta custo elevando, devido à necessidade de operação continua dos equipamentos, assim como a exposição aos riscos de segurança, meio ambiente e saúde (SMS).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), em países desenvolvidos cerca de 40% do total de recursos da construção civil são destinados a reparos, substituição ou manutenção de estruturas existentes.

1.1 Objetivos

A pesquisa tem como objetivo apresentar a estrutura do programa de manutenção de estruturas de concreto da Petrobras (Abastecimento) e os resultados da inspeção preliminar em oito unidades, das estruturas de concreto e diagnóstico que compõe a primeira fase, iniciado em 2011.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capitulo será realizada um breve revisão dos assuntos pertinentes à pesquisa como: durabilidade, patologias e inspeção e diagnóstico das estruturas.

2.1 Durabilidade

Durabilidade, segundo a NBR 6118 (2007), consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais, previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Conforme Neville (1997), durabilidade do concreto não significa vida eterna, nem significa suportar qualquer tipo de ação. Além disso, hoje em dia considera-se que em muitas situações, seja necessária uma manutenção de rotina do concreto.

A norma NBR 6118 (1980), no que se refere à durabilidade, tratava o assunto de maneira superficial. A baixo o texto referente da norma:

> *Quando o concreto for usado em ambiente reconhecidamente agressivo, deverão ser tomados cuidados especiais em relação à escolha dos materiais constituintes, respeitando-se o mínimo consumo de cimento e o máximo valor da razão água/cimento compatíveis com a boa durabilidade do concreto.*

A durabilidade da estrutura está relacionada à agressividade do meio ambiente e a ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto. As estruturas de concreto armado das plantas petroquímicas da Petrobras estão submetidas a um ambiente com forte presença de gás carbônico, gases ácidos oriundos do processo industrial; ácidos, sulfatos presentes em efluentes industriais entre outros.

As unidades são projetadas conforme as normas técnicas vigentes, sendo que a classe a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com NBR 6118 (2007), as estruturas civis em ambiente industrial, estão expostas a ambientes com classe de agressividade III e IV, forte ou muito forte, respectivamente.

Cánovas (1988) cita que a durabilidade está intimamente ligada à qualidade dos materiais e embora esta tenha avançado muito, os casos patológicos não diminuíram na mesma proporção.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a durabilidade do concreto de cimento Portland é definida por sua capacidade de resistir à ação de intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração. A água, geralmente está envolvida em toda forma de deterioração em sólidos porosos, como é o caso do concreto.

Helene (1988) afirma que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais econômicas quanto mais cedo forem executadas. A demonstração mais expressiva desta afirmação é a chamada lei de Sitter, que mostra os custos crescendo segundo uma progressão geométrica.

2.2 Patologia

Segundo Helene (1988), patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismo, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

De acordo com Andrade e Silva (2005), o termo patologia é empregado na engenharia civil quando ocorre perda ou queda de desempenho de um produto ou componente da estrutura.

Segundo Silva (1995) manifestações patológicas são problemas que aparecem nas edificações comprometendo algumas das suas exigências, sejam elas estéticas, funcionais ou estruturais.

Uma elevada porcentagem das manifestações patológicas tem origem nas etapas de projeto e planejamentos, essas falhas são, em geral, mais graves que as de qualidade dos materiais ou de má execução (HELENE, 1988).

A interpretação da origem dos problemas patológicos está relacionada às fases ou etapas da vida da estrutura em que se originou a patologia, podendo estar relacionada aos projetos, materiais, produção; uso e manutenção das construções e estruturas. A ocorrência de uma patologia na estrutura está relacionada a uma combinação de ações simultâneas, de modo que podem existir diversas causas contribuindo para a sua evolução (ANDRADE e SILVA, 2005).

Helene (1988) afirma que, estes problemas, geralmente apresentam manifestações externas, características a partir da qual se pode deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, assim como se podem estimar suas prováveis consequências, e explica que os sintomas mais comuns, de maior incidência nas estruturas de concreto podem ser as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas no concreto aparente, a corrosão da armadura e os ninhos de concretagem.

2.3 Inspeção e Diagnóstico

Segundo Andrade e Silva (2005) uma vez instalado o problema patológico em uma estrutura, as fases de inspeção e diagnóstico são fundamentais para o sucesso de uma intervenção ou reabilitação.

Além disso, Helene (1988) revela que por meio da terapia pode-se estudar a correção e a solução desses problemas patológicos. Mas, para se obtiver êxito nas medidas terapêuticas, é necessário que o estudo preliminar, ou seja, o diagnóstico tenha sido bem conduzido.

Nas inspeções das estruturas de concreto, muitas são as técnicas envolvidas na detecção, identificação, avaliação, caracterização e monitoramento da corrosão. Essas técnicas são de grande importância para o controle do fenômeno, seja nas operações preventivas, seja na terapia do problema (CASCUDO, 2005).

Andrade Y Perdrix (1992) cita que inspeção preliminar consiste-se em um exame visual para caracterizar todos os sintomas que permitam avaliar o problema e, dependendo do caso, preparar um plano mais detalhado para desenvolver uma inspeção pormenorizada. Recomenda que seja realizado um exame visual, identificação dos sintomas visuais, avaliação

da gravidade do ambiente, remoção pontual do concreto para observação direta da armadura. Visando o levantamento de informações, recomenda como ensaios:

- Profundidade de carbonatação;
- presença de cloretos;
- qualidade do concreto.

Segundo Cascudo (2005) na inspeção preliminar, é caracterizada por um exame visual para caracterizar todos os sintomas, bem como uma série de pequenos ensaios que permitam demarcar o problema e preparar um plano mais detalhado para desenvolver uma inspeção pormenorizada.

A inspeção detalhada tem como objetivo determinar a extensão da deterioração em todas as partes ou elementos da estrutura. Pode ser realizada como passo prévio a uma intervenção ou simultaneamente com ela, porém deve se ter em conta que uma inspeção detalhada pode não ser necessária em certas ocasiões (ANDRADE Y PERDRIX, 1992).

A inspeção detalhada tem por objetivo quantificar a extensão da determinação e caracterizar os elementos da estrutura; seu desenvolvimento exige uma ampla campanha de ensaios (CASCUDO, 2005).

3. METODOLOGIA

A seguir será apresentada a metodologia adotada pelo Programa de Manutenção Civil para estruturas de concreto armado, onde é composto pela Inspeção preliminar (fase 1), Inspeção completa, projetos de recuperação e planos de manutenção (fase 2) e Obras de recuperação e implantação de manutenção preventiva (fase 3). Em seguida, serão apresentados os resultados da Inspeção Preliminar de oito unidades do sistema.

3.1 Inspeção preliminar

A inspeção preliminar tem como objetivo fornecer os subsídios necessários à contratação da inspeção completa e fazer diagnóstico da situação atual das estruturas civis das unidades industriais. Esta fase foi concluída em oito unidades do sistema (RPBC, REVAP, REPAR, RECAP, REDUC, REGAP, REMAN e RLAM), a Tabela 1 apresenta informações quanto a localização, microclima e ano da inauguração da primeira unidade operacional da planta.

Tabela 1 – Unidade Operacional localização e microclima.

Unidade Operacional	Estado	Microclima	Inauguração da primeira unidade
LUBNOR	Fortaleza - CE	Industrial / Marinho	1966
RECAP	Mauá / Santo André - SP	Industrial	1954
REDUC	Duque de Caxias - RJ	Industrial / Marinho	1961
REFAP	Canoas - SP	Industrial / Lacustre	1965
REGAP	Betim / Ibirité - MG	Industrial	1968
REMAN	Manaus – AM	Industrial / Lacustre	1957
REPAR	Araucária – PR	Industrial	1977
REPLAN	Paulínia - SP	Industrial	1972
REVAP	São José dos Campos - SP	Industrial	1980
RLAM	São Francisco do Conde - BA	Industrial / Marinho	1950
RPBC	Cubatão - SP	Industrial / Marinho	1955
RPCC	Guamaré - RN	Industrial / Marinho	2009
SIX	São Mateus do Sul - PR	Industrial	1972

O escopo dos serviços consiste-se em:

- Inspeção visual, buscando identificar, fissuras, corrosão da armadura, desplacamento, entre outros;
- Levantamento da documentação existente (projetos, memoriais descritivos, entre outros);
- Definição dos ensaios por estrutura, conforme avaliação realizada na inspeção visual;
- Definição dos recursos (materiais, de mão de obra ou equipamentos);
- Priorização (crítico, alerta, tolerável);
- Estimativa de custos, baseada nos recursos necessários e no cronograma.

As estruturas serão classificadas conforme o nível de criticidade, sendo definido como:

- Nível Crítico: edificações com indícios de problemas estruturais e de durabilidade, necessitando de recuperação imediata ou em curto prazo;

- Nível Alerta: edificações com durabilidade duvidosa, com presença de anomalias reveladas onde seria recomendável uma avaliação pormenorizada, podendo ser programada em médio prazo;
- Nível Tolerável: edificações sem indícios de problemas estruturais ou de durabilidade, com padrão de construção visualmente satisfatório, porém não isentas do emprego de vistorias para assegurar sua durabilidade e vida útil.

Com base nestas informações será realizada a contratação em todas as unidades do sistema, os serviços de inspeção completa.

3.2 Inspeção completa

A inspeção completa será realizada em todas as estruturas indicada na inspeção preliminar que possuam priorização critica ou alerta.

O escopo padrão do contrato de Inspeção Completa consiste-se em:

- Relatório de Ensaios por unidade de processamento para identificação da causa básica;
  - Pacometria (localização e recobrimento das armaduras);
  - Carbonatação (profundidade);
  - Potencial de Corrosão (ASTM C-876);
  - Teor de cloretos (nitrato de prata) e sulfatos (cloreto de bário);
  - Ultrassom (homogeneidade do concreto);
  - Resistência à compressão com extração de corpo de prova.
- Projetos de recuperação e/ou reforço;
  - Projetos (DE) por equipamento ou estrutura;
  - Relatórios de inspeção (RL);
  - Memorial Descritivo (MD);
  - Especificação Técnica (ET);
- Planejamento da recuperação e/ou reforço (escopo, estimativa de custo, prazo);
- Cadastro das estruturas no SAP (tagueamento, criticidade e planos de manutenção);

3.3 Obras de recuperação

A recuperação estruturas, conforme projetos e memoriais descritos apresentados como resultado da inspeção completa será executado via contrato especifico ou pelo contrato de obras civis da Engenharia, conforme estratégia de contratação de serviços de cada unidade.

4. APRESENTAÇÃO E ANALISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados das inspeções preliminares, em oito unidades, dentro do programa de manutenção de manutenção civil - inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto armado em unidades petroquímicas da Petrobras.

4.1 Inspeção preliminar

A inspeção preliminar foi concluída em oito unidades do sistema. A Figura 1 apresenta dos resultados da Inspeção Preliminar nas unidades industriais, os resultados são apresentados de maneira aleatória devido a sua classificação confidencial.

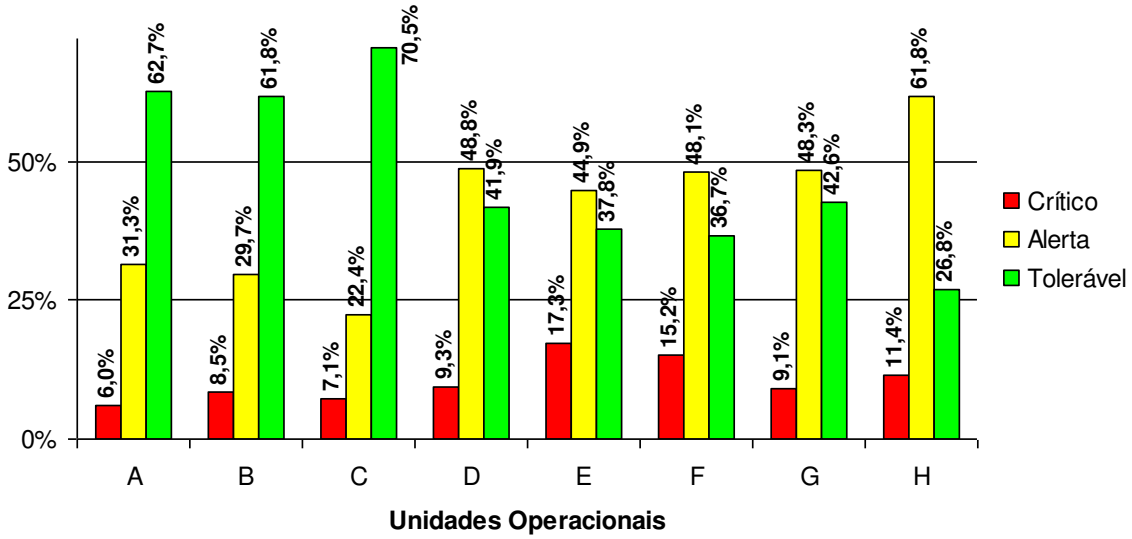


Figura 1: Inspeção Preliminar por Unidade Operacional.

A Figura 2 apresenta dos resultados da Inspeção Preliminar onde foram inspecionadas 2107 estruturas de concreto armado.

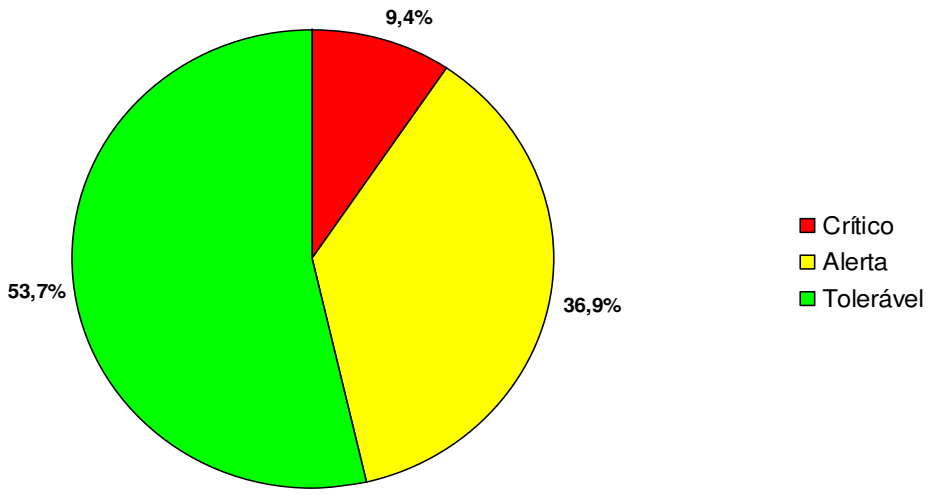


Figura 2: Resumo da Inspeção Preliminar.

Aproximadamente 54% delas apresentam condições toleráveis e passaram a ter acompanhamento dentro do plano de manutenção. Cerca de 10% das estruturas necessitam de manutenção corretiva, objetivando o reestabelecimento das condições de uso.

4.2 Inspeção completa

A inspeção completa está em execução na REPAR (Paraná), REGAP (Minas Gerais) e REVAP (São Paulo), estando em fase de contratação em mais seis unidades. O prazo estimado para realização da Inspeção Completa é de 18 meses após assinatura do concreto. Quatro unidades demandam fazer a inspeção preliminar para posteriormente ser planejada a inspeção completa.

A inspeção completa possui como benefícios:

- Integração da manutenção de estruturas civis aos processos de manutenção de rotina;
- Plano para eliminação do passivo de recuperação estrutural;
- Mudança do foco de manutenção corretiva para manutenção preventiva;
- Controle e redução de custos de manutenção civil.

4.3 Obras de recuperação

As obras de recuperação das estruturas serão iniciadas conforme conclusão da Inspeção Completa, com cronograma de execução (especifico) de cada unidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação do Programa de Manutenção Civil encontra-se em execução (fase 1 e 2) em diversas unidades e os resultados da inspeção preliminar indicaram que 9% das estruturas necessitavam de manutenção corretiva para restabelecimento das condições originais de desempenho; 37% de intervenções preventivas para evitar agravamento no médio prazo; e 54% não possuíam indícios de problemas estruturais ou de durabilidade. Tais números corroboram o ganho potencial desse trabalho bem como a importância de sua conclusão.

Conforme citado anteriormente, plantas industriais de processamento contínuo necessitam, por suas características, de alta confiabilidade operacional, o que depende de uma gestão efetiva da manutenção de seus equipamentos e estruturas. Se por um lado a manutenção de equipamentos mecânicos já dispõe de programas de manutenção robustos, torna-se imprescindível a implantação de um programa de manutenção preventiva também para as estruturas de concreto armado.

Com a implantação deste programa, as estruturas de concreto armado de cada planta de processamento serão identificadas e cadastradas em um banco de dados, onde serão armazenados os resultados das inspeções realizadas e o plano de manutenção associado. Este plano irá prever inspeções periódicas que passarão a constituir o histórico de evolução dos parâmetros de durabilidade, permitindo classificar as estruturas com relação à criticidade de suas manifestações patológicas. Essa informação será cruzada com a importância de cada estrutura para a continuidade operacional, o que permitirá priorizar as demandas de manutenção.

Ao final da inspeção completa será possível conhecer quais estruturas necessitam de manutenção corretiva e qual o seu custo, permitindo assim traçar um plano plurianual para prevendo a recuperação da estruturas. Uma vez saneado o passivo, as intervenções nas estruturas passarão a serem feitas preventivamente, minimizando os custos de manutenção e aumentando a confiabilidade dessas estruturas.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE Y PERDRIX, M. del C., **Manual para diagnostico de obras deterioradas por corrosão de armadura.** 1º ed. São Paulo, Ed. Pini, 1992.

ANDRADE, T.; SILVA, Â., **Patologia das estruturas.** :____. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Edit. Isaia, G. C., São Paulo: Ibracon, 2005. V. 2, p.953-984

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/78** Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1978.

-----. **NBR 6118/07** Concreto – Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2007.

CALDEIRA, M. C. P., SANTOS, F. M., **Recuperação de flotador de UTDI da Refinaria Getúlio Vargas,** In. IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, CINPAR – João Pessoas – PB – pg. 1-14 / 2013.

CÁNOVAS, F. M., **Patologia e terapia do concreto armado.** São Paulo, Ed. Pini, 1988.

CASCUDO, O., **Inspeção e Diagnostico de Estruturas de Concreto com Problemas de Corrosão das Armaduras.** :____. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Edit. Isaia, G. C., São Paulo: Ibracon, 2005. V. 2, p.1071-825

CORREA, M. I. F. **Implantação de programa de manutenção preventiva e corretiva em estruturas de concreto armado,** In. IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, CINPAR – João Pessoas – PB – pg. 1-11 / 2013.

HELENE, P. R. L. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo, Editora Pini, 1988.

MEDEIROS, E. E. P. **Manutenção de Estruturas Civis no Refino**. Apresentação Interna Petrobras (NP-2) - AB-RE/ES/EN, Rio de Janeiro, Outubro/2013

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto - Microestrutura, propriedades e Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 2º ed. São Paulo: Ed. Pini, 1997.

SANTOS, L. L. F. **Manutenção de Estruturas Civis no Refino - Histórico e situação atual**. Apresentação Interna Petrobras (NP-2), Rio de Janeiro, Setembro/2013

SILVA, P. F. A., **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana,** São Paulo, Ed. Pini, 1995.

SOLYOM, L. A. **Inspeção e recuperação de estruturas.** Apresentação Interna Petrobras (NP-2) - REPAR/EN, Araucária, Agosto/2013