

Avaliação da profundidade de carbonatação em estruturas de concreto armado de uma refinaria de petróleo com vida útil maior de 40 anos

Renata Araujo¹

¹ Engenheira Civil, Universidade Federal do Paraná, renata_edif@hotmail.com

Resumo: A carbonatação é um fenômeno que depende do ambiente no qual as estruturas estão inseridas, os materiais constituintes e as idades das mesmas. Neste artigo demonstra-se o comportamento das profundidades de carbonatação em estruturas de concreto armado com mais de 40 anos em uma Refinaria de Petróleo localizada no sul do Brasil. Foram compilados dados de ensaios, realizados, de profundidade de carbonatação e pacometria em estruturas de concreto de mesma idade em 15 áreas, que neste trabalho foram designadas de unidades, totalizando 29 estruturas e 216 pontos de ensaios. Ao se realizar a comparação entre todos os pontos ensaiados foi constatado que a profundidade de carbonatação possui grande variação, ou seja, não existe similaridade nas profundidades destas, mesmo em pontos que se localizam na mesma estrutura que são próximos e estão sujeitos aos mesmos agentes agressivos. Pode-se avaliar a variação de frente de carbonatação em vários elementos estruturais em condições reais de exposição e com idade superior a 40 anos.

Palavras-chave: carbonatação, concreto estrutural, exposição real, ambiente petroquímico.

Abstract: the carbonation is a phenomenon that depends of the environment in the structures are included, the composition of the materials and the age of them. So the purpose of this article is to study the behavior of the depths of carbonation in reinforced concrete structures with more than 40 years in a refinery. Were compiled test data performed previously of pacometria and carbonation's depth, in concrete structures of the same ages in 15 areas, in this paper we will define units, totaling 29 structures and 216 test points. When performing the comparison between all points tested, it was found that the carbonation depth has great variation. There is no similarity in the depths of these, even in points are close, located in the same structure and are subject to the same agents e.g. Contributions/originality: with this job can assess the variation in front of carbonation in various structural elements in real conditions of exposure and over the age of 40 years.

Keywords: carbonation, structural concrete, real exposition, petrochemical environment.

1. Introdução

No dimensionamento de estruturas de concreto, os projetistas tomam como base principal as características dos materiais a serem aplicados nestas, principalmente a resistência dos mesmos, bem como o local onde as estruturas desempenharão suas funções ao longo de sua vida útil.

Neste contexto a agressividade do ambiente é uma das principais ações a serem consideradas no projeto/concepção de uma estrutura de concreto, esta é responsável pelo adequado dimensionamento do cobrimento das barras de aço que é a barreira física e química responsável por evitar o ingresso de agentes agressivos, e consequentemente uma eventual despassivação das armaduras.

Segundo a NBR 6118/2003 [1] “A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto”.

Quando é realizado o dimensionamento das estruturas tem-se o intuito que o concreto proporcione primeiramente a armadura uma proteção física do exterior e segundo uma proteção química através da formação de uma camada passivadora.

CASTRO et al. *apud* Vieira [2]:

Proteção química se deve, a natureza alcalina da solução dos poros, responsável por manter a armadura na condição de passividade enquanto o concreto apresentar uma qualidade adequada, sem fissurar ou sofrer a ação de agentes agressivos externos. O hidróxido de cálcio formado na hidratação dos silicatos de cálcio (C3S e C2S) e, principalmente, os hidróxidos de sódio e potássio, originários dos álcalis do cimento, conferem ao concreto um pH alcalino, o qual mantém-se na faixa de 12,5 a 13,5.

Assim a potencialidade da corrosão depende do pH do meio pois existe uma interação entre os íons formados nas reações da corrosão com os íons do eletrólito. Desta forma pode-se estabelecer uma relação entre a diferença de potencial e o pH do meio aquoso (POURBAIX, 1974).

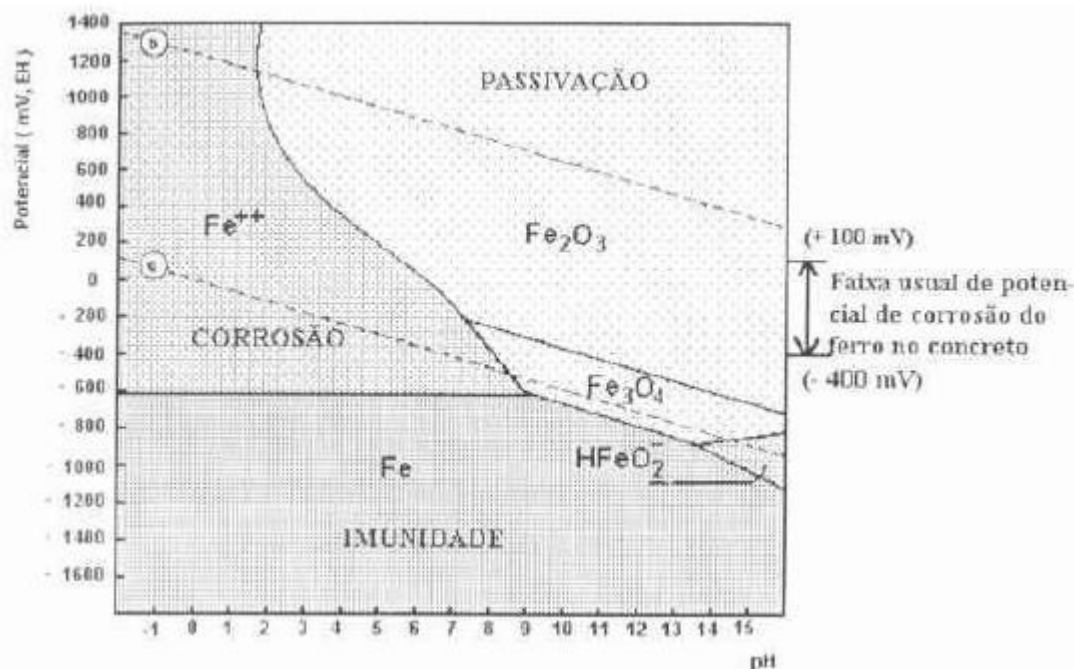


Figura 1: Diagrama de equilíbrio termodinâmico do metal ferro em meio aquoso a 25°C (POURBAIX, por CASCUDO [3])

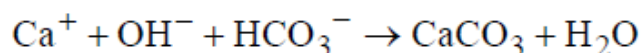
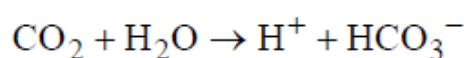
Na figura 1 acima pode-se distinguir três zonas: imunidades, passivação e corrosão. Na zona de imunidade, o metal não corrói, permanecendo estável para qualquer valor de pH. A zona definida como passivação é onde o metal se recobre de uma delgada camada de oxido e hidróxidos que atuam como uma barreira de proteção impedindo o progresso da corrosão. Na zona de corrosão o pH e o potencial eletroquímico dão condições para que os produtos da camada de passivação não sejam mais estáveis e a corrosão tenha lugar.

A elevada alcalinidade da solução dos poros do concreto favorece a formação e manutenção da camada passivante do aço no interior do concreto.

Essa alcalinidade (pH entre 12,5 e 13,5) é obtida principalmente devido a formação da portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) que é gerada durante a hidratação do cimento, mas outros álcalis presentes na pasta também contribuem para essa condição.

Segundo ANDRADE [4] os principais agentes que podem ocasionar a despassivação das armaduras são a carbonatação do concreto e a presença de cloretos, embora possam existir outros agentes como água acidas, fungos, fuligem, fissuras, reações expansivas com sulfatos entre outros.

A carbonatação do concreto faz com que haja uma redução do pH da solução para valores na ordem de 9. As reações químicas envolvidas neste processo são:



Ocorre que o CO_2 penetra para o interior do concreto por difusão, predominantemente, sendo que a absorção capilar e a migração de íons não se aplicam ao caso e dificilmente haverá diferenças de pressão que possibilitem a ocorrência de mecanismos de transporte do tipo permeabilidade (HELENE, 1993).

A penetração e a reação de carbonatação ocorrem gradualmente, gerando uma camada carbonatada que aumenta de espessura ao longo do tempo, esta camada é denominada frente de carbonatação, conforme figura abaixo:

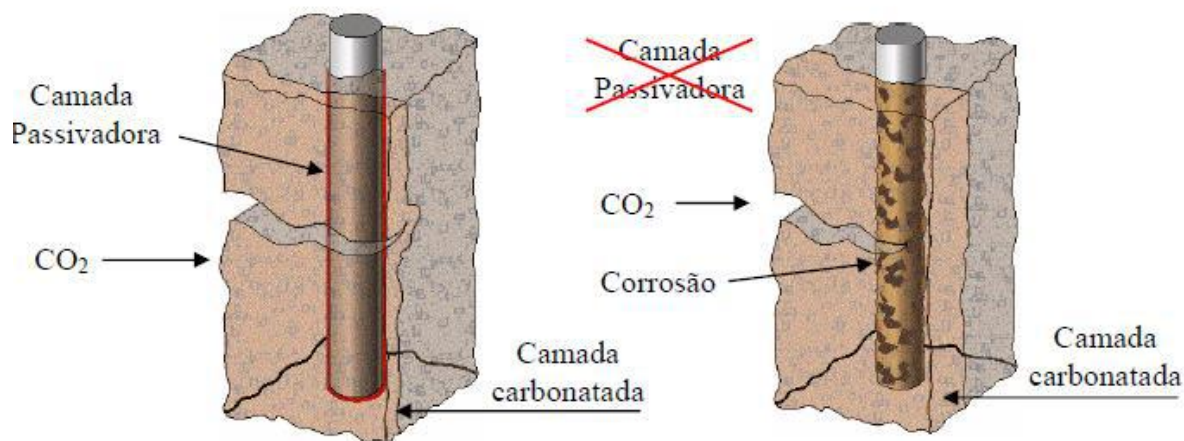


Figura 2: Representação do anáodo da frente de carbonatação (TULA, 2000) *apud* Bazan [5]

A corrosão consiste no perecimento do material metálico, como as armaduras do concreto armado, provenientes da interação físico-química entre o material e o meio operacional em que se está inserida. Como resultado ocorre a perda das características essenciais de projeto, como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, segurança etc., podendo até levar ao colapso estrutural.

Para que ocorra a corrosão são necessários quatro fatores combinados: condução elétrica, meio eletrolítico, diferença de potencial e oxigênio.

O concreto assegura uma camada protetora ou passivadora ao aço, formando uma película em sua volta, devido à alta alcalinidade do pH acima de 12,5. Como tal película possui baixa condutividade iônica, baixa solubilidade, boa aderência ao aço, caracteriza-se por ser constituída de óxidos. Quando o pH alcança um valor igual ou inferior a 11, a película pode ser destruída, favorecendo o desenvolvimento de corrosão. É dito que o aço possui uma característica passiva quando resiste a um meio onde existe uma propensão para passar do estado metálico para iônico [6].

2. Metodologia

Neste trabalho foi realizada a compilação de dados de ensaios, de profundidade de carbonatação e pacometria em estruturas de concreto de mesma idade em 15 áreas, que neste trabalho designaremos de unidades, de uma Refinaria de Petróleo.

Nestas 15 unidades foram ensaiadas 29 estruturas quanto a profundidade de carbonatação, sendo realizados dois pontos de ensaios em cada elemento estrutural

e, após, foi realizada a média entre eles. Desta forma, designados em cada localização como x/y. O concreto de todas as estruturas ensaiadas possuíam fck de projeto igual 20Mpa e nenhuma delas teve qualquer tipo de manutenção ao longo dos 41 anos desde sua execução.

Com a tabulação dos dados do ensaio de carbonatação nas estruturas, de mesma idade, na refinaria de petróleo foram realizadas comparações entre estes para verificação das profundidades de carbonatação. Também foi realizada comparação entre a frente de carbonatação e a espessura da camada de cobertura da amadura para verificar a possibilidade de despassivação da armadura.

De posse dos dados dos ensaios coletados foi realizada a separação por unidades e tipos de elementos estruturais conforme descrito na tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Número de ensaios realizados por estrutura e tipo de elemento estrutural.

UNIDADE	1					2		3						4						5	6	7	8	9			10	11	12	13	14	15
Estrutura	A	B	C	D	E	A	B	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	A	A	A	A	B	C	A	A	A	A	A	
Base	8			3	7	3	3			11		3		10		8										5	6	6	6	3	6	4
Parede															6				7	6						10	4					
Pilar	1	5	2	6	2	4		2		2		4	3				6	6														
Viga	1	7	3	1	1	5		3		3		2	3				2	2														

A tabela 1, acima, mostra a quantidade de ensaios realizados por tipo de estrutura (base, parede, pilar e viga) em cada uma das 15 unidades. Algumas unidades tiveram mais estruturas do mesmo tipo ensaiadas porem estes ocorreram em locais distintos, assim estas foram designadas de A, B, C, D, E e F para a compilação dos dados amostrados.

3. Análise dos dados

Na análise dos dados dos ensaios não foram consideradas medições de CO₂ do ambiente, umidade nos pontos ensaiados, temperatura e profundidade de trincas/fissuras na extensão das estruturas, sendo somente consideradas as profundidades da frente de carbonatação e o cobertura da armadura.

De posse de todos os dados coletados quanto a profundidade de carbonatação de cada uma das estruturas ensaiadas pode-se realizar gráfico comparativo das médias de carbonatação e assim verificar a variação da frente de carbonatação nas estrutura analisadas.

3.1 Análise da profundidade de carbonatação em bases

A seguir na figura 3 estão presentes as médias de frente de carbonatação das bases, de todos os pontos ensaiados, em cada uma das unidades.

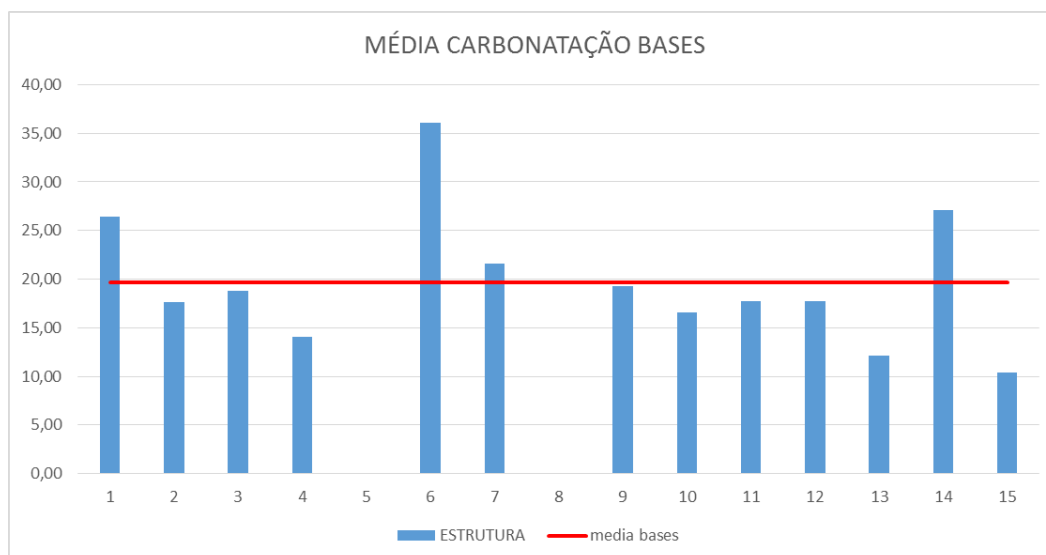


Figura 3: Gráfico da média da profundidade de carbonatação em bases de cada uma das Unidades.

Verifica-se no gráfico da figura 3 acima quanto a profundidade de carbonatação das bases de cada uma das estruturas ensaiadas pode-se verificar que não há similaridade desta em nenhuma das estruturas ensaiadas.

As médias variam de 12,15mm a 36,06mm e ao realizarmos uma média geral das estruturas indicada pela linha vermelha do gráfico percebemos que há um desvio padrão de 9,40 e um coeficiente de variância de 47,83 entre os dados de cada uma das estruturas.

3.2 Análise da profundidade de carbonatação em paredes

A seguir na figura 4 estão presentes as médias de frente de carbonatação das paredes, de todos os pontos ensaiados, em cada uma das unidades.

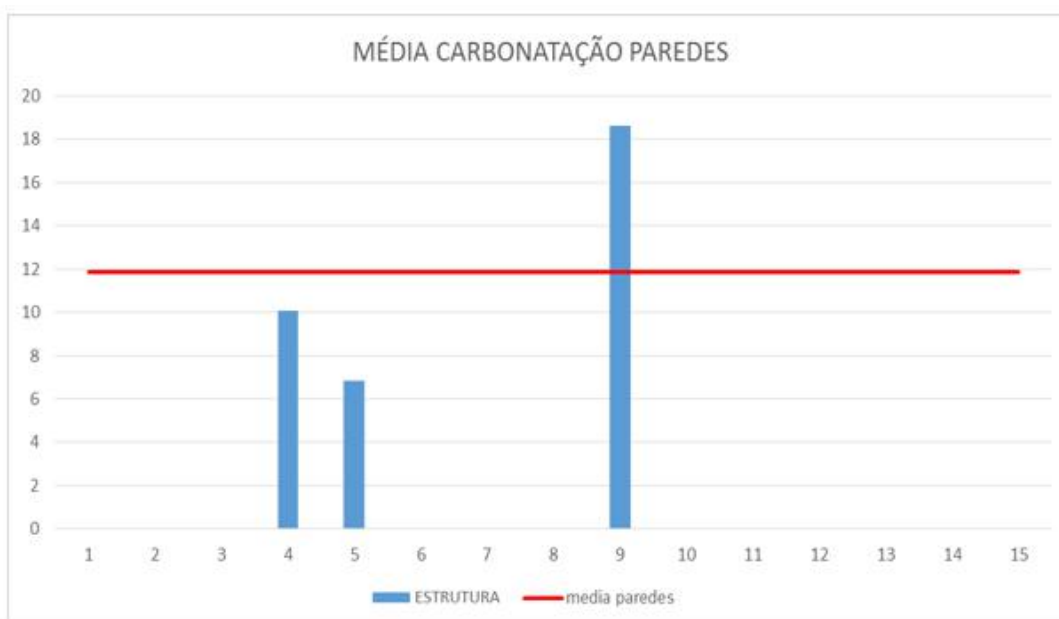


Figura 4: Gráfico da média da profundidade de carbonatação em paredes de cada uma das Unidades.

Verifica-se no gráfico da figura 4 acima quanto a profundidade de carbonatação das paredes de tanques de cada uma das estruturas ensaiadas pode-se verificar que não há similaridade desta em nenhuma das estruturas ensaiadas.

As médias variam de 6,84mm a 18,62mm e ao realizarmos uma média geral das estruturas indicada pela linha vermelha do gráfico percebemos que há um desvio padrão de 5,82 e um coeficiente de variância de 49,13 entre os dados de cada uma das estruturas.

3.3 Análise da profundidade de carbonatação em pilares

A seguir na figura 5 estão presentes as médias de frente de carbonatação dos pilares, de todos os pontos ensaiados, em cada uma das unidades.

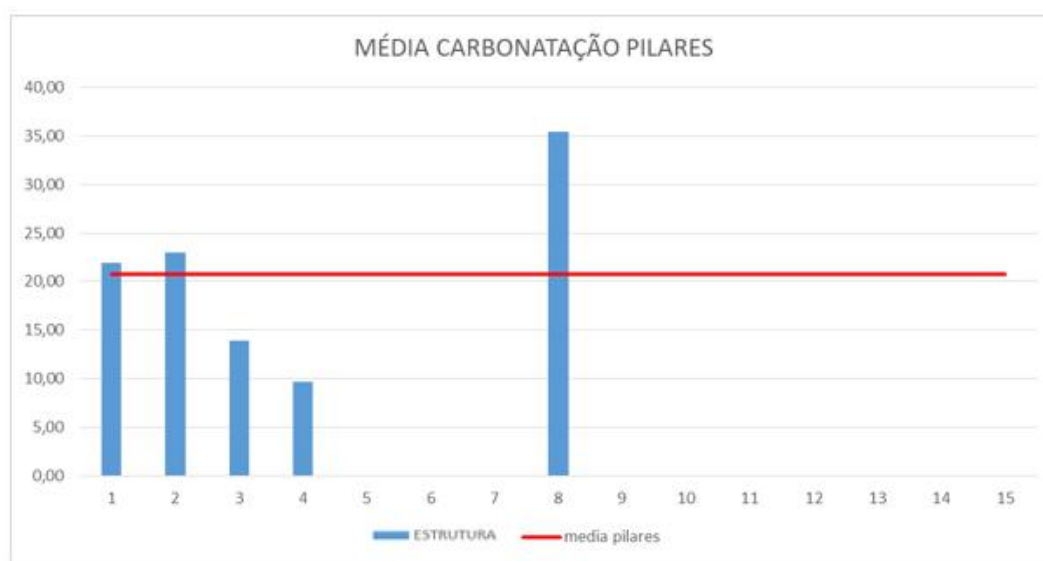


Figura 5: Gráfico da média da profundidade de carbonatação em pilares de cada uma das Unidades.

Verifica-se no gráfico da figura 5 acima quanto a profundidade de carbonatação dos pilares de cada uma das estruturas ensaiadas pode-se verificar que não há similaridade desta em nenhuma das estruturas ensaiadas.

As médias variam de 9,62mm a 35,45mm e ao realizarmos uma média geral das estruturas indicada pela linha vermelha do gráfico percebemos que há um desvio padrão de 13,11 e um coeficiente de variância de 63,11 entre os dados de cada uma das estruturas.

3.4 Análise da profundidade de carbonatação em vigas

A seguir na figura 6 estão presentes as médias de frente de carbonatação das vigas, de todos os pontos ensaiados, em cada uma das unidades.

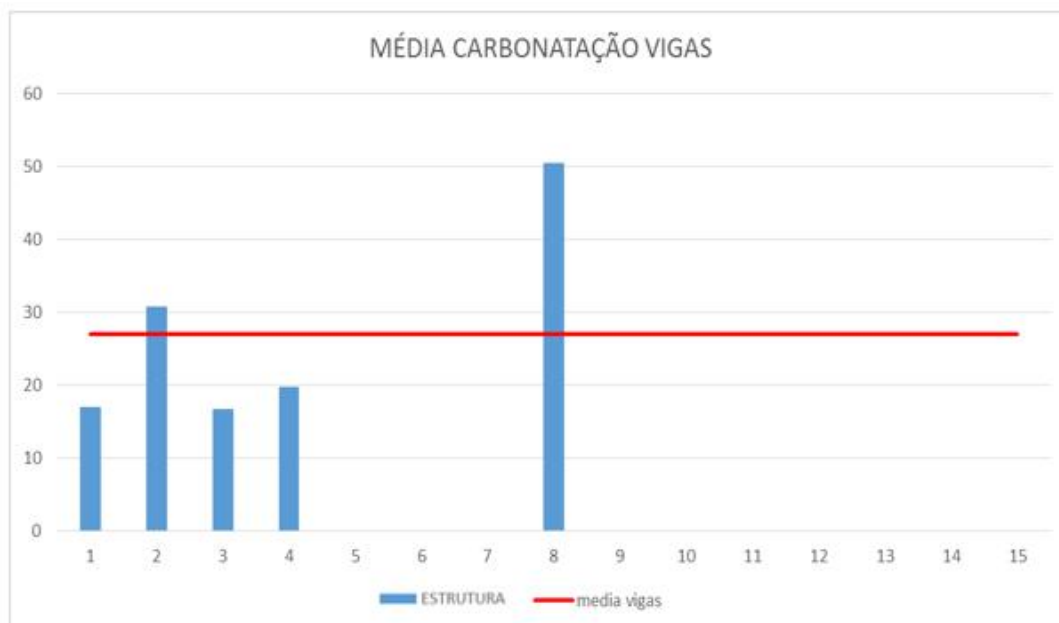


Figura 6: Gráfico da média da profundidade de carbonatação em vigas de cada uma das Unidades.

Verifica-se no gráfico da figura 6 acima quanto a profundidade de carbonatação dos pilares de cada uma das estruturas ensaiadas pode-se verificar que não há similaridade desta em nenhuma das estruturas ensaiadas.

As médias variam de 16,98mm a 50,4mm e ao realizarmos uma média geral das estruturas indicada pela linha vermelha do gráfico percebemos que há um desvio padrão de 17,64 e um coeficiente de variância de 65,20 entre os dados de cada uma das estruturas.

4. Considerações Finais

O processo de carbonatação é uma importante fonte de degradação das estruturas de concreto armado. Esse processo é um fenômeno que depende das características dos materiais e do ambiente, em um processo interativo simultâneo.

Assim neste contexto foram analisadas estruturas que estão inseridas no mesmo ambiente, que estavam concluídas até 1975 e com fck de projeto 20MPa para que a análise do nível da profundidade da frente de carbonatação tivesse congruência.

Verifica-se que ao se realizar a comparação dos dados dos pontos ensaiados (216 no total) a profundidade de carbonatação possui grande variação, ou seja, não existe similaridade nas profundidades destas mesmo em pontos que se localizam na mesma estrutura, que são próximos e estão sujeitos aos mesmos agentes p. ex.

Em uma mesma edificação, feita com um mesmo concreto, pode haver consideráveis variações na profundidade de carbonatação a uma mesma idade: as paredes mais expostas à chuva terão uma profundidade de carbonatação menor, assim como as superfícies inclinadas que podem ser lavadas pela chuva, o mesmo se aplica às paredes que podem ser completamente secas devido a insolação [7].

5. Agradecimentos

Ao engenheiro civil prof. De Luca pela valiosa colaboração durante todo o processo de elaboração deste artigo.

Ao colega de trabalho Leander Avila pelo fornecimento dos dados do levantamento de campo que subsidiaram este trabalho.

Aos amigos Adriana Verchai de Lima Lobo, Ana Paula Barbie, Camila Verzenhassi, Claudia Zangaro e Vernon Loepper Junior pela leitura e comentários de tudo que poderia ser melhorado neste trabalho.

A Petrobras pela oportunidade dada para realização deste trabalho com o intuito de capacitar a força de trabalho.

E finalmente a minha família e amigos pelo suporte dado durante todos estes anos e por confiarem na minha capacidade de executar este trabalho da melhor forma possível.

6. Referências

- [1] NBR 6118.
- [2] VIEIRA, F.M.P. *Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras em concretos com adição de sílica ativa*. Tese de doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2003, 242 p.
- [3] CASCUDO, O. *O Controle da Corrosão das Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas*. Ed. PINI, São Paulo, Ed. UFG, 1997, 237p.
- [4] ANDRADE, C. *Manual para diagnóstico de Obras Deterioradas por corrosão de Armaduras*. São Paulo: PINI, 1992.
- [5] BAZAN, G.C.G. *Análise do cobrimento e carbonatação em obras de arte especiais no estado de São Paulo*. Trabalho de Conclusão de curso. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 2014, 151 p.
- [6] SILVA, Paulo Fernando Araújo. *Durabilidade das Estruturas de Concreto Aparente em Atmosfera Urbana*. São Paulo: Editora Pini, 1995.
- [7] NEVILLE, A M. *Propriedades do concreto*. São Paulo: PINI, 1997.