

Análise do Desempenho de Argamassas de Reparo para Câmaras Subterrâneas de Passagem de Energia Elétrica

B. L. Medeiros, UFPR/LACTEC; M; Raeder Filho UFPR/LACTEC; R. Wozniak, PUC/LACTEC; W. Barbosa, UFPR/LACTEC; P. H. Pedrozo, LACTEC; M. F. Lopez Junior, ELETROPAULO

Resumo - Este trabalho apresenta resultados referentes ao primeiro ciclo 2002/2003 do projeto “Desenvolvimento de Estruturas Subterrâneas de Energia Elétrica: Vida Útil Frente a Ambientes Agressivos realizado pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento” – LACTEC apresentado a ELETROPAULO. Com o intuito de obter um sistema de reparo com alta resistência, baixa porosidade e permeabilidade, foram submetidas a ensaios de durabilidade e resistência mecânica argamassas comerciais comumente encontradas na região de São Paulo.

Palavras-chave – Argamassa, Concreto, Estruturas Subterrâneas, Sistemas de Reparos.

I. INTRODUÇÃO

O revestimento interno de estruturas subterrâneas de concreto geralmente está sujeito aos mais diversos tipos de ambientes agressivos. Nessas estruturas os agentes degradantes penetram através dos poros das argamassas de revestimento, atingindo finalmente o concreto e prejudicando sua integridade.

Em câmaras subterrâneas de passagem de energia elétrica, a quantidade de manifestações patológicas observadas é significativamente influenciada pelo grau de manutenção da estrutura. As câmaras possuem ventilação forçada com o objetivo de diminuir a temperatura interna, que é alta devido ao transformador presente. Entretanto, em muitos casos, a ventilação é prejudicada pela corrosão dos ventiladores. A falta de ventilação contribui para o aumento da temperatura e, conseqüentemente, para o desenvolvimento de reações de deterioração do concreto.

Além disso, o solo em contato com tais estruturas pode conter uma alta concentração de sulfatos e cloretos, que irão contribuir com o processo de corrosão das armaduras.

Logo, quaisquer materiais de revestimento ou reparos utilizados em estruturas subterrâneas devem apresentar uma baixa permeabilidade e porosidade, aumentando assim a durabilidade do concreto. Além disso, esses materiais normalmente são submetidos a diferentes esforços mecânicos, portanto, devem não só apresentar durabilidade adequada, mas também resistência mecânica compatível com as solicitações de serviço.

Uma análise prévia de algumas estruturas de concreto subterrâneas localizadas na região de São Paulo permitiu identificar diversas manifestações patológicas, dentre as quais se destacaram a carbonatação do concreto, a falta de recobrimento das armaduras e conseqüente corrosão de tais armaduras, a fissuração, além da expansão e destacamento do revestimento.

Nesse artigo foram analisadas algumas argamassas utilizadas na produção de sistemas de reparo em estruturas subterrâneas. Primeiramente, as argamassas foram submetidas a ensaios para caracterização de suas propriedades mecânicas. Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão. Em seguida as argamassas de reparo foram analisadas em relação à sua durabilidade. Tal análise foi realizada através de ensaios de imersão por capilaridade, imersão por absorção e absorvidade.

II. INSPEÇÃO PRÉVIA

Através de uma inspeção prévia às câmaras subterrâneas, foram analisadas quais eram as principais manifestações patológicas nessas estruturas. As estruturas são compostas por paredes e tampas de concreto, sendo assim, optou-se por dividir o levantamento para cada um desses elementos. Os resultados da inspeção estão apresentados graficamente nas Figuras 1 e 2.

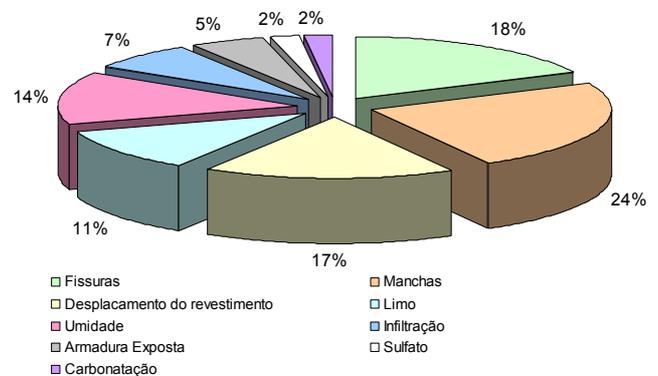


Figura 1. Manifestações patológicas das câmaras subterrâneas - paredes.

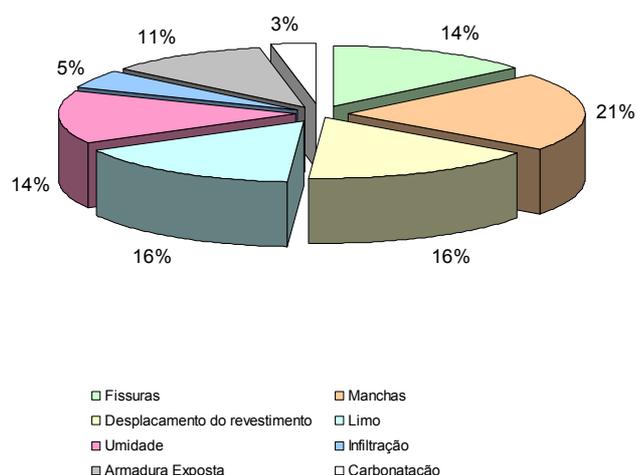


Figura 2 . Manifestações patológicas das câmaras subterrâneas - tampas.

III. MATERIAL

Com o objetivo de avaliar o desempenho mecânico e a durabilidade de sistemas de reparo utilizando argamassas, foram analisados 7 (sete) tipos de argamassas comerciais comumente encontradas no mercado. As principais características desses materiais fornecidas pelos respectivos fabricantes são apresentadas a seguir:

- Tipo 1 - Graute de uso geral de elevada resistência inicial e final, indicado para áreas de difícil acesso. Possui alta aderência e baixa porosidade. Este material é composto por água, cimento de alta resistência inicial, agregados com granulometria específica e aditivos plastificantes.
- Tipo 2 - Argamassa seca de elevada resistência inicial e final, indicada para revestimentos e reparos de estruturas de concreto. Possui alta aderência, baixa permeabilidade e retração. É composta de cimento e aditivos.
- Tipo 3 - Argamassa bi-componente modificada com polímeros. É indicada para recuperação estrutural, revestimentos e reparos em concreto. Sua principal característica é a consistência tixotrópica, o que permite a aplicação em superfícies verticais e horizontais. É composta por emulsão acrílica e cimento.
- Tipo 4 - Graute não retrátil para aplicação em painéis, vigas e elementos pré-fabricados, além de locais de difícil acesso. Possui resistência inicial e final elevadas, além de alta aderência e baixa permeabilidade.
- Tipo 5 - Argamassa autonivelante, recomendada para espaços confinados. Possui elevada resistência inicial e final, alta resistência à tração e ao arrancamento. É um material isento de cloretos e componentes metálicos.
- Tipo 6 - Argamassa polimérica bi-componente de alto desempenho. Utilizada em reparos, revestimentos de superfícies de concreto, reforço permanente e reconstituição de componentes

estruturais de concreto. Apresenta elevada resistência, retração compensada e baixa permeabilidade. Além disso, possui características tixotrópicas, permitindo sua aplicação em superfícies verticais e horizontais,

- Tipo 7 - Argamassa de alta resistência inicial e final. Indicada para recuperação estrutural e grauteamento de elementos pré-moldados de concreto armado ou protendido. Esse material é composto por cimento e aditivos e apresenta resistência a óleos minerais, resistência à fadiga por variação de temperatura e vibrações.

A Tabela 1 contém alguns valores de resistência à compressão fornecidos pelos fabricantes das argamassas analisadas.

Tabela 1. Resistência à Compressão para argamassas comerciais

ARGAMASSA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			
	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
Tipo 1	30	49	57	70
Tipo 2	20	-	-	70
Tipo 3	-	25	-	55
Tipo 4	-	20	-	40
Tipo 5	22	38	-	50
Tipo 6	20	-	-	42
Tipo 7	5	20	-	50

IV. DESENVOLVIMENTO

Os ensaios realizados, assim como as normas que os prescrevem estão apresentados a seguir.

- resistência à compressão axial (NBR 7215/88);
- resistência à tração na flexão (NBR 12142/92);
- absorção por imersão (NBR 9778/87);
- absorção por capilaridade (NBR 9779/95);
- absorvidade [11].

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados aos 1, 3, 7 e 28 dias de hidratação. Os demais ensaios foram realizados aos 7 dias de hidratação.

Na produção das misturas, a consistência das argamassas foi determinada conforme os procedimentos descritos pela norma NBR 13276/97. Entretanto, o processo de mistura seguiu as instruções especificadas pelos respectivos fabricantes.

A. Resistência Compressão Axial

Para determinação da resistência à compressão das argamassas de reparo, foram utilizados corpos de prova cilíndricos (50 x 100 mm). Os corpos de prova foram cobertos com filme de PVC após a moldagem, com o intuito de evitar a perda de água superficial, e foram mantidos em ambiente de laboratório durante as primeiras 24 horas de hidratação.

Após esse período foram armazenados em câmara úmida com umidade relativa de aproximadamente 95% e temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ até a data de ensaio.

A Figura 3 apresenta um ensaio para determinação da resistência à compressão axial em andamento.



Figura 3. Ensaio – Resistência à Compressão Axial

B. Resistência à Tração na Flexão

A Norma NBR 12142/92 prescreve que os corpos de prova de concreto utilizados em ensaios para determinação da resistência à tração na flexão devem possuir dimensões iguais a $15 \times 15 \times 50$ cm. Entretanto, como o objetivo desse estudo é a avaliação de sistemas de reparos formados por argamassas, optou-se pela redução das dimensões dos corpos de prova, prática em consonância com a literatura [KORMANN, 2002]. Sendo assim foram utilizados corpos de prova prismáticos com $4 \times 4 \times 16$ cm, moldados segundo critérios estabelecidos na Norma NBR 5738/94.

Em relação à aplicação da carga, nesse ensaio foi necessária uma adaptação ao procedimento de ensaio. Segundo a Norma NBR 12142/92, a aplicação da carga deve ser feita em dois pontos equidistantes das faces laterais do prisma. Contudo, não havia no laboratório dispositivo adequado, decidiu-se pela aplicação central da carga, como indica a Figura 4.



Figura 4. Ensaio – Resistência à Tração na Flexão

C. Absortividade

O ensaio de absortividade tem como objetivo determinar a quantidade de água necessária para saturar a argamassa, e seu procedimento implica em monitorar, ao longo do tempo, o acréscimo no peso do corpo de prova, à medida em que o mesmo absorve água. O monitoramento é conduzido até a estabilização do peso da amostra.

A taxa de absorção capilar é determinada pela relação

entre a espessura do corpo de prova e a raiz quadrada do tempo de saturação. A porosidade efetiva corresponde à razão entre o acréscimo de peso e o volume da amostra.

Foram moldados corpos de prova cúbicos com dimensões iguais a $100 \times 100 \times 200$ mm. O processo de adensamento adotado foi o mecânico, através do vibrador de imersão, com agulha de 25 mm. Em seguida de tais corpos de prova foram serradas amostras com $100 \times 100 \times 25$ mm. As amostras foram colocadas em estufa com temperatura equivalente a 105 ± 5 até atingir constância de massa.

Após a estabilização do peso, as amostras eram retiradas da estufa para atingirem temperatura ambiente, geralmente em torno de 23 ± 2 , e armazenados em caixas lacradas contendo sílica gel, evitando, dessa forma, absorção de umidade.

Logo após, as amostras foram preparadas com resina epóxi, poliuretano e placa de pvc com cânula e silicone, como indica a Figura 5.



Figura 5. Ensaio – Absortividade

Como observa-se na Figura 4, a amostra deve ficar suspensa em malha metálica bi-apoiada à balança dentro de uma banheira com água até 5 cm do topo da respectiva amostra. Sendo assim, quando a amostra de argamassa é submersa em água, a superfície superior permanece sujeita à pressão atmosférica, sem a presença da água, permitindo assim a passagem de ar para a atmosfera enquanto a água sobe pelos capilares.

D. Absorção por Imersão

O ensaio de absorção por imersão foi realizado segundo os critérios estabelecidos pela Norma NBR 9778/87. Foram utilizados corpos de prova cilíndricos (50×100 mm).

Inicialmente os corpos de prova foram armazenados em estufa com temperatura igual a 105 ± 5 °C até ser obtida constância de massa. Em seguida foram resfriados em caixas vedadas contendo sílica gel. Logo após, os corpos de prova foram parcialmente imersos em água (altura de água equivalente a 1/3 da altura dos corpos de prova) com temperatura igual a 23 ± 2 °C durante 4 (quatro) horas e em seguida enxugados e pesados. Após a primeira leitura, os corpos de prova foram novamente parcialmente imersos em água (altura de água equivalente a 2/3 da altura dos corpos de prova) por mais 4 (quatro) horas e pesados em seguida. Finalmente, após as duas leituras iniciais, os corpos de prova foram totalmente submersos em água (Figura 6) e foram realizadas leituras após 24, 48 e 72 horas.

Completada a fase de saturação em água à temperatura de, as amostras foram colocadas em recipiente contendo água em processo de ebulição progressiva durante 5 horas. Em seguida a água foi resfriada naturalmente durante por volta de 14 horas, e foram realizadas novas leituras do peso dos corpos de prova.



Figura 6. Ensaio – Absorção por Imersão

E. Absorção por Capilaridade

Assim como no ensaio de absorção por imersão, foram realizados corpos de prova cilíndricos com dimensões iguais a 50 x 100 mm.

O ensaio de absorção por capilaridade foi realizado conforme prescreve a Norma NBR 9779/95. Como pode ser observado na Figura 7, nesse ensaio os corpos de prova são parcialmente imersos em água (lâmina d'água igual a 5 ± 1 mm) à temperatura em torno de 23 ± 2 °C, apoiados sobre uma grelha de plástico.



Figura 7. Ensaio – Absorção por Capilaridade

Após as primeiras 3 horas de imersão parcial das amostras, são efetuadas as leituras de peso, repetindo-se o procedimento após 6, 24, 48 e 72 horas. Realizadas as leituras, o corpo de prova é rompido longitudinalmente conforme descreve a Norma NBR 7222/95. Sendo assim, é possível observar a absorção da água pela argamassa no interior do corpo de prova. A distância da linha d'água à base do corpo de prova é medida em 4 diferentes pontos no interior do mesmo.

V. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos através dos ensaios de resistência à compressão axial são apresentados a seguir.

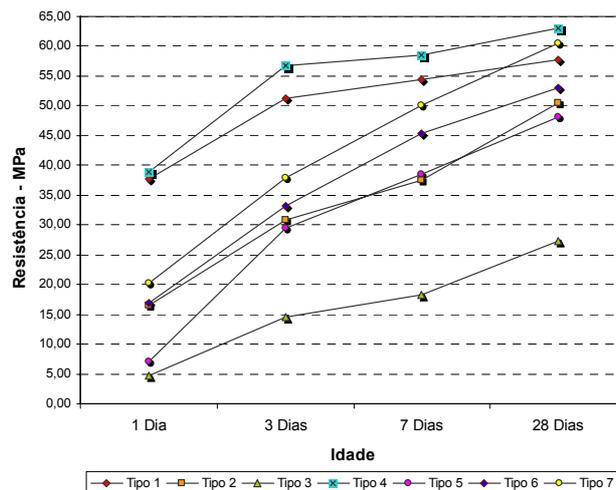


Figura 8. Resultados – Resistência à Compressão Axial

É possível observar que a argamassa do Tipo 4 apresentou resistência à compressão superior aos demais tipos analisados.

Observa-se também as diferentes variações na taxa de evolução da resistência para cada mistura:

- As argamassas 3 e 4 têm resistências significativamente distintas no primeiro dia de hidratação;
- Aos 3 dias de hidratação, a evolução das resistências é praticamente linear;
- Aos 7 dias de hidratação, a argamassa Tipo 2 apresentou menor resistência em relação à argamassa do Tipo 5;
- Aos 28 dias de hidratação, a argamassa Tipo 1 apresentou resistência inferior à argamassa do Tipo 7. Já as demais misturas analisadas mantiveram a tendência de evolução da resistência com o tempo.

Em relação à resistência à tração na flexão, a argamassa do Tipo 4 apresentou o melhor desempenho, como é possível observar na Figura 9. A argamassa do tipo 6 apresentou desempenho comparável. Tais dados estão em consonância com a bibliografia analisada e indicam comportamento superior de argamassa com adições de polímeros quando submetidas a esforços de tração [9].

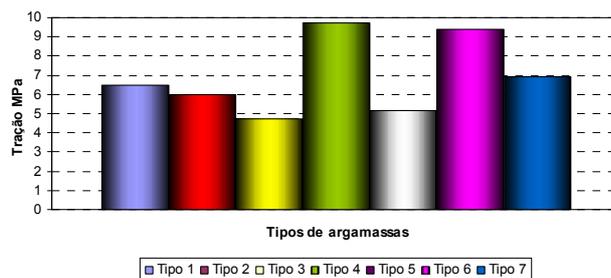


Figura 9. Resultados – Resistência à Tração na Flexão

Através do ensaio de absorvidade, é possível concluir que a argamassa do Tipo 7 apresentou a menor porosidade em comparação aos outros tipos analisados (Figura 10).

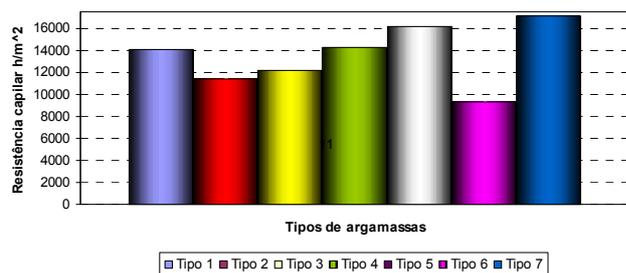


Figura 10. Resultados – Absorvidade

Como pode ser observado na Figura 11, através dos resultados obtidos pelo ensaio de absorção por imersão, conclui-se que a argamassa do Tipo 6 apresentou uma taxa de absorção significativamente inferior às demais.

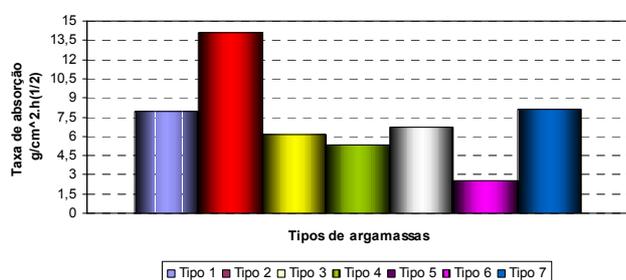


Figura 11. Resultados – Absorvidade

As adições de polímeros contribuem para a diminuição da porosidade, diminuindo a taxa de absorção. Além disso, a atuação da resistência capilar em argamassas é influenciada tanto pela alteração da relação água/cimento, como pelas adições presentes na mistura, ocorrendo uma forte interação entre estas variáveis.

A Figura 12 apresenta os resultados obtidos através do ensaio de absorção por imersão. Verifica-se que a menor taxa de absorção foi obtida pela argamassa do Tipo 6, seguida pela argamassa do Tipo 7.

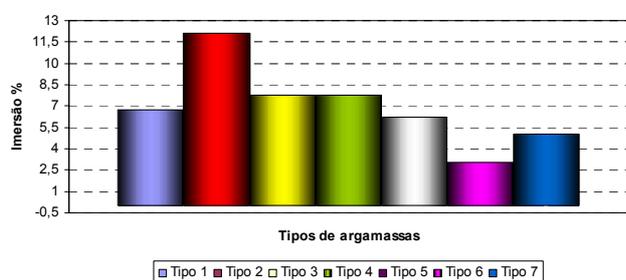


Figura 12. Resultados – Absorção por Imersão

Os resultados obtidos para os ensaios de absorção por capilaridade estão apresentados na Figura 13.

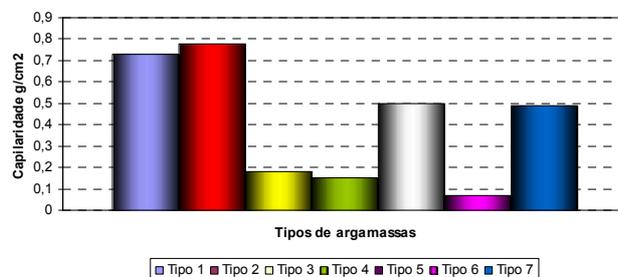


Figura 13. Resultados – Absorção por Capilaridade

Observa-se que a argamassa do Tipo 6 apresentou a menor taxa de absorção capilar. Além disso, é importante ressaltar o valor reduzido da taxa de absorção, equivalente a 0,07 g/cm².

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do estudo em questão foi avaliar e comparar o desempenho mecânico e a durabilidade de algumas argamassas utilizadas em sistemas de reparo para estruturas subterrâneas de concreto.

Dos resultados obtidos através dos ensaios de resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão é possível concluir que tais materiais apresentam características mecânicas compatíveis com as solicitações em serviço. A argamassa do Tipo 4 (grau não retrátil) apresentou o melhor desempenho mecânico para os dois ensaios realizados.

Em relação à durabilidade, os resultados do ensaio de absorvidade indicaram a argamassa do Tipo 7 (argamassa de alta resistência inicial e final) como a de maior resistência capilar e a argamassa do Tipo 6 (argamassa polimérica) apresentou a menor taxa de absorção. Tal discordância pode estar associada à diferença na relação água/cimento dessas misturas.

O menor coeficiente de absorção foi obtido pela argamassa do Tipo 6 através dos ensaios de absorção por imersão e absorção por capilaridade.

VII. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os envolvidos na parceria deste projeto: ELETROPAULO, ANEEL e LACTEC.

Ao Prof. Chamecki pelo apoio e incentivo demonstrado durante a execução desse estudo.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT – *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo de mistura e determinação da consistência*. NBR 13276, 1997.
- [2] ABNT – *Cimento Portland – determinação da resistência à compressão*. NBR 7215, 1996.
- [3] ABNT – *Cimento Portland - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica*. NBR 9778, 1987.
- [4] ABNT – *Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade*. NBR 9779, 1995.
- [5] ABNT – *Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão, em corpos-de-prova prismáticos. Métodos de ensaio*. NBR 12142, 1992.
- [6] ABNT – *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão*. NBR 13279, 1995.

- [7] ANDRADE, R. D. *Corrosão em Condutos de Descarga Livre para Esgotos*. In: Colóquio sobre Durabilidade do Concreto. Anais. IBRACON/IPT. São Paulo, 1972.
- [8] ANDRADE, J., DAL MOLIN D. *Influencia da Agressividade Ambiental nas Patologias em Estruturas de Concreto Armado nas Cidades de Porto Alegre (RS) e Recife (PE)*. Durabilidade das Construções. São Leopoldo – RS. Anais. ANTAC, 1997a. p. 127 – 133.
- [9] CABRAL, A. E. B. Avaliação da eficiência de sistemas de reparo no combate à iniciação e à propagação da corrosão do aço induzida por cloretos. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, 2000.
- [10] CINCOTTO, M.A. *Ação do Meio Sobre o Concreto*. Durabilidade das Construções. São Leopoldo – RS. Anais. ANTAC, 1997. p. 73 – 83.
- [11] KELHAM, S. A water absorption test for concrete. Magazine of Concrete Research, v. 40, n. 143, p. 106-110, June 1988.
- [12] KORMANN, A. C. M. Estudo do desempenho de quatro tipos de materiais para reparo a serem utilizados em superfícies erodidas de concreto de barragens. Dissertação de mestrado. Curitiba, 2002. 213 p.
- [13] MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H. *Estudo sobre a técnica executiva de revestimento de argamassa em paredes de alvenaria*. In: 5 INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, Florianópolis –SC. Anais ANTAC, 1994. p. 594-607.
- [14] MEDEIROS, B.L.; PEDROZO, P.H; MARINO, M.A.; DERKEN,R. *Avaliação de Manifestações Patológicas em Concreto Pré moldado de Câmaras e Caixas de Passagem de Energia Elétrica*. 46º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Florianópolis – SC. 2004.
- [15] MEHTA, P.; MONTEIRO, P. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. 1ª Ed. PINI, 1994. 580p.
- [16] PALERMO, G. *Concreto Projetado como Revestimento de Túneis*. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1997.
- [17] SAND, W. et al. *Simulation of Concrete Corrosion in a Strictly Controlled H₂S – Breeding Chamber*. In: Progress in Biohydrometallurgy. Proceedings. Cagliari, 1983.
- [18] SHIRAKAWA, M. *Estudo da Biodeterioração do Concreto por *Tiobacillus**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, 1994.