



**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES TIPOS DE
REVESTIMENTOS DE PROTEÇÃO EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO FRENTE AO ATAQUE DE ÁCIDO SULFÚRICO**

SÃO PAULO
2012



CARLA CASTRO DE PAULA
DENISE KATSUE KOGA
JULIANO MORETTI DE SOUZA

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES TIPOS DE
REVESTIMENTOS DE PROTEÇÃO EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO FRENTE AO ATAQUE DE ÁCIDO SULFÚRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Patologia das Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

SÃO PAULO
2012

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro civil prof. Luís César de Luca pela valiosa colaboração no levantamento de campo deste trabalho.

Agradecemos a nossos familiares pela paciência nos momentos finais da elaboração do nosso trabalho e na ausência dos momentos em família.

E também a empresa MC-Bauchemie por nos patrocinar nos ensaios realizados, bem como ceder a sua equipe de profissionais que em muito contribuiu para o desenvolvimento desse trabalho.

As amigas Bruna e Grazielle pela contribuição na elaboração deste trabalho.

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES TIPOS DE REVESTIMENTOS DE PROTEÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO FRENTE AO ATAQUE DE ÁCIDO SULFÚRICO

Por

CARLA CASTRO DE PAULA

DENISE KATSUE KOGA

JULIANO MORETTI DE SOUZA

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

São Paulo (SP) 08 de Dezembro de 2012.

Luis César Siqueira De Luca, M.Sc.

Emílio Minoru Takagi, M.Sc.

Ricardo dos Santos Arnaldo de Alencar, M.Sc.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o melhor desempenho de três tipos de proteções aplicado ao concreto para a variação de três tipos de concentrações de ácido sulfúrico: 5%, 20% e 50%. A metodologia utilizada para a realização do trabalho foi o programa experimental que consistiu na moldagem de corpos de prova, aplicação dos sistemas de proteção (epóxi, poliuretano e cimentício) e a imersão dos mesmos em ácido sulfúrico de acordo com as concentrações acima citadas.

Para a avaliação do sistema de proteção utilizou-se o ensaio de resistência à compressão, para a verificação do ataque das peças frente ao ácido sulfúrico.

Observou-se ao longo do desenvolvimento do trabalho que os materiais que possuem matriz fechada apresentaram melhor desempenho do que materiais que possuem matriz aberta e base água.

O desenvolvimento do tema fez-se necessário para que fosse possível verificar qual a melhor indicação para estruturas sujeitas a ataque de ácido sulfúrico biogênico em obra hidráulicas, especialmente as RAFA's.

Palavras chave: ácido sulfúrico, epóxi, poliuretano, cimentício, resistência à compressão, obras hidráulicas.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the best performance of three types of protections applied to concrete to the variation of three types of sulfuric acid concentrations: 5%, 20% and 50%. The methodology used to perform the work was experimental program consisted of casting specimens, application protection systems (epoxy, polyurethane and cementitious) and dip them into sulfuric acid according to the concentrations mentioned above.

For the evaluation of the protection system used the test of resistance to compression, for checking against the attack of parts sulfuric acid.

It was observed during the development of the work that the base material of epoxy and polyurethane showed better performance than cementitious materials.

The development of the subject was necessary so we could see what the best indication for structures subjected to biogenic sulfuric acid attack in hydraulic works, especially the RAFA's.

Key words: sulfuric acid, epoxy, polyurethane, cementitious, compression resistance, hydraulic constructions, UASBs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Etapas de intervenção de acordo com a Lei de Sitter	40
Figura 2.2. Esquema de diversidade de porosidade e permeabilidade dos materiais.....	46
Figura 2.3 - Esquema de ataque ácido dentro de reatores	51
Figura 2.4. Aspecto de ataque por ácido sulfúrico hexavalogênico	54
Figura 2.5. Aspecto de concreto deteriorado por ataque de sulfetos.....	54
Figura 2.6. Ação osmótica em revestimentos com $SD > 50$ e $SD < 5$	55
Figura 3.1. Revestimento polimérico flexível aplicados nos corpos-de-prova	61
Figura 3.2. Revestimento mineral de alta resistência química aplicados nos corpos-de-prova	61
Figura 3.3. Resina epóxi base água aplicados nos corpos-de-prova	62
Figura 3.4. Resina epóxi bi-componente aplicados nos corpos-de-prova.....	62
Figura 3.5. Resina base poliuretano aplicados nos corpos-de-prova	63
Figura 3.6. Tanques devidamente identificados, para localização dos respectivos produtos	64
Figura 3.7. Corpos-de-prova dispostos nos tanques antes da solução	64
Figura 3.8. Constatações de reações logo após a adição da solução a 50%.....	65
Figura 3.9.1 Corpos de prova imersos em ácido sulfúrico a 14 dias concentração de 5%	67
Figura 3.9.2 Corpos de prova imersos em ácido sulfúrico a 14 dias concentração de 20%	67
Figura 3.9.3 Corpos de prova imersos em ácido sulfúrico a 14 dias concentração de 50%	67
Figura 3.10. Corpos de prova imersos em ácido sulfúrico a 29 dias.....	67
Figura 3.11. (a) - Revestimento polimérico flexível após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%	68

Figura 3.12. (a) - Revestimento polimérico flexível após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%	69
Figura 3.13. (a) - Revestimento polimérico flexível após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%	70
Figura 3.14. Revestimento polimérico flexível, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico.	70
Figura 3.15. Revestimento polimérico flexível, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico.	71
Figura 3.16. (a) Equipamento utilizado para desbaste do topo do cp; (b) Prensa utilizada para ruptura dos Cps	71
Figura 3.17. (a) - Revestimento polimérico flexível após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%	72
Figura 3.18. Revestimento mineral de alta resistência química depositado no fundo do tanque após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico com concentração de 5%	73
Figura 3.19. (a) - Revestimento mineral de alta resistência química após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%.....	73
Figura 3.20. (a) - Revestimento mineral de alta resistência química após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%.....	74
Figura 3.21. Revestimento mineral de alta resistência química, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico.....	75
Figura 3.22 . Revestimento mineral de alta resistência química, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico.....	75
Figura 3.23. Equipamento utilizado para desbaste do topo do cp (a); Prensa utilizada para ruptura dos CP's (b).....	76

Figura 3.24. (a) - Resina epóxi base água após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%.....	76
Figura 3.25. (a) - Resina epóxi base água após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%.....	77
Figura 3.26. (a) - Resina epóxi base água após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%.....	78
Figura 3.27. Resina epóxi base água, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico	78
Figura 3.28. Resina epóxi base água da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico	79
Figura 3.29. Equipamento utilizado para desbaste do topo do cp (a); Prensa utilizada para ruptura dos CP's (b).....	79
Figura 3.30. (a) - Resina epóxi bi-componente após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%.....	80
Figura 3.31. (a) - Resina epóxi bi-componente após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%.....	81
Figura 3.32. (a) - Resina epóxi bi-componente após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%.....	81
Figura 3.33. Resina epóxi bi-componente, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico.	82
Figura 3.34. Resina epóxi bi-componente, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico.	82
Figura 3.35. Equipamento utilizado para desbaste do topo do cp (a); Prensa utilizada para ruptura dos Cps (b).....	83
Figura 3.36. (a) - Resina base poliuretano após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%.....	84

Figura 3.37. (a) - Resina base poliuretano após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%.....	84
Figura 3.38. (a) - Resina base poliuretano após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%.....	85
Figura 3.39. Resina base poliuretano, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico	85
Figura 3.40. Resina base poliuretano, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 28 dias em imersão em ácido sulfúrico	86
Figura 3.41. Equipamento utilizado para desbaste do topo do cp (a); Prensa utilizada para ruptura dos Cps (b).....	86
Figura 3.42. (a) - CP de Referência após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%	87
Figura 3.43. (a) - CP de Referência após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%	88
Figura 3.44. (a) - CP de Referência após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%	88
Figura 3.45. CP's de Referência , da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico ..	89
Figura 3.46. CP`s de Referência , da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico ..	89
Figura 3.47. Equipamento utilizado para desbaste do topo do CP (a); Prensa utilizada para ruptura dos CP's (b).....	90
Figura 4.1. As arestas dos CP's apresentam áreas vulneráveis.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Composição química de esgoto doméstico.....	49
Tabela 2.2. Produtos de tratamento de efluentes domésticos.....	52
Tabela 3.1. Traço utilizados em estruturas de esgoto.....	58
Tabela 3.2. Traço utilizado no laboratório para moldagem dos Cps.....	58
Tabela 4.1. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova de referência.....	91
Tabela 4.2. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento polimérico flexível	92
Tabela 4.3. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento mineral de alta resistência química.	93
Tabela 4.4. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento Resina epóxi base água	95
Tabela 4.5. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento de Resina epóxi bi-componente.	96
Tabela 4.6. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento Resina base poliuretano.	97
Tabela 4.7. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova.....	99

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Variação da resitência a compressão dos corpos-de-prova revestidos com revestimento polimérico flexível, após imersão em solução de ácido sulfúrico	93
Gráfico 4.2. Variação da resitência à compressão dos corpos-de-prova revestidos com revestimento mineral de alta resistência química, após imersão em solução de ácido sulfúrico.	94
Gráfico 4.3. Variação da resitência a compressão dos corpos-de-prova revestidos com Resina epóxi base água, após imersão em solução de ácido sulfúrico	95
Gráfico 4.4. Variação da resitência à compressão dos corpos-de-prova revestidos com Resina epóxi bi-componente, após imersão em solução de ácido sulfúrico.	97
Gráfico 4.5. Variação da resitência à compressão dos corpos-de-prova revestidos com Resina base poliuretano, após imersão em solução de ácido sulfúrico.	98
Gráfico 4.6. Variação da resitência à compressão dos corpos-de-prova.....	99
Gráfico 4.7. Variação da resitência à compressão dos corpos-de-prova na solução à 5%	100
Gráfico 4.8. Variação da resitência à compressão dos corpos-de-prova na solução à 20%	101
Gráfico 4.9. Variação da resitência à compressão dos corpos-de-prova na solução à 20%	103

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
FOLHA DE APROVAÇÃO	6
RESUMO	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS.....	13
LISTA DE GRÁFICOS	134
SUMÁRIO.....	15
1. INTRODUÇÃO	18
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	19
1.2. OBJETIVOS.....	20
1.2.1. Objetivo Geral	20
1.2.2. Objetivos Específicos	20
1.3. JUSTIFICATIVAS	21
1.3.1. Tecnológicas.....	22
1.3.2. Econômicas	22
1.3.3. Sociais	23
1.3.4. Ecológicas	23
1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	24
1.5. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	25
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1. CONCRETO	26
2.2. HISTÓRICO.....	29
2.3. ATAQUE DE ÁCIDO SULFÚRICO AOS COMPOSTOS HIDRATADOS DO CIMENTO	32
2.4. DURABILIDADE EM ESTRUTURA DE CONCRETO	37
2.4.1. Definição de vida útil	38
2.4.2. Fissuras em Estruturas de Concreto	40

2.4.3. Mecanismos de transporte de fluido no concreto.....	41
2.5. CONTROLE DE FISSURAÇÃO	42
2.6. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO	44
2.6.1. Porosidade	44
2.6.2. Permeabilidade	46
2.6.3. Absorção Capilar.....	47
2.7. BOAS PRÁTICAS CONSTRUTIVAS	47
2.8. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS EM CONTATO COM ESGOTO	48
2.8.1. Agressividade Ambiental	48
2.9. MECANISMOS DE OCORRÊNCIA.....	52
2.10. PROTEÇÃO PARA ESTRUTURAS EM CONTATO COM ESGOTO	55
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	57
3.1. TRAÇO DO CONCRETO	57
3.2. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	59
3.3. REVESTIMENTOS UTILIZADOS PARA A AVALIAÇÃO QUANTO A AÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO.....	60
3.4. REVESTIMENTO POLIMÉRICO FLEXÍVEL	68
3.5. REVESTIMENTO MINERAL	72
3.6. RESINA EPÓXI BASE ÁGUA.....	76
3.7. RESINA EPÓXI BI-COMPONENTE.....	80
3.8. RESINA BASE POLIURETANO	83
3.9. CORPOS DE PROVA DE REFERÊNCIA	87
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	91
4.1. REVESTIMENTO POLIMÉRICO FLEXÍVEL	92
4.2. REVESTIMENTO MINERAL	93
4.3. RESINA EPÓXI BASE ÁGUA.....	94
4.4. RESINA EPÓXI BI-COMPONENTE.....	96
4.5. RESINA BASE POLIURETANO	97

4.6. RESUMO GERAL DOS PRODUTOS.....	98
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	105
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	107
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho possui como temática principal o estudo comparativo de revestimentos de proteção em estruturas que sofrem ataque por ácido sulfúrico em estruturas de concreto destinadas a utilização de obras hidráulicas que tem por finalidade o tratamento de esgoto e resíduos agressivos.

O concreto ainda é considerado um material durável, porém para manter essa característica este deve passar por um processo de manutenção preventiva e corretiva constante. Os sistemas de proteção devem estar relacionados com o uso da estrutura, ou seja, devem ser planejados já na sua fase de concepção. Caso isso não ocorra, em alguns casos a manutenção corretiva pode ficar muito onerosa ou, ainda, o processo de degradação pode ser maximizado e, como consequência, provocar considerável redução da vida útil da estrutura, podendo culminar, inclusive, em risco a sua estabilidade. Dependendo do porte da estrutura de concreto envolvida, é necessário investir em todos os seguimentos, principalmente nos itens que afetarão sua durabilidade e confiabilidade. Um dos pontos mais importantes são os estudos comparativos de determinados tipos de revestimento de proteção frente ao ataque de substâncias específicas. O presente trabalho abordará, especificamente, o ataque de ácido sulfúrico.

Outro problema encontrado em estruturas de concreto são os mecanismos de penetração de agentes agressivos em sua estrutura. Quanto mais eficiente for o mecanismo de penetração maior será a agressividade imposta à estrutura. Essa agressão pode ocorrer através de concretos porosos, com alto índice de fissuração, permeabilidade, absorção capilar entre outros.

As estações de tratamento de esgoto, especialmente as UASB's (*upflowanaerobicssludgetblanket*), são o exemplo mais ilustrativo do ataque de sulfetos, tendo em vista, que grande parte destas é executada em concreto armado e permanecem em constante contato com águas consideravelmente sulfurosas. Desnecessário citar a importância de tais estruturas para a saúde pública, motivo pelo qual é imperativo zelar pela sua longevidade e garantia operacional, daí a importância da constante evolução dos sistemas de proteção a sulfatos.

É verdade, contudo, que inúmeras estruturas de águas servidas não foram construídas segundo a filosofia preventiva, acarretando em elementos altamente afetados pela ação dos sulfatos. Por esta razão, metodologias de intervenção corretiva e técnicas de reparos e reconstituição superficial do concreto ainda são muito almejadas pelas empresas de saneamento, tendo em vista não apenas o aspecto da onerosidade, mas a impossibilidade virtual de paralisação dos serviços para a renovação de seus ativos. No presente trabalho, procuraram-se analisar o desempenho de vários tratamentos de proteção, disponíveis no mercado, buscando avaliar o desempenho de cada um perante o ataque de ácido sulfúrico em diferentes concentrações.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Qual entre as proteções, epóxi, poliuretano e cimentício, possuem melhor desempenho quando imersos em solução de 5%, 20% e 50% de ácido sulfúrico (H_2SO_4)?

Ressalte-se que as diferentes concentrações objetivam simular o desgaste da proteção por um período longo de exposição, uma vez que em situação normal estas concentrações não seriam encontradas.

1.2. OBJETIVOS

Neste item será apresentado os objetivos gerais e específicos da pesquisa desenvolvida sobre o estudo comparativo de revestimentos de proteção em estruturas que sofrem ataque por ácido sulfúrico em estruturas de concreto destinadas a utilização de obras hidráulicas que tem por finalidade o tratamento de esgoto e resíduos agressivos.

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar o desempenho das proteções (epóxi, poliuretano e cimentício) aplicado em corpos de prova medindo a variação da resistência a compressão quando submetidos à ação de ácido sulfúrico (H_2SO_4) nas concentrações de 5%, 20% e 50%.

1.2.2. Objetivos Específicos

Após a aplicação dos revestimentos (epóxi, poliuretano e cimentício) e o período de cura dos mesmos e a imersão dos mesmos em ácido sulfúrico (H_2SO_4) nas concentrações de 5%, 20% e 50%, serão medidos os seguintes itens:

- Medir a resistência à compressão dos corpos de prova com as respectivas proteções após a imersão em ácido sulfúrico (H_2SO_4) nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 e 28 dias;
- Identificar qual dos produtos testados apresenta melhor desempenho através do parâmetro resistência a compressão.

1.3. JUSTIFICATIVAS

Estruturas de concreto direcionadas à condução e tratamento de águas servidas sofrem ataque dos efluentes altamente agressivos, principalmente pela presença de ácido sulfúrico que se forma no interior destas estruturas. Isso foi agravado pelo fato dessas estruturas muitas vezes não dispor de um sistema protetivo adequado.

Durante muitos anos pensava-se que o concreto era um elemento impermeável e por esse motivo não se previa nenhum tipo de proteção para as estruturas, no entanto, com o passar dos anos as estruturas passaram a apresentar manifestações patológicas devido as mais diversas agressividades.

Nosso estudo visa avaliar o ataque de ácido sulfúrico em estruturas hidráulicas que sofrem tal ataque em função do tratamento de esgoto.

A motivação do estudo foi à busca de melhores soluções para as estruturas de esgoto da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), grande vítima do fenômeno da deterioração das suas estruturas pela ação destes compostos. A SABESP que hoje abastece 364 dos 645 municípios de São Paulo fornece água no atacado para seis municípios permissionários e trata esgoto de cinco deles, atendendo direta ou indiretamente, mais de 26 milhões de cidadãos – 67 % da população urbana do Estado de São Paulo.

A SABESP é a maior empresa de Saneamento Básico da América Latina e a quinta maior do mundo em número de clientes, de acordo com a 11ª edição do anuário *PinsentMasonsWaterYearbook*.

As estruturas da SABESP apresentam em média 20 anos de operação e algumas delas já com alto grau de comprometimento devido à agressividade sofrida ao longo dos anos. Portanto, a definição e a inovação de melhores práticas no tratamento das estruturas de esgoto ainda sem a devida proteção, bem como a quebra do paradigma da onipotência do concreto armado, impondo

sistemas de proteção já em sua fase de concepção. A seguir serão apresentadas justificativas tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas para a elaboração da pesquisa.

1.3.1. Tecnológicas

O contato das estruturas das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE'S) com agentes agressivos, no caso, o ácido sulfúrico (H_2SO_4) é inevitável, visto a natureza do efluente a ser tratado, portanto é fundamental a constante análise e pesquisa de produtos que reduzam ou até mesmo neutralizem tais ataques.

O trabalho visa avaliar e propor uma metodologia de tratamento das estruturas mais eficientes direcionadas não apenas às estruturas novas, mas as que já se encontram sob o ataque dos efluentes de esgoto de maneira a aperfeiçoar sua vida útil com o aumento de sua durabilidade.

Este estudo comparativo visa à avaliação sistemática de alguns produtos disponíveis no mercado, definindo seus pontos fortes e fracos de maneira a impulsionar o desenvolvimento tecnológico desses materiais.

1.3.2. Econômicas

As estruturas que sofrem a agressão de agentes contaminantes acabam por apresentar diminuição de sua vida útil, e, quando é o caso, custos altos para a sua recuperação. Contudo, um sistema de proteção eficiente pode aumentar a durabilidade da estrutura e o intervalo da manutenção periódica, tornando planos de manutenção economicamente viáveis.

Nestes termos diminuem-se as paralisações periódicas para a manutenção, beneficiando diretamente a população e também diminuindo os

custos da empresa responsável. Muitas vezes também são necessários procedimentos complicados e dispendiosos para esvaziamento, desinfecção e *bypass* da rede, para efetuar tais manutenções, além de multas que podem receber de órgãos ambientais e prefeituras, no caso de concessões. (FERNANDES, 2009).

1.3.3. Sociais

Tanto os Interceptores de esgotos quanto as estruturas das estações de tratamento de esgoto tem um papel fundamental para a qualidade de vida da sociedade. Os Interceptores afastam estes efluentes indesejados e nocivos à saúde, conduzindo-os até as estações de tratamento (ETE's). Assim, fica evidente que tal processo de afastamento e tratamento não pode sofrer interrupções constantes e exige intervenções rápidas e eficientes que minimizem ao máximo o tempo de paralisação do sistema.

No caso das empresas públicas, a durabilidade é sinônima de economia aos cofres públicos o que se reflete em novos investimentos para a sociedade.

1.3.4. Ecológicas

Sob a perspectiva ecológica é fácil identificar os pontos em que este trabalho será relevante. Primeiramente, porque processos de intervenção corretiva costumam envolver paradas que acabam por direcionar as águas servidas aos recursos hídricos do entorno sem qualquer pré-tratamento afetando sobremaneira o meio ambiente atingido.

Não menos importante é a própria obra de recuperação, tendo em vista que a construção civil é uma das maiores geradoras de resíduos da sociedade. Uma obra executada por falta de funcionalidade nos sistemas de proteção refletirá inegavelmente na geração de grande quantidade de resíduos para o meio ambiente.

Com relação à estanqueidade, vale ressaltar que uma estrutura que envolve a contenção de águas servidas não deve permitir, de maneira nenhuma, a infiltração de seu conteúdo para o solo e ao lençol freático, sob a pena de sua contaminação. Contudo, a deterioração lenta e gradual da estrutura pode acarretar em perdas de estanqueidade de difícil detecção (porosidade excessiva ou micro fissuras) uma vez que os fluidos contaminados acabam migrando de maneira discreta e contínua por através do entorno da estrutura, aumentando o seu potencial de contaminação.

1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho se propõe a submeter corpos de prova executados com traços de concreto utilizado pela SABESP na construção de estruturas em contato com esgoto, simulando em laboratório o longo tempo de exposição à agressividade através da imersão dos corpos de prova em concentrações elevadas e não típicas.

Com este objetivo foram moldados corpos de prova respeitando dimensões e procedimentos normativos. Foi utilizada, como referência, uma amostra padrão sem nenhum tipo de proteção. Outros cinco tipos diferentes de revestimento de bases distintas foram testados. As aplicações dos produtos de proteção foram feitos de acordo com a especificação do fabricante.

1.5. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Neste item será apresentado de forma resumida o conteúdo de cada capítulo, deste trabalho:

Este **capítulo** apresentou o problema de pesquisa e os objetivos, abordando as questões preliminares do trabalho e as motivações para a realização deste assunto.

O **Capítulo seguinte** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre a agressividade do concreto e a ação de ataque de ácido sulfúrico e suas consequências.

O **Capítulo 3** apresenta o programa experimental realizado, a moldagem dos corpos de prova, aplicação dos produtos escolhidos, imersão das peças em ácido sulfúrico em três concentrações diferentes, verificação da perda da eficiência dos revestimentos com ensaio de resistência à compressão.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados deste estudo de acordo com o programa experimental.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o ataque de ácido sulfúrico em estrutura de concreto, bem como o histórico das estruturas de concreto e as diversas agressões que o este pode sofrer e suas respectivas manifestações patológicas.

2.1. CONCRETO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, por ser um produto de modelagem fácil resistente e muito barato. A utilização e/ou consumo do concreto só perde para a utilização e/ou consumo da água.

Trata-se de um material bastante resistente, porém, não é 100% impermeável e nem resistente a ambientes agressivos. Dependendo da condição que a estrutura for exposta, é necessário prever um revestimento adequado, para que exista uma durabilidade da mesma e o aumento da vida útil.

O concreto armado de cimento Portland é amplamente utilizado em obras hidráulicas e de saneamento por três principais razões: facilidade de moldagem das mais variadas formas; baixo custo e rápida disponibilidade de material em qualquer lugar do mundo (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

No quesito moldagem, esta se obtém pela característica de consistência plástica do concreto fresco que favorece o fluxo do material para o interior das formas pré-fabricadas. O baixo custo do concreto, em torno de US\$ 75 a US\$100 por metro cúbico, dependendo do custo de transporte e sua fácil disponibilidade de materiais, agregados e cimento portland (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O concreto possui algumas desvantagens como: elevado peso próprio, que podem ser compensados pela diminuição do diâmetro do agregado ou

aumento da resistência da peça diminuindo a sua dimensão. Também está suscetível a variações volumétricas e, ainda, calor de hidratação gerado por peças volumosas. Todas as características que podem ser combatidas com projetos adequados e boas práticas executivas. Todas estas características tornam o concreto armado o principal material adotado para a construção de estruturas no mundo (ISAIA, 2011).

Devido à evolução tecnológica as formas de aplicação do concreto vão além da tradicional conformação por forma e vibração, com a utilização de concretos auto adensáveis, concreto compactado a rolo, bombeáveis, projetados entre outras. (BEAUPRÉ, 1994 apud ROMANO, 2011 etall).

Na fase fluída pode ser descrito como tendo duas fases, umas de material grosseiro (agregados graúdos e miúdos) e a outra de uma pasta reativa composta de cimento e água para hidratação e trabalhabilidade do concreto. Por vezes aditivos químicos (incorporadores de ar, aceleradores/retardadores de pega, dispersantes, modificadores reológicos da fase líquida entre outros), finos inertes (argilominerais, calcário moído) ou fibras (poliméricas, metálicas) compõem a mistura. Sobretudo a reologia do concreto em estado fresco é regulada pelo teor e tipo de cimento empregado podendo, se corretamente dosado, resultar em uma trabalhabilidade adequada para as situações de emprego (HU & LARRARD, 1995 apud ROMANO, 2011 etall).

A dosagem é uma perspectiva a ser observado segundo (HELENE & TUKITIAN 2011) tendo em vista que a viabilidade comercial e técnica dependem do correto emprego de fundamentos tecnológicos e científicos. A resistência mecânica é o primeiro fator a ser observado levando em conta usualmente à resistência à compressão por ser um parâmetro que correlaciona a outras resistências como a tração e a flexão. Trabalhabilidade é o parâmetro que leva em conta a fatores como densidade de armaduras da peça, o tipo de forma empregado se é bombeamento ou projetado, o tipo de acabamento as condições das intempéries entre outros. Durabilidade frente à agressividade do ambiente

está relacionada à presença de carbonatos, sais, material biológico, ácidos, umidade e influencia no traço no fator a/c , no tipo de aditivo empregado nas adições e outros. A deformação está descrita pelo módulo de elasticidade, deformação inicial, fluência e retração hidráulica que são parâmetro que tem sido empregado pelos projetistas mais esclarecidos. Sustentabilidade é a visão de que se cuidar do meio ambiente reduzindo o consumo de matéria prima para a obtenção de resultados similares ou superiores.

Algumas regras serão sempre aplicadas:

- a) A resistência à compressão é 95% explicada pela resistência da pasta;
- b) A máxima resistência é alcançada pela mistura da pasta simples;
- c) O agregado graúdo fornece para cada traço uma resistência ótima, crescente com a redução do diâmetro;
- d) Concretos com agregados maiores e abatimentos menores são mais econômicos;
- e) A consistência de um concreto fresco depende essencialmente do fator a/c ;
- f) A utilização de graduação de agregado fornece para uma determinada resistência, redução do consumo de cimento;
- g) O rendimento da relação resistência a compressão / consumo de cimento tem um ponto ótimo para cada traço e aumenta ao se elevar a resistência.

Após o endurecimento o concreto é descrito como uma rocha artificial constituída de partículas de agregado englobadas por uma matriz porosa de cimento com uma zona de transição entre as fases. Os estudos sempre buscaram descrever resistências de acordo com a composição da pasta ou o tipo de agregado utilizado, mas acabaram por negligenciar o poder de aderência entre as fases. A microscopia e nanoscopia atuais buscam descrever atualmente os fatores

de durabilidade e resistência de uma peça não somente pela composição da pasta e tipo de agregado, mas pela resistência das ligações que ocorrem nesta fase de transição (PAULON & KIRCHHEIN, 2011).

2.2. HISTÓRICO

O desenvolvimento do concreto como material está intimamente ligado ao conhecimento do Homem em cada período de sua história. Levou mais de vinte séculos até que se chegassem às atuais tecnologias que empregam o aço para combater os esforços de tração. Utilizado pelos gregos e pelos romanos em maior escala para suas obras de edificações e infra estruturas antes mesmo do nascimento de Cristo. Há registro onde se usava calcário calcinado e posteriormente, a mistura de cal, água, areia e pedra fragmentada, tijolos ou telhas em cacos (Isaia 2011). Alguns registros importantes de estruturas em concreto são:

- a) Pirâmides do Egito (2700 a2200 A.C.)
- b) Coliseu de Roma (70-82 D.C.)
- c) Panteão de Roma (110-125 D.C.)

Ao se estudar a história do concreto é necessário olhar à história do cimento, concreto e cal como aglomerantes para argamassas de alvenarias. É observado indícios de que o homem já tinha conhecimento da cal desde a Idade da Pedra. Outros indícios da utilização da cal foram encontrados em escavações de uma antiga residência na Sérvia, Iugoslávia datada de 5600 a.C com o piso feito de cal vermelha, areia e pedregulho. Os egípcios foram práticos na utilização de argamassas como material revestimento, conforme se observa na Pirâmide Quéops em 2700 a.C e na pirâmide de Tutancâmon em 1450 a.C. Pode-

se dizer que a argamassa originada pelos egípcios, uma mistura de gesso calcinado é a origem do cimento.

Koui&Ftikos (1998) apresentam o estudo de uma estrutura de concreto para estocagem de água construída em Kamiros, na ilha de Rodes, na Grécia, por volta de 1000 a.C. Estudo de laboratório revelou a surpreendente qualidade desse concreto que apresenta, até hoje, bom desempenho físico e mecânico, mostrando que há três milênios, os gregos possuíam excelente conhecimento empírico sobre tecnologia do concreto. Após extração de testemunho e reconstituição de traço pode-se observar a presença de seixo rolado, agregado calcário médio e fino, terra vulcânica e cal mesclados em proporções tais que a curva granulométrica quase se sobrepõem a curva ideal de Fuller. “Esse concreto apresenta, hoje, resistência à compressão de 13,5 MPa, semelhante ao empregado em fundações.”

Segundo Isaia (2011) a construção do Panteão, em Roma, obra executada com perícia e domínio tecnológico pelos Romanos, com traços de concreto dosado em diferentes densidades. Foi erigido por Agripa em 27 a.C., destruído pelo fogo e reconstruído novamente ao redor de 120 d.C. Trata-se de uma edificação cilíndrica com parede de 6 metros de espessura, composta por núcleo de concreto pozolânico revestido com tijolos e mármore. A cobertura é constituída por uma abobada de concreto com 43,3 metros de diâmetro, exatamente a metade da sua altura total. Essa construção romana deteve o recorde mundial de vão livre para cúpulas por 1800 anos. Em 1912, perdeu a posição para o pavilhão do Festival de Breslau, Alemanha. Outra edificação mundialmente conhecida foi o Coliseu ou Anfiteatro Flavio, construção elíptica feita por Vespasiano em pequeno período de tempo, demonstrando um belo trabalho do ponto de vista técnico e de gerenciamento. Têm dimensões 188 x 156m e arena de 76 x 44m e altura de 50m. Consumiu 24.000,00m³ de concreto-massa em uma fundação tipo radier com 6 metros de espessura. Outras obras que valem ser citadas são a ponte de Alcântara, executada por Caio Julio Lacer em

106 e utilizada até hoje e a ponte/aqueduto sobre o rio Gard, em Nimes na França.

Estas obras sobreviveram até os dias de hoje, porque os materiais, a qualidade e a tecnologia utilizada na época, foram diferentes e superiores as nossas utilizadas atualmente.

Podem-se destacar algumas datas marcantes para a evolução histórica do concreto armado entre elas a descoberta do cimento por Smeaton e Parker, em 1766. Em 1849 Lambot construiu um pequeno com argamassa e fios de aço de pequeno diâmetro, introduzindo o conceito de concreto armado. Em 1861 Joseph Monier constrói vasos de concreto armado patenteado esta invenção. Os estudos de um advogado chamado Thadeus Hyatt resultam na patente de um sistema construtivo composto de concreto a aço para vigas em 1877. De 1880 até 1910 nomes como Hennebique, Dohring, Rabut e Morsh se destacam na história pelos seus feitos que vão, desde a construção das primeiras lajes, passando pelas primeiras utilizações de protensões até o último que publicou um livro contendo resultados de suas experiências se tornando um dos mais importantes pesquisadores do concreto armado (VAZ 2011).

Segundo Neville (2001), grande parte dos problemas relacionados com a falta de durabilidade das estruturas atuais é devida à mudança das propriedades dos cimentos, que se tornaram mais finos com o objetivo de não só fornecer resistências mais elevadas à baixa idade, como também remover as formas mais precocemente e expor as faces do concreto ao meio ambiente com idades muito jovens. A falta de cura nas faces verticais torna as superfícies mais porosas e mais suscetíveis à penetração de fluidos agressivos.

2.3. ATAQUE DE ÁCIDO SULFÚRICO AOS COMPOSTOS HIDRATADOS DO CIMENTO

Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) de acordo com Célia (2009) trata-se de um ácido mineral forte solúvel em água. Este ácido foi descoberto no século IX por um alquimista de origem árabe.

Este material é altamente utilizado pela indústria, sendo algumas das suas aplicações: fabricação de fertilizantes, processamento de minérios, síntese química, processamento de efluentes químicos e refino de petróleo.

De acordo com pesquisas em 2001 foram produzidas 165 milhões de toneladas só perdendo em quantidade para a água. O ácido sulfúrico (H_2SO_4) possui ainda uma característica peculiar de acordo com a sua concentração, quando o mesmo é diluído, ou seja, concentração abaixo de 90% a solução assume caráter de ácido forte e não apresenta poder desidratante, em concentrações maiores que 90% deixando de ter caráter ácido e acentua o seu poder desidratante.

Segundo Gaier (2005) o gás sulfídrico (H_2S) é originado de ação bacteriológica de rios e represas, sendo mais concentrados nesses locais. O SO_4^- é resultante basicamente de SO_2 , principalmente na presença de amônia NH_3 (gás), forma-se um sal (sulfato de amônio $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$), que é um sólido em suspensão, que pode se depositar pelo impacto nas superfícies das estruturas. Este sal pode dar origem ao ácido sulfúrico (H_2SO_4), atacando as estruturas de concreto. Segundo ASLAM (1987) os componentes sulforosos são os mais maléficos para o concreto, especialmente sobre condições de umidade. Condição essa existente em estruturas hidráulicas, objeto desse estudo.

Também de acordo com Gaier (2005) em ambientes com resíduos industriais existe alta emissão de óxido de enxofre (SO_2 e SO_3), estes podem penetrar no concreto e reagir com a água, formando o ácido sulfúrico. Esse processo ocorre na área interna das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) na área onde não fica submerso o resíduo de tratamento de esgoto. Esse trecho

costuma-se denominar de “área de gás” onde constantemente o ataque a estrutura de concreto é muito maior.

Biczóc (1964) ressalta que muitas vezes ataque químico é utilizado como sinônimo de ataque por sulfatos, dada a grande importância deste processo de corrosão do concreto.

A pasta do cimento Portland tem a característica de realizar troca de cátion com algumas soluções químicas. Pode-se descrever o ataque ácido ocasionando três tipos de reação: formação de sais solúveis de cálcio, formação de sais insolúveis de cálcio e não expansivo e ataque químico por soluções contendo sais de magnésio. Os compostos do cimento somente permanecem estáveis quando imersos em solução saturada de CaOH (hidróxido de cálcio). Com a diminuição do pH os compostos do cimento decompõem-se em precipitados sem propriedades ligantes num mecanismo denominado descalcificação (PRISZKULNIK 2011)

Pinheiro e Silva (2011) descrevem o ciclo do enxofre protagonizado pelas bactérias sulfo-oxidantes e sulfo-redutoras: (i) produção de H_2S (ácido sulfídrico) pelas sulfo-redutoras utilizando matéria orgânica, (ii) produção do H_2SO_4 (ácido sulfúrico) pela oxidação do H_2S pelas bactérias sulfo-oxidantes e (iii) o ataque do ácido sulfúrico reagindo com CaOH (hidróxido de cálcio) da matriz de cimento, produzindo gesso. Em seguida, há reação do gesso com aluminato de cálcio hidratado, formando a etringita, altamente expansiva, que leva a deterioração do concreto.

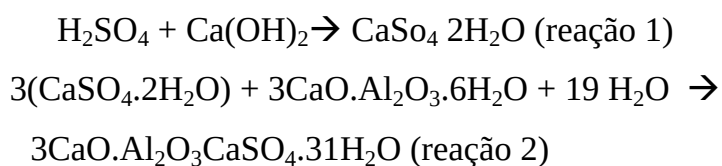
Segundo METHA & MONTEIRO (1994), após o processo de hidratação do cimento Portland os compostos encontram-se em estado de equilíbrio estável, apresentando altos valores de pH (12,5 a 13,5) devido a grandes concentrações de íons de Na^+ , K^+ e OH^- . Qualquer meio com pH menor que 12,5 pode ser considerado agressivo ao concreto pois a redução do pH compromete a estabilidade dos fluídos nos poros. Entretanto, a velocidade do ataque químico ao concreto está relacionada com a superfície exposta e sua

permeabilidade, que possibilita o acesso de elemento agressivo, além do pH e concentração do líquido agressivo.

A deterioração do concreto pelo ataque de ácido sulfúrico resulta de reações químicas entre íons agressivos, sulfatos, e o hidróxido de cálcio do cimento Portland hidratado. Segundo Boletim 182 do CEB (1989) a ação do ácido ao concreto consiste na conversão dos compostos que contêm cálcio (hidróxido de cálcio, silicato de cálcio hidratado e aluminato de cálcio hidratado) a sais de cálcio, sendo que a severidade do ataque ácido é maior quando mais alta for a solubilidade do sal formado.

O ácido sulfúrico (H_2SO_4) reage com o aluminato tricálcio do cimento, formando o sulfo-aluminato de cálcio hidratado. Essa reação se dá com o aumento do volume, o produto da reação é 2,7 vezes maior que os constituintes iniciais criando grandes tensões internas no concreto que podem desagregar o concreto (TEXSA, 2004).

Conforme BASHEER et al (1994) a deterioração do concreto pelo ataque de ácido sulfúrico é consequência da formação do sulfato de cálcio, de acordo com a reação 1. O sulfato de cálcio hidratado pode reagir com a fase aluminato tricálcico (C_3A) hidratada do presente no cimento, formando cristais de sulfo-aluminato de cálcio (etringita), conforme reação 2.



Além de causar desagregação e fissuração, NEVILLE (1997) cita a perda de resistência mecânica decorrente da falta de coesão entre a pasta de cimento e as partículas do agregado.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994) os ácidos minerais com o ácido sulfúrico (H_2SO_4) é um dos mais agressivos ao concreto, pois formam sais de cálcio solúveis que então são lixiviados. Esse processo aumenta a porosidade e a perda de resistência do concreto.

O ácido sulfúrico (H_2SO_4) possui pH em torno de 1,00, sendo um ácido forte e o mais utilizado em indústrias e laboratórios.

Como o nosso objeto de estudo refere-se ao ácido sulfúrico (H_2SO_4) gerado na área de tratamento de esgoto, teremos um ambiente “viciado”, ou seja, local com baixa renovação de ar (oxigênio – O_2), portanto atacando as estruturas de concreto. No caso de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) existe a seguinte situação: o ácido sulfídrico é o produto do esgoto a partir da presença de sulfato (SO_4^-), à medida que o esgoto entra na rede de tratamento o oxigênio diminui, pois a entrada do mesmo é muito menor do que o necessário para a reação e em algum ponto do sistema o mesmo é completamente consumido restando apenas os sulfetos.

Para as Estruturas Hidráulicas da cidade de São Paulo controladas pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) os sulfetos tem origem nos produtos de ação bacteriológica. As bactérias precisam de oxigênio para consumir a matéria orgânica e quando não possuem oxigênio o suficiente para essa reação, certas espécies obtêm o mesmo íon sulfato (SO_4^-) deixando livre o íon sulfeto (S^-). A ação do sulfeto com a água resulta no íon HS^- e gás sulfídrico (H_2S). Esse mesmo gás sulfídrico (H_2S) é absorvido pela parte superior da estrutura de concreto da ETE, passando novamente pelo processo de oxidação por ação de bactérias aeróbicas e transformando em ácido sulfúrico (H_2SO_4). (HELENE, 1986).

Segundo Gaier (2005) o processo de ataque ocorre da seguinte forma: os ácidos dissolvem a capa carbonatada superficial do concreto, dessa forma evita uma posterior carbonatação, esse processo inicial facilita a lixiviação das partes internas do concreto. Após esse processo inicial os ácidos reagem com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) do concreto formando sais solúveis carregados pela água. O efeito final da ação do ácido é o gel de ácido silício e os sais de cálcio e de alumínio dos ácidos agressores. A consequência da agressão dos ácidos a desintegração da pasta de cimento, deixando os agregados expostos. De

acordo com o tipo de ácido a ação será mais ou menos ao menos agressiva, alguns ácidos quando entram no interior da massa de concreto podem formar sais expansivos ou insolúveis causa fissuração e posterior deterioração do concreto. No caso de produtos solúveis, há o aumento da porosidade e a aceleração da perda de massa e deterioração do concreto.

No caso de ácido sulfúrico (H_2SO_4) refere-se a uma reação expansiva e violenta para o concreto de acordo com a resultante do ataque de íons sulfato (SO_4^{--}) com os compostos do cimento hidratado existentes no concreto podem assumir manifestações patológicas distintas, tais como: expansão do concreto, perda de resistência, perda de rigidez e perda de massa. Essas manifestações podem ocorrer de maneira simultânea.

Segundo Gaier (2005) existem 4 reações no concreto de acordo com o ataque de íons sulfato (SO_4^{--}), que são:

- a) Reação de íons sulfato (SO_4^{--}) com o alumínio tricálcio (C_3A) ou com o monosulfoaluminato hidratado de cálcio, gerando entringita;
- b) Reação de íons sulfato (SO_4^{--}) com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) cristalino, formando gesso;
- c) Reação entre soluções de sulfato contendo magnésio como cátion com o silicato hidratado de cálcio (C-S-H), liberando o cálcio por um mecanismo de substituição catiônica, que origina o aparecimento de silicatos hidratados de magnésio de baixa resistência. O cálcio liberado é consumido na geração do gesso;
- d) Formação de taumasita pela disrupção dos sistemas de silicato. Este fenômeno só foi identificado em baixas temperaturas.

Diante disso surgiu a necessidade de estudar a durabilidade de revestimentos visando a proteção de estruturas de concreto que apresentam a necessidade de receber esse tipo de ácido.

O concreto trata-se de um material básico com pH 12,5 e 13,5, logo qualquer meio com pH menor que 12,5 torna-se nocivo para a estrutura, isso

ocorrer porque a alcalinidade do material diminui e acaba por desestabilizar os produtos cimentícios da hidratação, o ataque ocorre através da permeabilidade do concreto, que a capacidade dos íons serem transportados.

2.4. DURABILIDADE EM ESTRUTURA DE CONCRETO

O ACI Committee 201 define a durabilidade do concreto com sendo a sua capacidade de resistir às ações de intempéries, ataque químico, abrasão, ou qualquer outro processo de deterioração. A vida útil de uma estrutura atinge o seu fim quando suas propriedades, sob determinadas condições de uso, tiverem se deteriorado de tal forma que a continuação de sua utilização se torne antieconômica e insegura (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Souza e Ripper (2009) a associação dos conceitos de vida útil e durabilidade é inevitável. Conhecidas ou estimadas as características de deterioração do material concreto e dos sistemas estruturais, entende-se por durabilidade o parâmetro que relaciona a aplicação destas características a uma determinada construção, obtendo-se respostas individualizadas para cada tipo de agressividade ambiental atingindo assim a vida útil esperada.

Em se tratando de conceito de durabilidade, este se torna ainda mais relevante quando se trata de obras de saneamento uma vez que o ambiente é agressivo e cada parada para manutenção envolve processos caros e complicados (SOARES & CAPURUÇO, 2007).

A principal questão a ser considerada por um projetista no que toca a durabilidade é a relação que a água terá em sua massa, tanto para prover a adequada trabalhabilidade quanto a relação que terá com o ligante cimento. Este fator, denominado fato água-cimento, irá reger características como densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração, além da resistência mecânica, que qualificam o material como bom ou ruim (SOUZA & RIPPER, 2009).

Porém a água deve ser analisada não somente ao aspecto de concepção do material, mas pelo outro lado, como um agente destruidor pelo ponto de vista físico, ou como condutor de íons agressivos, sendo fonte de processos de degradação química. Em segundo lugar os fenômenos físico-químicos associados ao transporte de água para o interior da estrutura são controlados pela permeabilidade e em terceiro lugar, a durabilidade é afetada não somente pela presença de íons, mas pela composição química da estrutura de concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

2.4.1. Definição de vida útil

Trata-se de durabilidade de uma estrutura de concreto a capacidade da mesma de resistir à ação do tempo, condições climáticas, abrasão, ataques químicos e demais processos de deterioração. Podemos definir como o fim da vida útil de uma estrutura de concreto, quando a mesma não apresenta condições seguras de utilização e a sua manutenção/ reforço torna-se demasiadamente cara e acaba por não compensar economicamente.

A avaliação da vida útil de uma estrutura passa pelas seguintes etapas: Projetos, definição de materiais, concepção de processos construtivos, utilização e manutenção preventiva da estrutura.

Quando falamos em obras de saneamento, esse conceito será demasiadamente importante, pois estamos trabalhando com estruturas que fundamentalmente desempenham um papel na sociedade que não pode ser parado. No nosso trabalho iremos desenvolver a avaliação de ataque de ácido sulfúrico (H_2SO_4), o mesmo é produzido pela ação do esgoto, produto esse que é produzido constantemente e que não pode ser parado. No caso do colapso de uma estrutura que desempenha o tratamento de esgoto de uma cidade, a intervenção com a sociedade seria traumática, causando dessa forma impacto ambiental com custos expressivos para a descontaminação de toda a área.

Visto isso à importância de construir estruturas de concreto com critérios de segurança e durabilidade e proteção das mesmas para evitar o ataque dos produtos químicos originários do resíduo em questão.

Será de fundamental importância para a durabilidade da estrutura o conhecimento dos resíduos que irão atuar na mesma, bem como a definição da sua utilização. Essas definições devem ser conhecidas pelo projetista e construtores, para que a estrutura possa ser construída dentro de todas as premissas de segurança e durabilidade.

Logo podemos definir como vida útil de uma estrutura o desempenho da mesma para a qual foi projetada, sem intervenção na sua forma original quando exposta a ação do meio ambiente.

Uma das principais questões a ser considerada por um projetista para obras hidráulicas, visando a sua durabilidade é a relação a/c. Fator esse que determinará características como densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração, além da resistência mecânica, que qualificam o material como bom ou ruim.

Antigamente a principal característica considerada em um concreto pelos projetistas era a resistência, entendia-se que indicava a qualidade dos materiais e da pasta endurecida, no entanto com o surgimento de manifestações patológicas nas mais diversas estruturas de concreto surgiram à necessidade de avaliar todas as características e desenvolver projetos abrangendo todas as características para o melhor desempenho das estruturas.

Podemos citar a Lei de Sitter que nos apresenta a importância da intervenção na estrutura de acordo com a sua etapa e o seu impacto financeiro para os usuários.

As etapas de acordo com a Lei de Sitter são as seguintes:

- a) Projeto;
- b) Execução;
- c) Manutenção preventiva (efetuada nos cinco primeiros anos);

- d) Manutenção corretiva (intervenção após a identificação do problema).

De acordo com a Lei de Sitter apresenta uma progressão geométrica de acordo com a intervenção das etapas acima citadas, de acordo com o apresentado na figura 2.1:

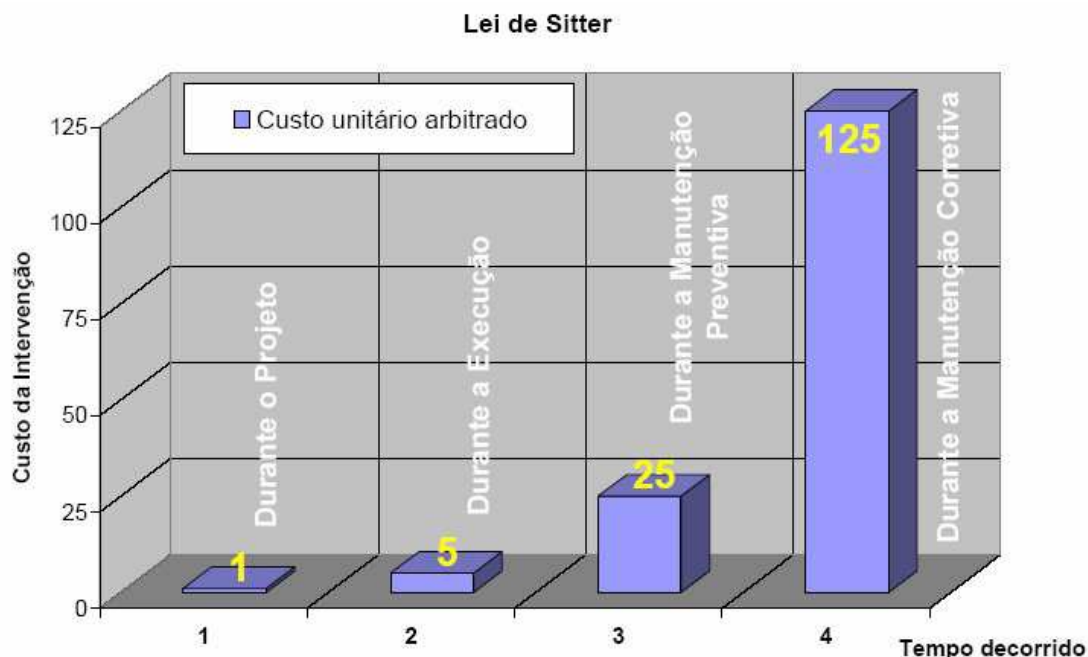


Figura 2.1. Etapas de intervenção de acordo com a Lei de Sitter

Fonte: (<http://www.exemplo.eng.br/css/LEI,SITTER.pdf>)

2.4.2. Fissuras em Estruturas de Concreto

A fissura trata-se de uma manifestação patológica das estruturas de concreto.

A existência de fissuras em uma estrutura de concreto armado compromete a durabilidade e a vida útil da mesma, pois promove a entrada de agentes agressivos na estrutura e dessa forma alterando quimicamente a sua composição e conseqüentemente o seu comportamento, provocando dessa forma a sua degradação.

O surgimento de fissuras em estruturas de concreto pode prejudicar as seguintes características das mesmas: durabilidade, deformação, estética e estanqueidade.

As mesmas permitem a entrada do ácido sulfúrico no concreto e demais elementos contaminantes provocando assim processos de deterioração da estrutura de concreto.

As fissuras em concreto podem ter as seguintes origens:

- a) Assentamento Plástico;
- b) Dessecação Superficial;
- c) Movimentação das Fôrmas;
- d) Retração por secagem;
- e) Movimentação Térmica;
- f) Corrosão de armadura;
- g) Reação expansiva aos sulfatos;
- h) Reação expansiva álcali/agregado;
- i) Sobrecargas;
- j) Detalhes construtivos;
- k) Fundação.

2.4.3. Mecanismos de transporte de fluido no concreto

Quando se trata de manifestações patológicas em estruturas de concreto, devemos saber como ocorre o transporte dos componentes agressivos dentro do concreto. Os agentes agressivos quando penetram na estrutura de concreto penetram na sua estrutura podendo afetar química e/ ou fisicamente a estrutura de concreto.

Os agentes agressivos a estrutura de concreto, penetram em sua composição através da porosidade do mesmo e dessa forma incorporando a sua estrutura e agindo com os componentes do concreto.

Existem alguns componentes que podem afetar a estrutura do concreto, que são muito comuns:

- a) Água pura ou com íons dissolvidos (cloretos ou sulfatos);
- b) Gás Carbônico (CO_2);
- c) Oxigênio (O_2);
- d) Ácido Sulfúrico (H_2SO_4)— objeto desta pesquisa.

Esses elementos contaminantes podem penetrar na estrutura de concreto de acordo com os seguintes mecanismos: diferença de pressão, variação de temperatura, densidade, potencial elétrico e sucção capilar.

Dessa forma podemos concluir que uma das principais características quando estudamos o mecanismo de transporte de fluídos no concreto será verificar a sua permeabilidade e sua porosidade.

Outro item importante de avaliação refere-se à fase aquosa que preenche os poros do concreto. A presença de água durante a penetração de agentes agressivos na estrutura de concreto é importante, pois pode ser o agente de dissolução ou velocidade de penetração na estrutura.

A saturação dos poros influencia na penetração dos agentes agressivos e na potencialidade da agressão.

2.5. CONTROLE DE FISSURAÇÃO

Cabe salientar a importância do controle da fissuração em estruturas de concreto para saneamento visando o quesito durabilidade.

O aparecimento de fissuras é inerente ao material que compõem a estrutura de concreto armado e a utilização de aços de elevada resistência

submete a estrutura a esforços que superam por vezes a resistência de tração do concreto. (HELENE, apud MAIA, 2007)

Fissuras ocorrem por diversos fatores, desde sobre cargas dinâmicas ou estáticas, oxidação de armaduras, movimentações higrotérmicas até a retração hidráulica, entre outros fatores. Será chamada atenção, para o caso de estruturas hidráulicas, ao controle de fissuração por retração hidráulica.

- a) Fatores para surgimento de fissuras no concreto armado;
- b) Excesso de restrições impostas à estrutura;
- c) Falta de taxa adequada de armadura para retração;
- d) Elevado fator água/cimento;
- e) Alto calor de hidratação do cimento;
- f) Falta de juntas de movimentações adequadas à estrutura;

Segundo Laranjeiras (2007) a causa freqüente de vazamentos em reservatórios são as fissuras por retração do concreto e vem cada vez mais se tornando objeto de discussão, pois impactam diretamente na operação e durabilidade da uma estrutura hidráulica, principalmente quando submetidas a ataques ácidos e sulfetos.

O mesmo autor cita que os projetos privilegiam o dimensionamento de armações para resistir ao empuxo em detrimento às armaduras de retração. Ressalta ainda que deva tomar cuidado com os termos “armadura de pele” e “armadura de retração” tendo em vista que são de taxas de armações diferentes e combatem mecanismos distintos na estrutura. Recomendam-se taxas de armadura para retração em torno de 1% da seção de concreto enquanto as armaduras de pele estão em torno 0,10% da seção de concreto.

2.6. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO

Existem alguns fatores que são determinantes para o ataque ao concreto, segundo KULAKOWSKI (1998) são eles: tipo de agente, sua concentração, seu pH, composição química, porosidade, absorção capilar e permeabilidade da pasta.

De acordo com pesquisas de HELOÍSA MOREIRA (2001) a relação a/c é um fator decisivo quanto à ação de agentes agressivos e em relação ao ácido sulfúrico devemos considerar ainda o consumo de cimento por m³.

2.6.1. Porosidade

De acordo com METHA (1994) a porosidade é de grande influência na degradação do concreto, sendo o agente físico de controle de taxa de degradação.

Porém a pasta é mais suscetível ao ataque químico, portanto deve-se considerar a porosidade como agente controlador, pois segundo HELOÍSA MOREIRA (2001) a adição de agregados na pasta amplia de forma considerável a permeabilidade e porosidade do conjunto, pois entre a zona de transição entre o agregado e a pasta há uma redução de cimento nas áreas próximas ao agregado, logo ocorre um aumento na concentração dos poros dessa região.

Verificando ainda as questões ligadas a zona de transição do concreto, alguns pesquisadores como PAULON & MONTEIRO (1991) apresentam que os tamanhos dos cristais nessa região e sua orientação provocam uma maior fragilidade, uma vez que esses cristais são maiores e em maior quantidade que os existentes na pasta de cimento, dessa forma ocasionam uma maior facilidade para a ocorrência de fissuração e dessa forma propicia um caminho para a penetração de agentes agressivos, principalmente se as zonas de transição se encontrar ligados por capilares ou micro fissuras.

Temos também ligado ao tema de zona de transição o pesquisador SATO (1998) definindo que a porosidade próxima aos agregados será diferente das áreas mais distantes, uma vez que a proximidade com o agregado apresenta um consumo menor de cimento, dessa forma se dá um aumento de quantidade de poros nessa região.

A característica da porosidade está ligada diretamente a relação a/c, tipo de cimento e grau de hidratação do concreto. Outra avaliação importante é o diâmetro dos poros, variação dimensional dos sólidos, poros de uma pasta de cimento endurecida e a sua classificação, que de acordo com HELENE (1993) pode ser feita da seguinte forma: macroporos, poros capilares e microporos, sendo que das classificações apresentadas o que mais tem influência sobre a permeabilidade do concreto são os poros capilares que representam 2/3 do volume total dos poros de concreto.

Conforme já apresentado anteriormente a relação a/c é o agente controlador da porosidade do concreto quanto maior a relação a/c maior será a porosidade do concreto. Outra avaliação importante em relação à porosidade é a verificação da conexão dos poros existentes, ou seja, mesmo que exista macro poros no concreto se os mesmos não estão ligados entre si, gerando dessa forma um canal dentro da estrutura, não necessariamente o concreto será atacado, porém poros menores, porém ligados entre si podem provocar o ataque ao concreto por agentes agressivos.

Na figura 2.2 é mostrado o esquema proposto pelo Ministério de Obras Públicas y Transportes- MOPT (1994) com as seguintes representações:

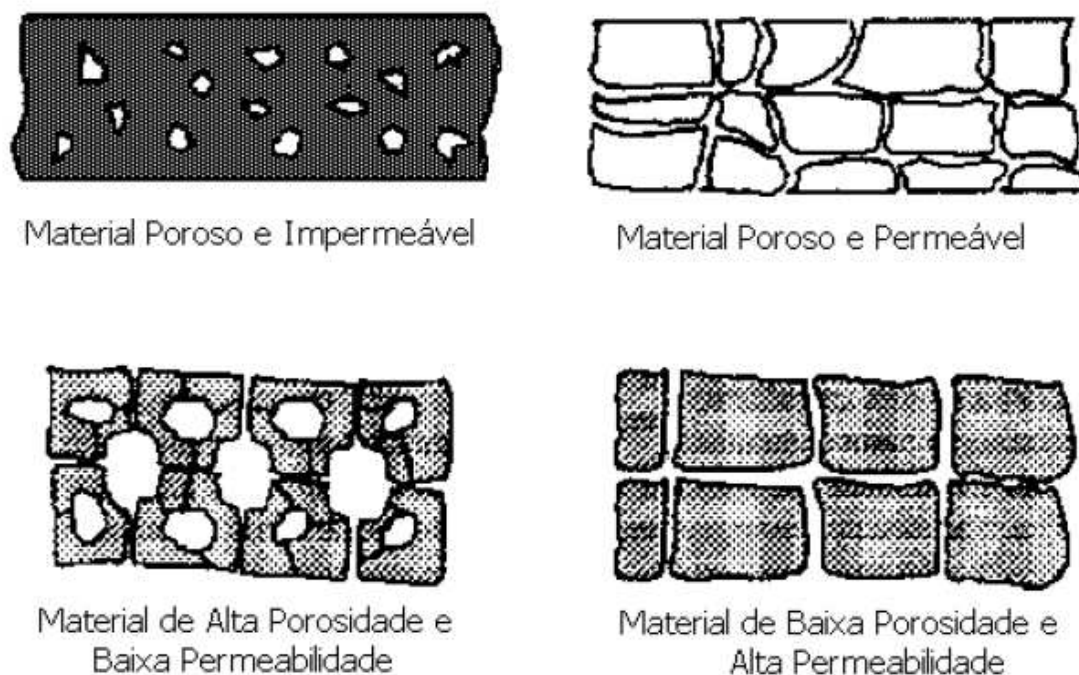


Figura 2.2. Esquema de diversidade de porosidade e permeabilidade dos materiais

Segundo HELOÍSA MOREIRA (2001) a pasta de cimento nas primeiras idades apresenta grande porosidade capilar devido a um volume elevado de poros ligados entre si, porém após o período de hidratação da pasta esses vazios são preenchidos pelo produto gerado pela hidratação do mesmo, dessa forma produzindo um produto mais denso reduzindo o tamanho dos poros e a sua conexão.

Logo definimos que a porosidade está ligada as seguintes características: relação a/c, diâmetro dos poros, distribuição dos poros e suas conexões,

2.6.2. Permeabilidade

De acordo com HELOÍSA MOREIRA (2001) a resistência do concreto ao ataque químico é regida pela permeabilidade da pasta e a mesma é função da porosidade capilar. Dessa forma se temos uma estrutura porosa compacta o ataque se restringirá a superfície enquanto uma pasta porosa permitirá a ação de agentes agressivos em seu interior.

Podemos verificar ainda que durante o processo de exsudação a água pode encontrar obstáculos para sair da pasta de concreto, logo a mesma se manterá na estrutura gerando vazios na região ou áreas de grande porosidade.

Logo, de acordo com HELENE (1986) sugere a utilização da porosidade e não da permeabilidade como parâmetro de durabilidade.

2.6.3. Absorção Capilar

Uma característica importante do concreto é a absorção capilar, segundo HELENE (1993) é uma das propriedades que regem o transporte de íons no interior do concreto.

Em estruturas sujeitas ao processo de secagem e molhagem constante a absorção capilar pode ter grande influência no transporte de água no interior da estrutura.

2.7. BOAS PRÁTICAS CONSTRUTIVAS

É importante observar para o atendimento dos critérios de durabilidade as boas práticas executivas que vão desde o correto armazenamento do cimento, organização adequada do canteiro, controle tecnológico, cura e vibração adequada e correto lançamento.

Segundo Soares e Capuruço (2007) é importante levar em consideração a forma de produção do concreto, tanto visando a qualidade do material quanto a sua facilidade de acesso aos locais de concretagem. Concretos produzidos em concreteiras ou em centrais dentro do canteiro estão em condições mais favoráveis para a obtenção de um bom concreto enquanto o concreto misturado em betoneira ou equipamento estacionário está mais suscetível à variação na qualidade. Para o caso de concreto misturado em obra é importante à

existência de laboratório de controle tecnológico para caracterização de agregados e coleta de corpos de prova para verificações de resistência.

A industrialização é um termo que deve ser aplicado à construção civil, pois visa reduzir custos de produção e reduzir prazos. Buscando a efetivação deste conceito é imperativo que toda obra seja dotada de um atualizado e adequado sistema de qualidade, controle de produtividade de mão de obra e realização de programas de incentivo, tanto para melhoria da capacidade produtiva quanto para evitar o desânimo e a sabotagem (SOUZA E RIPPER, 2009).

O mesmo autor ressalta ainda a baixa qualidade da mão de obra empregada, tanto por parte da administração técnica local, engenheiros, mestres de obras e técnicos de edificação, quanto pela equipe de produção direta.

2.8. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS EM CONTATO COM ESGOTO

Em estruturas de concreto para tratamento de esgoto deve-se ter atenção além dos efeitos de produtos utilizados em conjunto com a digestão anaeróbia, as ações de desgaste e abrasão devido a velocidade do efluente e a alta presença de sólidos e principalmente a geração de gases corrosivos e alta concentração de sulfatos. (TAKAGI et al., 2008).

2.8.1. Agressividade Ambiental

Esgotos domésticos ou domiciliares têm características bem definidas, conforme composição da tabela 2.1, sendo composta de despejos domésticos, uma parcela de água pluvial, água de infiltração e eventualmente uma parcela

não significativa de esgoto industrial. São provenientes de edificações comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas, ou qualquer dispositivo de utilização de água para fins domésticos. Compõem-se essencialmente da água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem. (JORDÃO & PESSOA, 2011).

Sólidos totais	1.100 mg/l	Nitrogênio total	50 mgN/l	Alcalinidade	140 mg CaCO ₃ /l
DBO	350 mg/l	Fósforo	14 mgP/l	Cloretos	35 mg/l
COT	250 mg/l	pH	6,7 - 7,5	Óleos e graxas	110 mg/l

Tabela 2.1. Composição química de esgoto doméstico
FONTE: Takagietall, (2008)

Jordão e Pacheco (2011) descrevem os indicadores mencionados acima da seguinte forma:

Sólidos totais: sólidos totais podem ser definidos como a matéria que permanece como resíduo após a evaporação a 103°C. Este indicativo é importante para determina o quão agressivo pode ser o efluente no sentido de abrasão mecânica contra a estrutura;

DBO: a Demanda Biológica de Oxigênio é um indicador para estimar a quantidade de matéria orgânica existente no esgoto. Está diretamente relacionado a formação da manta de lodo que por sua vez, no ato da biodigestão, libera como subproduto o gás sulfídrico (H₂S) que oxidado se transforma em ácido sulfúrico biogênico (H₂SO₄);

COT: os testes de COT (TOC, “Total OrganicCarbon” na literatura inglesa) são baseados na oxidação do carbono da matéria orgânica para dióxido de carbono e na determinação de CO₂ para absorção em KOH ou por sistema instrumental. Outro indicativo de presença de matéria orgânica.

Takagi (2008) complementa mencionando mais algumas características do efluente:

- a) Fósforo e Nitrogênio Total: são nutrientes essenciais para o desenvolvimento de algas e microrganismos. Sais de amônio (NH_3) são inconvenientes, pois reagem com a alcalinidade de estrutura de concreto;
- b) pH: próximo ao neutro, variando em torno de 7;
- c) Cloretos: presença de cloretos despassiva pontualmente as armaduras;
- d) Alcalinidade: o concreto por ser alcalino tem boa resistência à ação das bases. Entretanto em soluções concentradas básicas nota-se deterioração do concreto.
- e) Óleos e graxas: estão relacionados as impurezas que podem existir nas soluções mas dificilmente tem ação destrutiva sobre o concreto.
- f) Ácido sulfúrico: este trabalho tratará o ataque por ácido sulfúrico como objetivo principal. São originados pela oxidação do ácido sulfídrico H_2S pelas bactérias *Thiobacillusthiooxidans* e *Thiobacillusconcretivorus*.

Essas bactérias são aeróbicas e precisam do oxigênio para o seu metabolismo, portanto nota-se com maior intensidade a presença de pHs próximos a 0 nas zonas de gases das estruturas de concreto com a finalidade de tratamento de esgoto, conforma demonstrado na figura 2.3.

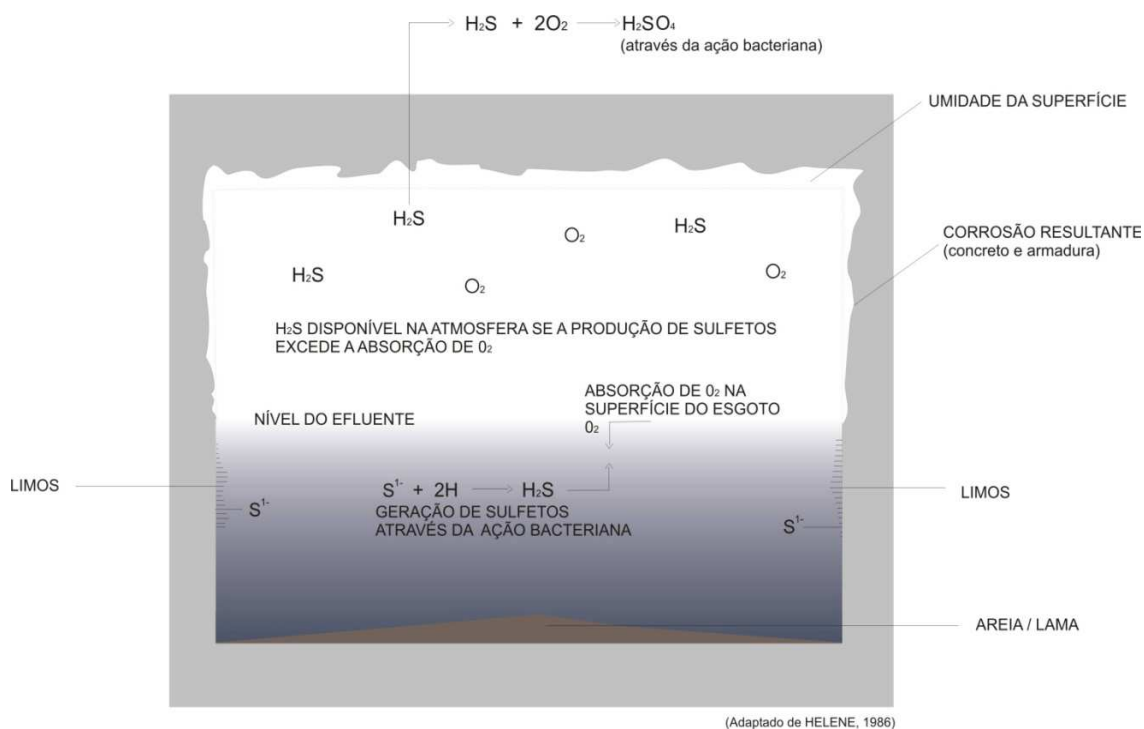


Figura 2.3 - Esquema de ataque ácido dentro de reatores
Fonte: Helene (1986)

Segundo Takagi (2008) a água bruta contém inúmeras impurezas, sendo algumas delas inócuas e outras prejudiciais a saúde humana, como vírus, bactérias e substâncias tóxicas. Por isso torna-se imperativo o tratamento do efluente antes do despejo ao meio ambiente. Na tabela 2.2, seguem alguns produtos utilizados no processo de tratamento.

Coagulantes	sulfato de alumínio, cloreto férrico e policloreto de alumínio
Desinfetantes	cloro gasoso, hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio
Correção de pH	hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio e carbonato de sódio
Fluoretação	fluossilicato de cálcio e ácido fluossilícico
Algicidas	sulfato de cobre e desinfetantes
Sequestrantes para ferro, mangânes e dureza	Ortopolífosfatos

Tabela 2.2. Produtos de tratamento de efluentes domésticos

FONTE: Takagietall, (2008)

2.9. MECANISMOS DE OCORRÊNCIA

Maia (2007) cita alguns mecanismos de degradação do concreto no interior das Estações de Tratamento de Esgoto, dentre eles:

Lixiviação por ataque ácido: geralmente ocorre devido ao ataque ácido oriundo da oxidação do ácido sulfídrico, subproduto da digestão anaeróbia, gerando o ácido sulfúrico biogênico, de baixíssimo PH que age nos compostos hidratados da pasta de cimento, dissolvendo e carreando este material;

Lixiviação por atrito: pela grande quantidade de sólidos totais presentes no esgoto, o atrito gerado pelo fluxo de esgoto contra a estrutura de concreto pode gerar por força mecânica a desagregação de finos que serão carregados.

Expansão por ataque de sulfetos: em presença de água e alta concentração de sulfetos provenientes do enxofre, ocorre a resolubilização da etringita primária que é carregada para os poros do concreto onde reagem novamente com hidróxido de cálcio e formam a etringita secundária que é

altamente expansiva, formando tensões internas que podem por vez ultrapassar a resistência à tração do concreto, rompendo-o e formando fissuras.

Em relação às armaduras:

Despassivação por carbonatação: o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) é um subproduto da reação de hidratação do cimento que tem alta alcalinidade com PH em torno de 13. Esta alcalinidade é saudável para a armadura, pois protege a mesma contra a corrosão formando um filme protetor. Devido a presença de fissuras ou mesmo capilares, com o passar dos anos, o CO_2 avança na chamada frente de carbonatação que é caracterizada pela reação do CO_2 com o hidróxido de cálcio, gerando CaCO_3 , ou carbonato de cálcio, que tem PH menos alcalino, em torno de 10. Se esta reação ocorre próxima a região de interface concreto armadura, a mesma perde a camada protetora e fica sujeita a despassivação. É válido mencionar que a despassivação só ocorre com a presença de oxigênio e umidade, geralmente em torno de 60% a 90% de umidade.

Despassivação por elevador teor de íon Cloro: a penetração de cloretos pode ocorrer por difusão iônica, impregnação, absorção capilar, fissuras e trincas ou até mesmo ser incorporado na massa do concreto com a utilização inadequada de aditivos aceleradores de pega com alto teor de cloretos. O cloreto em determinada concentração em relação a hidroxilas instala processos de despassivação pontuais na armadura, os chamados pytches e costumas ter velocidade de corrosão maior do que a carbonatação.

Nas figuras 2.4 e 2.5 são apresentados alguns exemplos de estruturas de concreto que sofreram ataque de ácido sulfúrico (H_2SO_4).



Figura 2.4. Aspecto de ataque por ácido sulfúrico biogênico
FONTE: Takagi (2008)



Figura 2.5. Aspecto de concreto deteriorado por ataque de sulfetos.
FONTE: Takagi (2008)

Notam-se nas fotos apresentadas acima que os agregados graúdos expostos caracterizando a lixiviação de finos. A figura 2.5, demonstra as fissuras caracterizando ruptura do concreto por tração devido a tensões internas geradas pela etringita secundária ou tardia.

2.10. PROTEÇÃO PARA ESTRUTURAS EM CONTATO COM ESGOTO

Segundo Kazmierczak (2011) a proteção superficial de concreto pode ser realizada pela aplicação de tintas, vernizes e silicones hidrofugantes ou, num sentido mais amplo a de revestimentos de argamassas, componentes cerâmicos ou outros materiais que aumentem a durabilidade da estrutura. A seleção de um sistema deve vir precedida de um questionamento quanto a durabilidade do sistema de proteção a ser adotado frente à agressividade do ambiente à que está submetido.

Existem no mercado diversos materiais para proteção contra os mencionados ataques ácidos. Entre estes materiais podemos mencionar os orgânicos e os não orgânicos. Neste capítulo serão descritos os materiais que serão adotados para realização desta pesquisa.

Importante ressaltar a ação osmótica sobre os revestimentos aplicados. Segundo Takagi 2008 os revestimentos orgânicos são fechados a difusão de vapor enquanto os não orgânicos são abertos. Este conceito pode ser explicado através do teste de steamdiffusion SD, conforme EN 1504-2:2004 que determina valores em metros de coluna de ar que o revestimento permite a passagem. No caso de revestimentos fechados a difusão de vapores, tem-se valores $SD > 50$ e para revestimentos abertos a difusão de vapores valores < 5 , conforme apresentado na Figura 2.6.

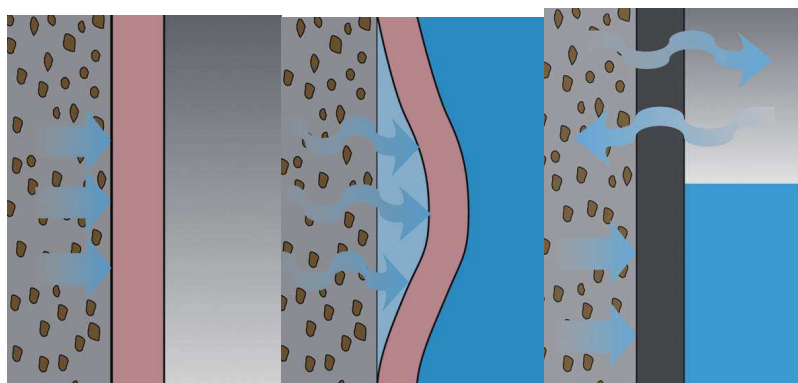


Figura 2.6. Ação osmótica em revestimentos com $SD > 50$ e $SD < 5$

Fonte: Takagi, 2008

Materiais orgânicos serão basicamente as resinas epóxicas, poliuretanas, fenólicas, furânicas e poliéster. Serão destacados os epóxis e poliuretanos para este trabalho:

São revestimentos aplicados em espessuras variáveis sendo da ordem de micrometros para sistemas constituídos de matrizes epóxi/poliuretano e catalisadores e na ordem de milímetros com adição de agregados. Vista de regras éfechado a difusão de vapor e precisam de substratos secos e a utilização de *primers* (pode ser o próprio material com adição de solventes) como ponte aderência. Estas características constituem desvantagens evidentes pela dificuldade de aplicação. Para superar estas características alguns fabricantes já desenvolveram arranjos moleculares destes polímeros que permitem maior passagem de coluna de ar obtendo valores maiores no Sd. Costumam ter boa resistência à abrasão.

Para materiais não orgânicos serão considerados os abertos a difusão de vapor, estes materiais devem ser aplicados com substratos úmidos. São de base cimentícia ou outros minerais e podem ser aplicado como revestimento ou como tratamento da própria massa do concreto.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.

O programa experimental consistiu em moldagem de 60 corpos de prova, divididos em 6 lotes de 9 corpos de prova (CP's), totalizando em 54 CP's para teste dos revestimentos de proteção que foram imersos na solução e posteriormente 6 corpos de prova restantes foram utilizados para a verificação da resistência a compressão normal, sem imersão na solução de ácido sulfúrico.

Em cada lote com 9CP's, aplicou-se um tipo de revestimentos de proteção, sendo dois de base epóxi, um de base poliuretano e dois revestimentos a base de cimento.

Após a aplicação dos revestimentos especificados, cada lote foi dividido em 3 grupos com 3 CP's, para submetê-los em três tipos de concentrações de ácido sulfúrico (5%, 20% e 50%).

Avaliou-se a resistência à compressão aos 14 e 28 dias, sendo 1CP aos 14 e dias de imersão e 2CP's aos 28 dias de imersão.

3.1. TRAÇO DO CONCRETO

Procurou-se utilizar um traço semelhante ao utilizado nas ETE da Sabesp. Conforme tabela 3.1, utilizamos um traço usado por uma obra em andamento da Sabesp, para simular situações próximas da realidade da empresa em questão.

Material	kg/m³
Cimento CPIII 40 – RS	376
areia fina	297
pó de pedra	448
Pedrisco	310
pedra 1	728
Água	188
Fck = 40 Mpa; A/C < ou = 0,50 ;Slump = 90+- 20 mm	

Tabela 3.1.Traço utilizado em estruturas de esgoto

Devido à falta de pó de pedra, o traço original foi ajustado, e o traço utilizado no laboratório para moldagem dos corpos de provas está conforme tabela 3.2, onde se substituiu o pó de pedra por areia fina e acrescentou-se 0,6 % de aditivo plastificante objetivando-se manter a relação água/cimento.

Material	kg/m³
Cimento CPIII 40 – RS	376
areia fina	745
Pedrisco	310
pedra 1	728
Água	188
Aditivo plastificante	0,6%

Tabela 3.2. Traço utilizado no laboratório para moldagem dos Cps

Após a execução dos corpos de prova foram respeitados os períodos de cura e em seguida estes foram revestidos com os materiais objetos desse estudo (epóxi, poliuretano e cimentício).

Os corpos de prova foram revestidos de acordo com as orientações do fabricante e passado o período de cura dos materiais os mesmos foram imersos em tanques com ácido sulfúrico em três concentrações diferentes: 5%, 20% e 50%.

A avaliação do ácido nos corpos de prova foi realizada após 14 dias e 28 dias de imersão nas concentrações apresentadas anteriormente, através da resistência a compressão.

Para uma avaliação mais segura, foram preservados 6 corpos de prova, que não receberam nenhum tipo de revestimento ou ataque de ácido, dessa forma será possível a verificação dos dados avaliados.

3.2. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Foram moldados 60 corpos de prova cilíndricos com 10 x 20 cm, sendo dividido em 5 grupos com 9 corpos de prova para teste de cada revestimento, 1 grupo com 9 corpos de prova sem nenhum revestimento e 6 corpos de prova se manter íntegros para pós avaliação.

Os corpos de prova foram desenvolvidos de acordo com a NBR 5738, estes foram desmoldados após 3 dias e colocados em tanque com água e cal para a cura do concreto por 7 dias.

Após o término do processo da cura os corpos de prova foram retirados da solução com cal para o período de secagem. Esse processo levou 2 dias e após esse período iniciou-se a aplicação dos revestimentos a serem testados.

3.3. REVESTIMENTOS UTILIZADOS PARA A AVALIAÇÃO QUANTO A AÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO

Para a avaliação de qual o melhor revestimento de proteção para estruturas sujeitas a ação de ácido sulfúrico, foram escolhidos 5 revestimentos disponíveis no mercado sendo dos seguintes grupos: cimentício, epóxi e poliuretano.

Na sequência especificaram-se os materiais, com características para que possa ter um embasamento de comparação entre os mesmos.

Os materiais utilizados são do mesmo fabricante, da empresa MC Bauchemie uma multinacional alemã que desenvolve matérias com a finalidade de impermeabilizar e proteger as estruturas de concreto de acordo com as mais diversas condições. As mesmas apresentam um alto critério de produção e normatização de acordo com o mercado europeu. Dispomos de alguns materiais já disponíveis no mercado brasileiro para a realização dos ensaios.

Segue descrição dos materiais aplicados:

- a) Revestimento polimérico flexível: Revestimento elástico, com base de cimento polimérico, bicomponente, utilizado para proteção e impermeabilização de estruturas de concreto sujeitas a fissuramento.

Resistente à ação de efluentes domésticos, aberto a difusão de vapor, desacelera a carbonatação, impermeável a cloretos e outros sais, resistentes a baixas temperaturas, resistente a ação do congelamento e aos sais de degelo. Na Figura 3.1 apresentam os seis corpos-de-prova com o material aplicado.



Figura 3.1. Revestimento polimérico flexível aplicados nos corpos-de-prova

b) Revestimento Mineral: Revestimento mineral de alta resistência química, para impermeabilização e proteção de superfície. Sinteticamente modificado, bicomponente, alta resistência a substâncias agressivas com pH entre 3,5 e 14, alta resistência a abrasão, permite a difusão de vapor de água. Na Figura 3.2 apresenta os seis corpos-de-prova com o Revestimento mineral de alta resistência química aplicada e já curada sobre a bancada.



Figura 3.2. Revestimento mineral aplicados nos corpos-de-prova

- c) Resina epóxi base água: Resina aberta a difusão de vapor de água, elevada resistência química e mecânica. Na Figura 3.3 apresenta os seis corpos-de-prova com a Resina epóxi base água aplicada e curada sobre a bancada.



Figura 3.3. Resina epóxi base água aplicada nos corpos-de-prova

- d) Resina epóxi bi-componente: Resina epóxi com alta resistência química, bi-componente, isenta de solventes para uso em área industrial, revestimento com alto desempenho químico e mecânico. Na Figura 3.4 apresentam os seis corpos-de-prova com a Resina epóxi bi-componente, aplicada e curada sobre a bancada.



Figura 3.4. Resina epóxi bi-componente aplicada nos corpos-de-prova

e) Resina base poliuretano: Resina poliuretano bicomponente modificado para cura acelerada; boa resistência contra ácidos diluídos, bases e soluções salinas. Na Figura 3.5 apresenta os seis corpos-de-prova com a Resina base poliuretano, aplicado e curados sobre a bancada.



Figura 3.5. Resina base poliuretano aplicada nos corpos-de-prova

Todos os corpos de provas foram numerados de 1 á 9 e separados em grupos com três unidades. Todos os números de 1 á 3 foram dispostos na solução de 5% de ácido sulfúrico, os de 4 á 6 foram dispostos na solução de 20% e do número 7 á 9 colocados na solução de 50%. Todos dispostos em uma seqüência lógica e identificado no croqui. Os tanques foram etiquetados indicando a solução e a localização de cada revestimento, conforme mostra na figura 3.6.



Figura 3.6. Tanques devidamente identificados, para localização dos respectivos produtos.

Para minimizar os manuseios com as soluções de ácido sulfúrico, os corpos-de-prova foram dispostos corretamente nos respectivos espaços e em ordem crescente, posteriormente adicionado à solução de 5, 20 e 50% nos respectivos tanques, conforme figura 3.7.



Figura 3.7. Corpos-de-prova dispostos nos tanques antes da solução

Após a imersão dos corpos de prova em solução de ácido sulfúrico, foi possível observar a reação imediata de alguns revestimentos em contato com o ácido. Essa reação ocorreu nos corpos de prova revestidos com material de base cimentício e os corpos de prova que não possuíam nenhum tipo de revestimento. A solução no entorno dos revestimentos cimentício apresentou-se turvo e parte do revestimento destacando e depositando ao fundo, na figura 3.8 é possível constatar tal reação.



Figura 3.8. Constatações de reações logo após a adição da solução a 50%

Nos corpos de prova com materiais base epóxi e poliuretano, não ocorreu nenhum tipo de reação do momento da imersão das peças para teste.

Após o de 14 dias imersos em ácido sulfúrico, retirou-se um corpo de prova de cada revestimento para avaliação da resistência a compressão.

É possível verificar na figura 3.9, os corpos-de-prova imersos em ácido sulfúrico com concentração de 50% (a) e (b); 20% (c) e (d) e 5% (e) e (f) com 14 dias de imersão.



(a)



(b)

Figura 3.9.1 Corpos de prova imersos em ácido sulfúrico há 14 dias (a) e (b) solução 50%



(c)



(d)

Figura 3.10.2 Corpos de prova imersos em ácido sulfúrico há 14 dias (c) e (d) solução 20%



(e)



(f)

Figura 3.11.3 Corpos de prova imersos em ácido sulfúrico há 14 dias (e) e (f) solução 5%

O mesmo procedimento foi executado após 29 dias de imersão, porém com a retirada dos dois corpos de prova restantes para avaliação da resistência a compressão. É possível verificar na figura 3.10, os corpos-de-prova imersos em ácido sulfúrico com concentração de 50% (a), 20% (b) e 5% (c) com 29 dias de imersão.

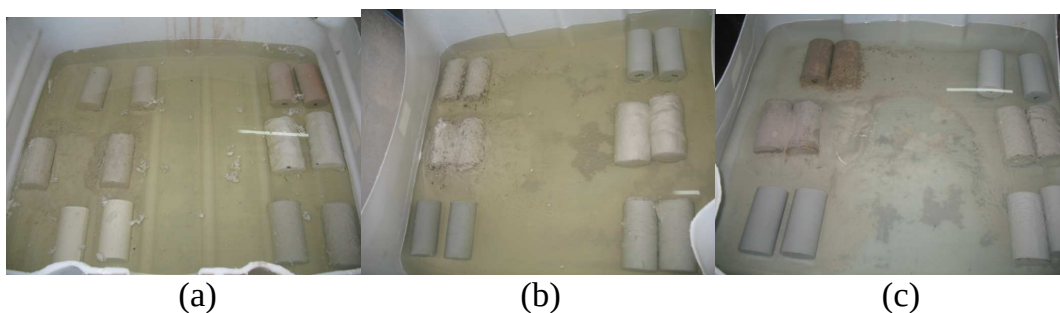


Figura 3.12. Corpos de prova imersos em ácido sulfúrico há 29 dias
(a) solução 50% ; (b) solução 20% e (c) solução 5%

Os corpos de prova foram retirados dos tanques de ácido sulfúrico, na ordem em que se apresentavam, foram lavados em água limpa, para neutralizar a ação do ácido e evitar queimaduras no manuseio das peças durante os ensaios e

foram deixadas ao ar livre para que ocorresse a secagem das peças de maneira natural.

Na sequência, registraram-se todas as características observadas durante os ensaios de cada revestimento de proteção, conforme descritos nos itens subsequentes.

3.4. REVESTIMENTO POLIMÉRICO FLEXÍVEL

Para a concentração de 5% em ácido sulfúrico a 14 e 29 dias observou-se que ocorreu a expansão do material e o comprometimento da aderência ao substrato com formação de bolhas em alguns pontos, sendo que, com 29 dias constataram-se áreas maiores não aderidas e maiores deformações, conforme figura 3.11.

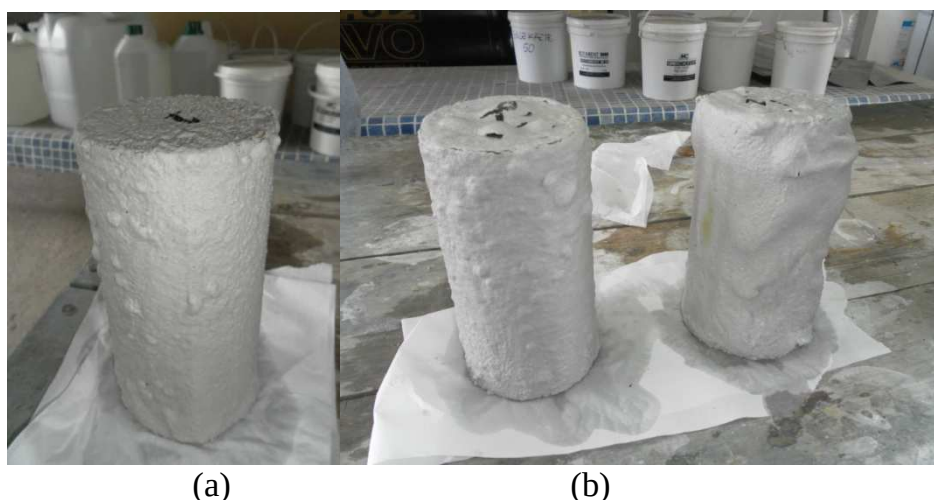


Figura 3.13. (a) - Revestimento polimérico flexível após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%
(b) - Revestimento polimérico flexível após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%

Para a concentração de ácido sulfúrico a 20% com 14 dias, ocorreram formações de bolhas em vários pontos com expansão do revestimento. Com 29 dias a ocorreu grandes expansão do material e o comprometimento da aderência do revestimento. Por baixo do revestimento flexível constatamos que havia um material de textura pastosa, constituída dos resíduos do concreto deteriorado confinado pelo revestimento, conforme figura 3.12.

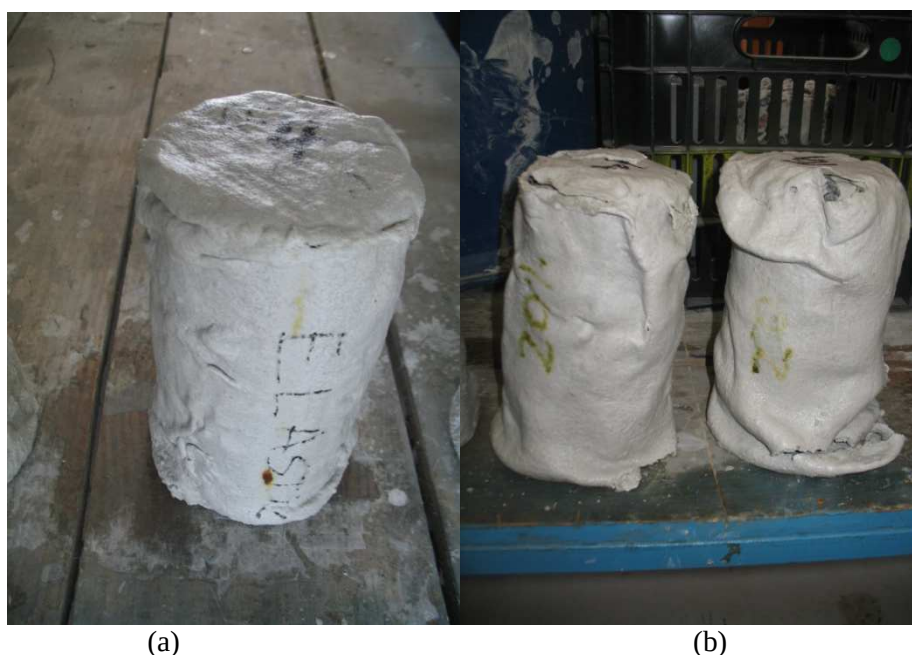


Figura 3.14. (a) - Revestimento polimérico flexível após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%
(b) - Revestimento polimérico flexível após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%

Com concentração de ácido sulfúrico a 50% com 14 e 29 dias imerso na solução o revestimento apresentou grande expansão e descolamento do corpo de prova, conforme é possível verificar na figura 3.13.



(a) (b)
Figura 3.15. (a) - Revestimento polimérico flexível após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%
(b) - Revestimento polimérico flexível após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%

Na seqüência podemos verificar as diferenças entre o Revestimento polimérico flexível em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% há 14 dias na figura 3.14.



Figura 3.16. Revestimento polimérico flexível, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico.

Na seqüência podemos verificar as diferenças entre o Revestimento polimérico flexível em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% aos 29 dias na figura 3.15.



Figura 3.17. Revestimento polimérico flexível, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico.

Após as avaliações realizaram-se os desbastes dos topos de todos os corpos-de-prova para regularizar a área de contato com a prensa e iniciar o ensaio de resistência á compressão. A figura 3.16 ilustra o procedimento do desbaste dos topos dos corpos-de-prova e a ruptura á compressão.

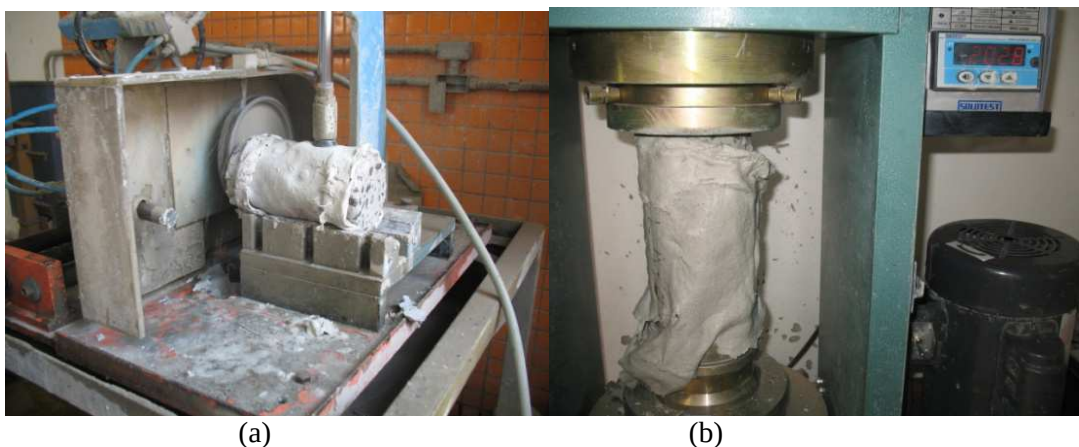


Figura 3.18. (a) Equipamento utilizado para desbaste do topo do cp; (b) Prensa utilizada para ruptura dos Cps

3.5. REVESTIMENTO MINERAL DE ALTA RESISTÊNCIA QUÍMICA

Para a concentração de ácido sulfúrico a 5% há 14 dias ocorreu à perda de boa parte do revestimento, sem conseqüências significativas observadas na superfície de concreto.

Contudo, aos 29 dias as amostras sofreram, adicionalmente, consideráveis perdas superficiais da pasta de cimento, expondo alguns agregados graúdos conforme é possível verificar na figura 3.17.

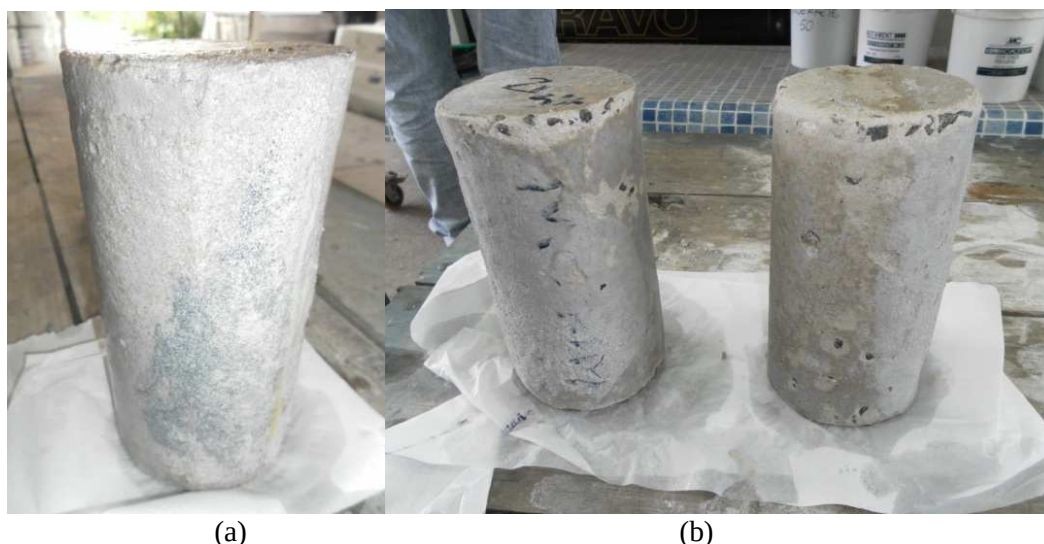


Figura 3.19. (a) - Revestimento mineral após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%
(b) - Revestimento mineral após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%

Verificamos ainda que a maior parte do material deteriorado ficou depositado no fundo do tanque de ensaio, conforme é possível verificar na figura 3.18



Figura 3.20. Revestimento mineral depositado no fundo do tanque após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico com concentração de 5%

Com concentração de ácido sulfúrico a 20% com 14 dias de imersão na solução ocorreu perda de grande parte do revestimento e ataque ao concreto, provocando perda de da pasta de cimento e expondo os agregados graúdos. Aos 29 dias ocorreu perda de todo o revestimento e, devido ao ataque do ácido, a amostra perdeu superficialmente, a argamassa do concreto, conseqüentemente, expondo todos os agregados graúdos, conforme figura 3.19.

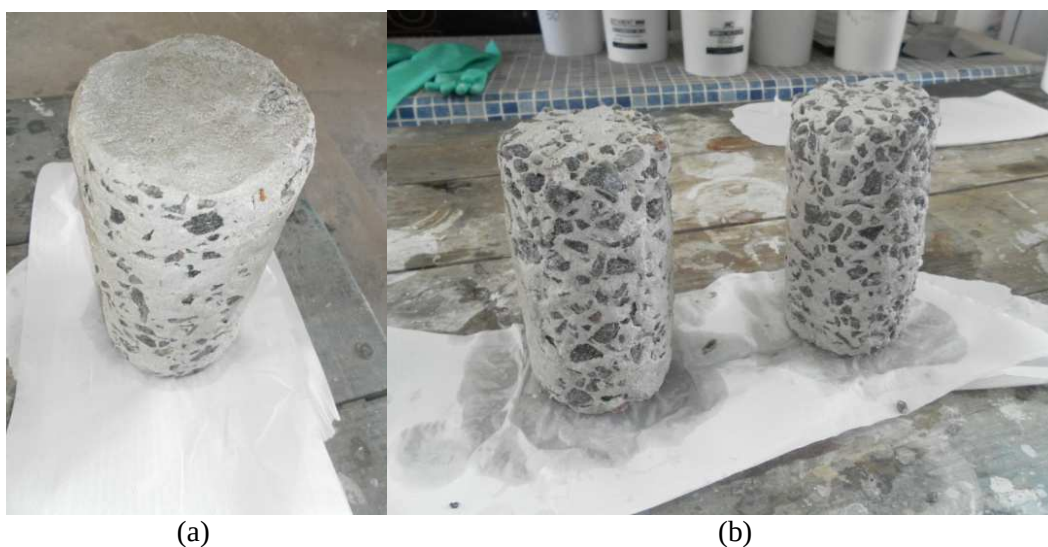


Figura 3.21. (a) - Revestimento mineral após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%
(b) - Revestimento mineral após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%

Com concentração de ácido sulfúrico a 50% com 14 dias de imersão na solução os corpos de prova apresentaram perda do revestimento e parte da pasta do concreto, expondo os agregados graúdos. Já aos 29 dias os corpos de prova apresentaram-se com perda de parte do revestimento e uma lixiviação mais branda que a vista na concentração de 20%. A despeito da maior concentração ácida verificamos apenas alguns pontos de exposição dos agregados graúdos, conforme é possível verificar na figura 3.20.

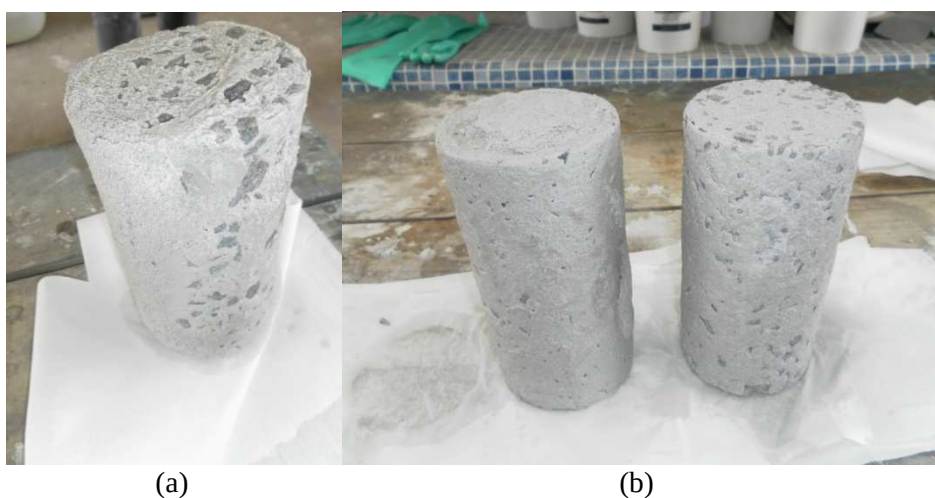


Figura 3.22. (a) - Revestimento mineral após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%
(b) - Revestimento mineral após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%

Na seqüência podemos verificar as diferenças entre o Revestimento mineral em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% há 14 dias na figura 3.21.



Figura 3.23. Revestimento mineral, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico.

Na sequência podemos verificar as diferenças entre o Revestimento mineral em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% aos 28 dias na figura 3.22.



Figura 3.24. Revestimento mineral, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico.

Após as avaliações realizaram-se os desbastes dos topos de todos os corpos-de-prova para regularizar a área de contato com a prensa e iniciar o ensaio de resistência á compressão. A figura 3.23 ilustra o procedimento do desbaste dos topos dos corpos-de-prova e a ruptura á compressão.

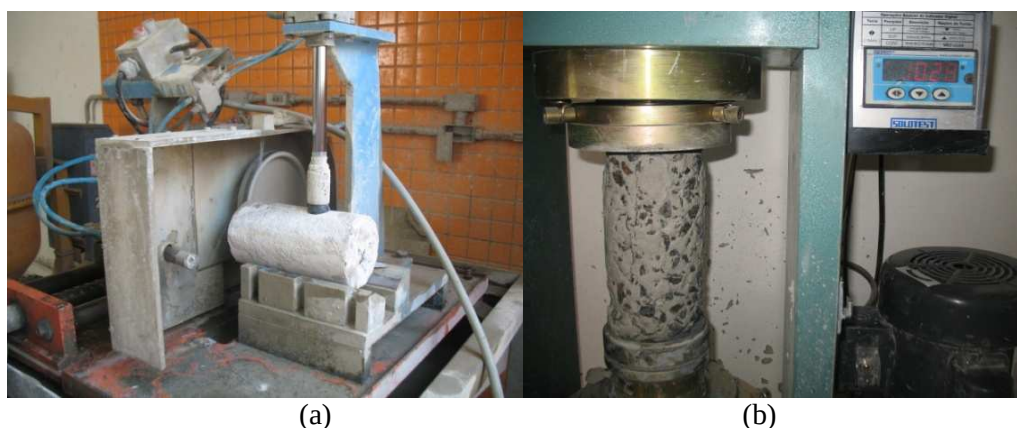


Figura 3.25. Equipamento utilizado para desbaste do topo do cp (a); Prensa utilizada para ruptura dos CP's (b)

3.6. RESINA EPÓXI BASE ÁGUA

Para concentração de ácido sulfúrico a 5% há 14 dias, ocorreu a formação de bolhas no revestimento e na aresta verificou-se um pequeno rompimento do revestimento. Nas amostras expostas por 29 dias verificou-se que a superfície do revestimento apresenta-se irregular e constatou-se o deslocamento do revestimento com o concreto em ambos os CP's, conforme é possível verificar na figura 3.24.

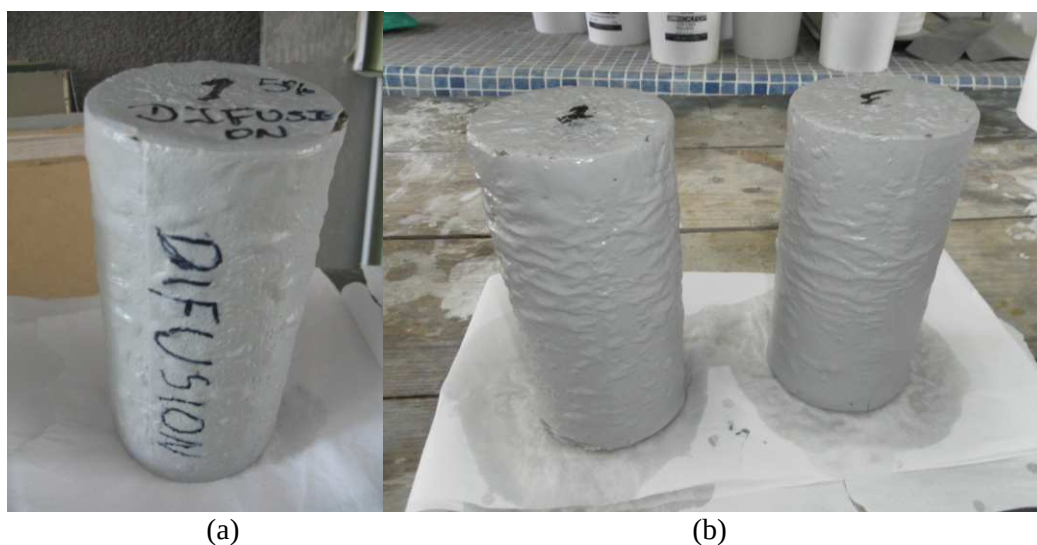


Figura 3.26. (a) - Resina epóxi base água após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%
(b) - Resina epóxi base água após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%

Para concentração de ácido sulfúrico a 20% há 14 dias, ocorreu à formação de algumas bolhas no revestimento e rompimento do revestimento nas arestas da amostra. Aos 29 dias, verificou-se que a superfície do revestimento apresenta-se irregular e com rompimento do revestimento na região das arestas. Nestas áreas com o revestimento rompido, verificou-se que a pasta do concreto apresentava-se totalmente atacada, com consistência pastosa e confinada entre o revestimento e o CP, em ambas as amostragens, conforme figura 3.25.

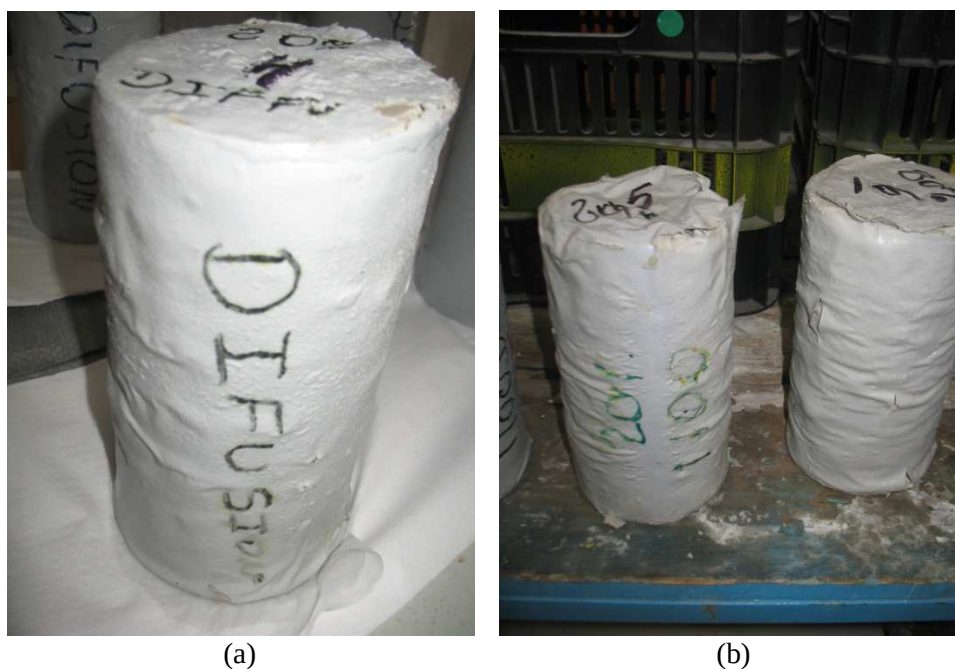


Figura 3.27. (a) - Resina epóxi base água após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%
(b) - Resina epóxi base água após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%

Para a concentração de ácido sulfúrico a 50% há 14 dias, a amostra apresentou formação de bolhas generalizada em todo o revestimento, sendo que algumas destas bolhas apresentavam-se rompidas e em alguns pontos houve deslocamento superficial. Aos 29 dias, o CP 8 apresentou pequenas bolhas generalizadas e, em uma das extremidades, verificou-se que o revestimento de uma das arestas ficou totalmente rompido, atacando a pasta do concreto, já no CP 9 a superfície tornou-se irregular, denotando deslocamento do revestimento, conforme é possível ver na figura 3.26.

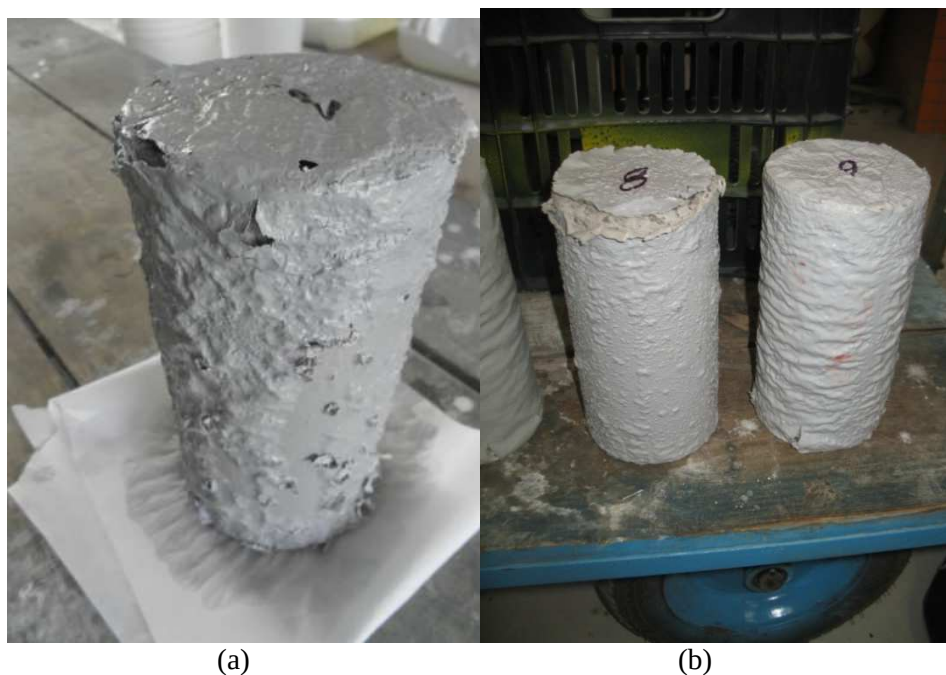


Figura 3.28. (a) - Resina epóxi base água após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%
(b) - Resina epóxi base água após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%

Na sequência, podemos verificar as diferenças entre a Resina epóxi base água em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% a 14 dias na figura 3.27.



Figura 3.29. Resina epóxi base água, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico.

Na sequência, podemos verificar as diferenças entre a Resina epóxi base água em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% aos 29 dias. Ver figura 3.28.



Figura 3.30. Resina epóxi base água da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico.

Após as avaliações realizaram-se os desbastes dos topos de todos os corpos-de-prova para regularizar a área de contato com a prensa e iniciar o ensaio de resistência á compressão. A figura 3.29 ilustra o procedimento do desbaste dos topos dos corpos-de-prova e a ruptura à compressão.

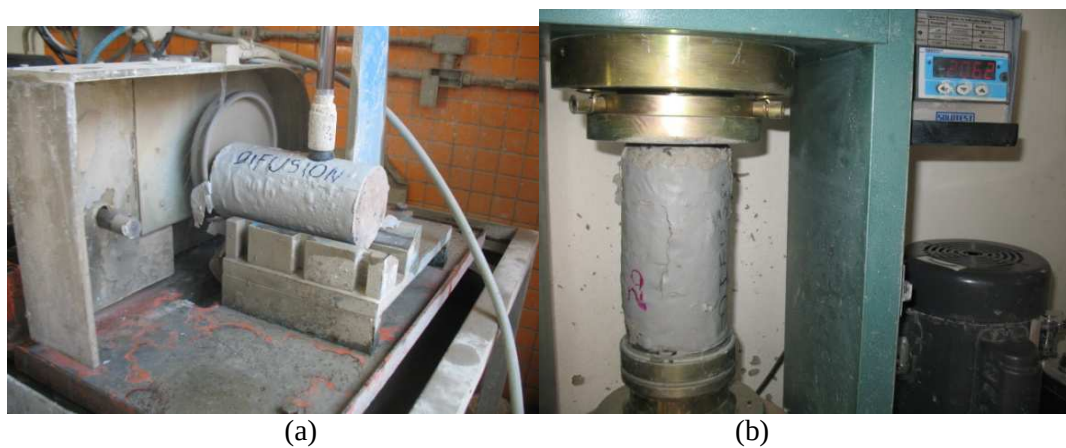


Figura 3.31. Equipamento utilizado para desbaste do topo do cp (a); Prensa utilizada para ruptura dos CP's (b)

3.7. RESINA EPÓXI BI-COMPONENTE

Para concentração de ácido sulfúrico a 5% a 14 e 29 dias, não ocorreu nenhum tipo de alteração relevante no revestimento, verificamos apenas um pequeno ponto de erupção na extremidade do CP na região da aresta, conforme figura 3.30.

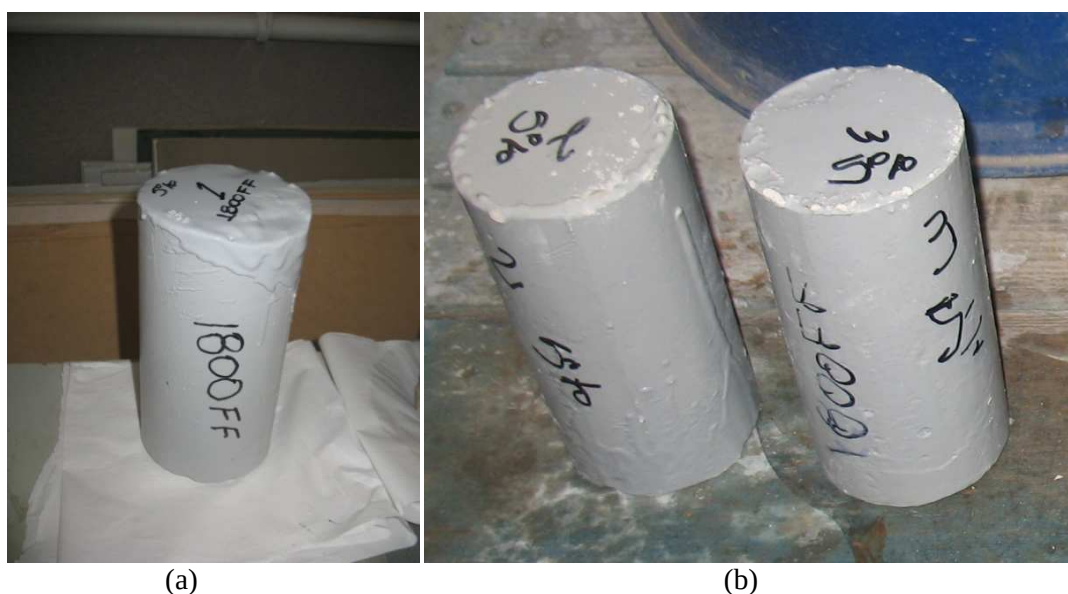


Figura 3.32. (a) - Resina epóxi bi-componente após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%
(b) - Resina epóxi bi-componente após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%

Para concentração de ácido sulfúrico a 20% a 14 e 29 dias verificaram-se algumas áreas das arestas com o revestimento rompido, e aos 29 dias verificou-se a formação de pequenas bolhas pontuais no revestimento, não constatamos nenhum outro tipo de alteração manifestação patológica, conforme é possível verificar na figura 3.31.

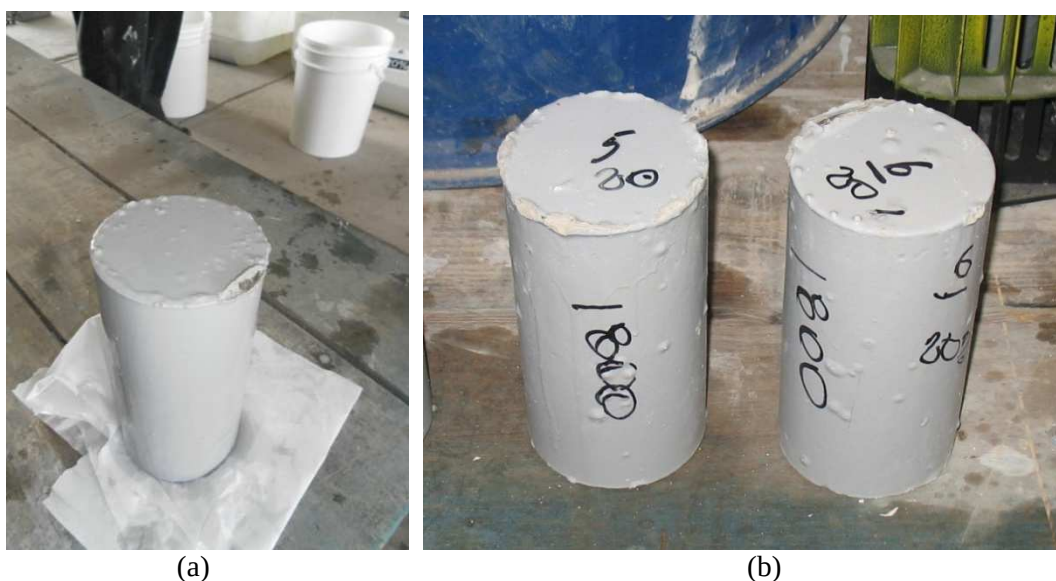


Figura 3.33. (a) - Resina epóxi bi-componente após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%
(b) - Resina epóxi bi-componente após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%

Resina epóxi bi-componente com concentração de ácido sulfúrico a 50% à 14 dias, não ocorreu nenhum tipo de alteração no revestimento, já aos 29 dias verificou-se a formação de pequenas bolhas pontuais e a alteração da cor do revestimento, conforme é possível verificar na figura 3.32.

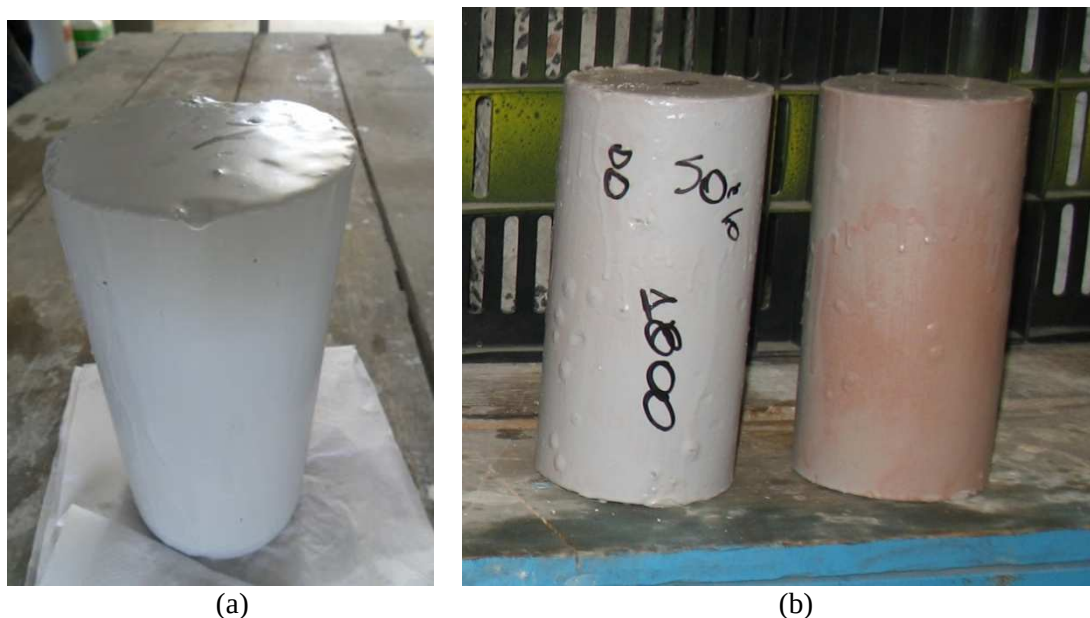


Figura 3.34. (a) - Resina epóxi bi-componente após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%
(b) - Resina epóxi bi-componente após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%

Na sequência podemos verificar as diferenças entre a Resina epóxi bi-componente em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% à 14 dias na figura 3.33.



Figura 3.35. Resina epóxi bi-componente, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico.

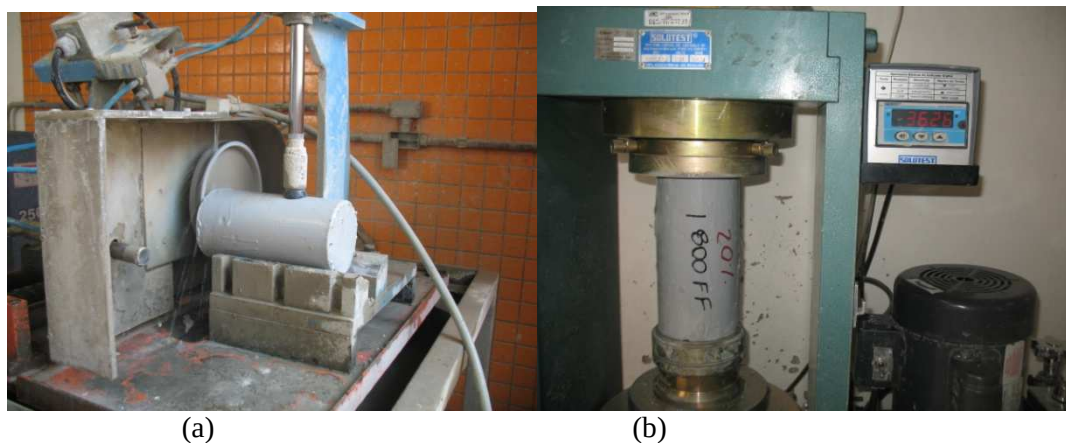
Na sequência podemos verificar as diferenças entre a resina epóxi em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% aos 29 dias na figura 3.34.



Figura 3.36. Resina epóxi bi-componente, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico.

Após as avaliações realizaram-se os desbastes dos topos de todos os corpos-de-prova para regularizar a área de contato com a prensa e iniciar o ensaio

de resistência á compressão. A figura 3.35 ilustra o procedimento do desbaste dos topos dos corpos-de-prova e a ruptura á compressão.



(a) (b)
Figura 3.37. Equipamento utilizado para desbaste do topo do cp (a); Prensa utilizada para ruptura dos Cps (b).

3.8. RESINA BASE POLIURETANO

Resina base poliuretano com concentração de ácido sulfúrico a 5% a 14 e 29 dias, não ocorreu nenhum tipo de alteração no revestimento, porém, no CP aos 14 dias verificamos um discreto rompimento do revestimento na região da aresta, conforme é possível verificar na figura 3.36.

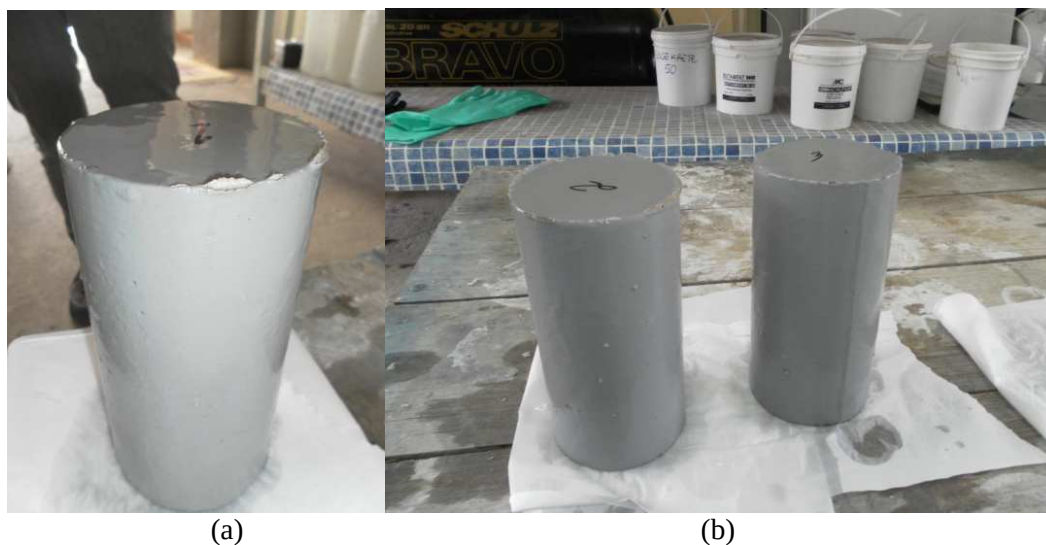


Figura 3.38. (a) - Resina base poliuretano após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%
(b) - Resina base poliuretano após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%

Para a concentração de ácido sulfúrico a 20% aos 14 e 29 dias, também verificamos rompimento do revestimento na região da aresta, sendo que, aos 14 dias concentrou-se em alguns pontos e aos 29 dias constatamos que em um CP o rompimento ocorreu em todo perímetro da aresta, conforme é possível verificar na figura 3.37. O motivo do rompimento foram falhas decorrentes da aplicação, mais difícil nas arestas.

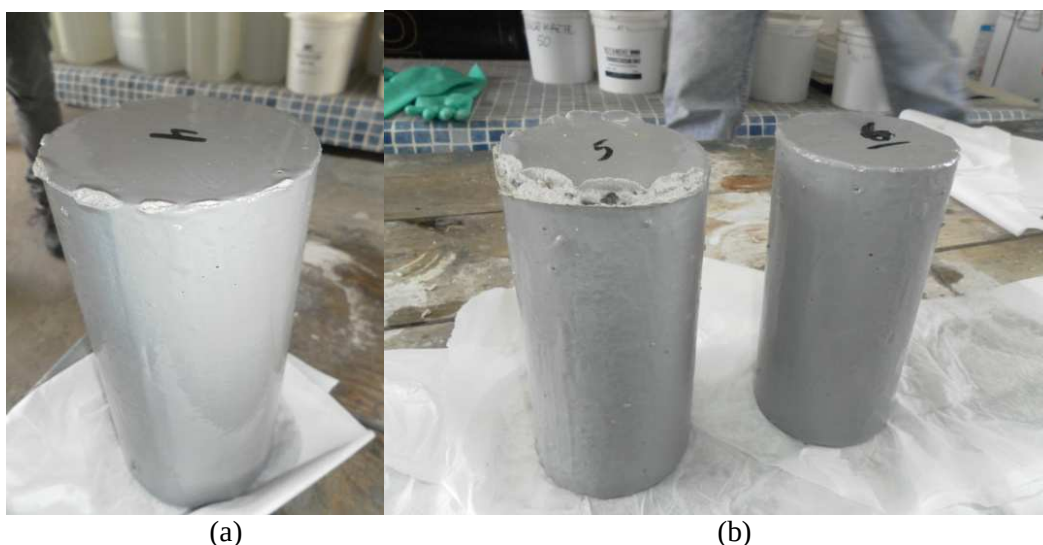


Figura 3.39. (a) - Resina base poliuretano após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%
(b) - Resina base poliuretano após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%

Resina base poliuretano com concentração de ácido sulfúrico a 50% aos 14 e 29 dias, não houve ataque do revestimento, porém a cor superficial foi alterada. Em um dos CP's aos 29 dias verificamos um discreto rompimento do revestimento da aresta, conforme é possível verificar na figura 3.38. Provavelmente a causa do rompimento nas arestas foi o mesmo.

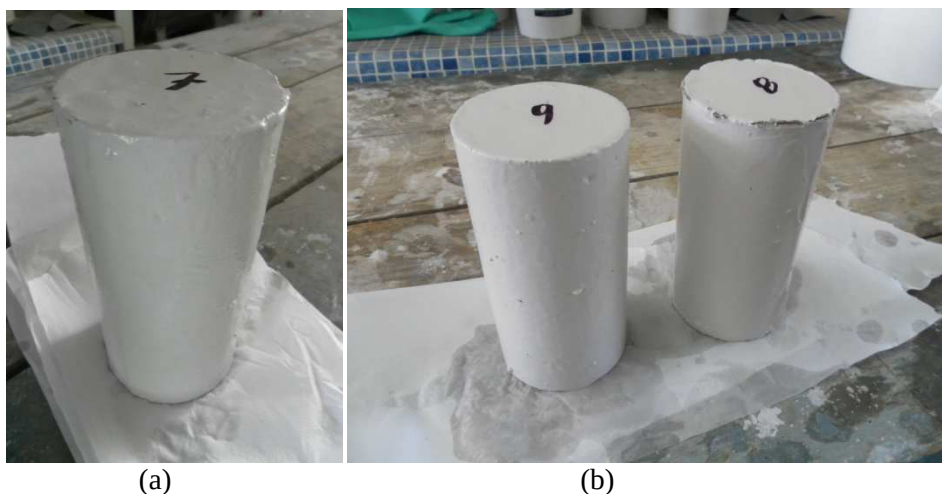


Figura 3.40. (a) - Resina base poliuretano após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%
(b) - Resina base poliuretano após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%

Na sequência podemos verificar as diferenças entre a Resina base poliuretano em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% à 14 dias na figura 3.39.



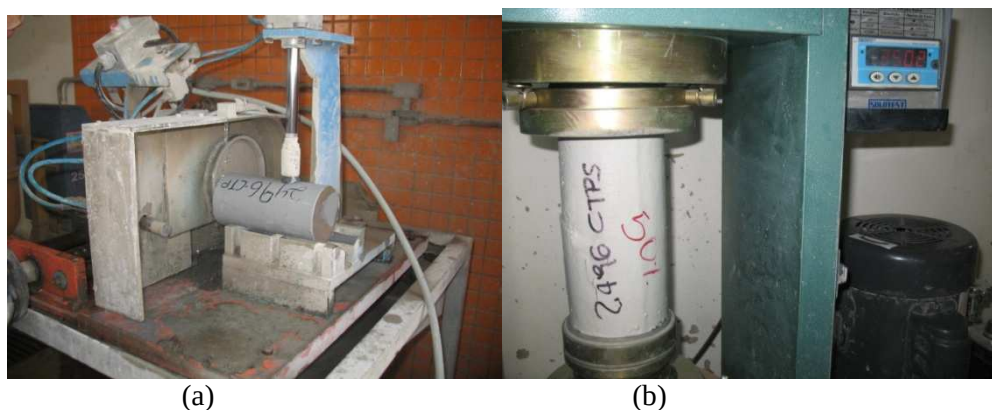
Figura 3.41. Resina base poliuretano, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico

Na sequência podemos verificar as diferenças entre a Resina base poliuretano em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% aos 28 dias na figura 3.40.



Figura 3.42. Resina base poliuretano, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 28 dias em imersão em ácido sulfúrico.

Após as avaliações realizaram-se os desbastes dos topos de todos os corpos-de-prova para regularizar a área de contato com a prensa e iniciar o ensaio de resistência á compressão. A figura 3.41 ilustra o procedimento do desbaste dos topos dos corpos-de-prova e a ruptura á compressão.



(a) (b)
Figura 3.43. Equipamento utilizado para desbaste do topo do cp (a); Prensa utilizada para ruptura dos Cps (b)

3.9. CORPOS DE PROVA DE REFERÊNCIA

Corpo de prova de Referência (sem proteção) imerso na solução de ácido sulfúrico a 5% aos 14 dias apresentou perda parcial da pasta do concreto, aos 29 dias apresentou perda superficial da pasta do concreto, expondo os agregados graúdos, conforme é possível verificar na figura 3.42.

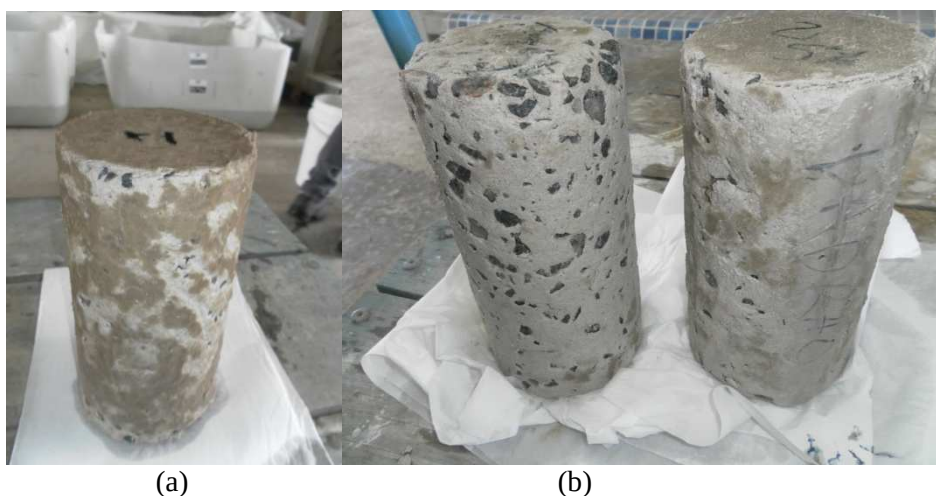


Figura 3.44. (a) - CP de Referência após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%
(b) - CP's de Referência após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 5%

Corpo de prova de Referência (sem proteção) imerso na solução de ácido sulfúrico a 20% aos 14 e 29 dias apresentou perda da pasta do concreto, expondo os agregados graúdos, porém, aos 29 dias a exposição dos agregados se tornou mais acentuada, conforme pode se verificar na figura 3.43.

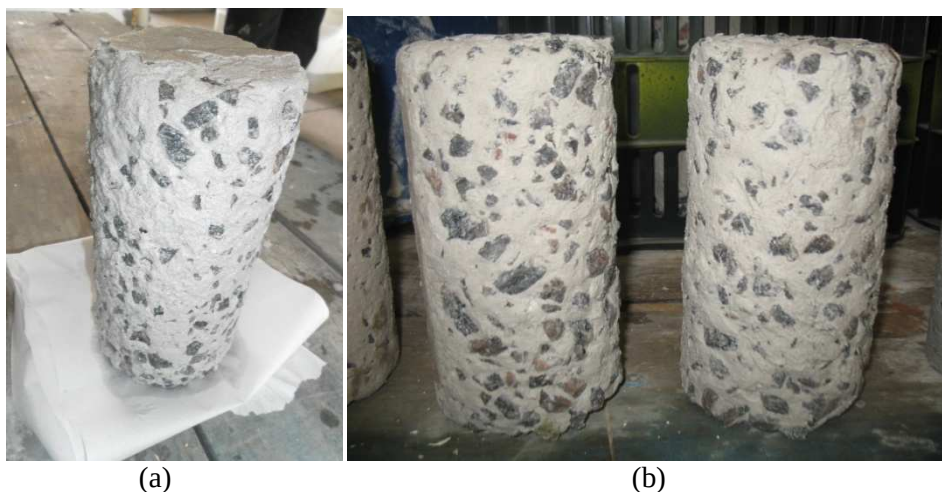


Figura 3.45. (a) - CP de Referência após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%
(b) - CP's de Referência após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 20%

Corpo de prova de Referência (sem proteção) imerso na solução de ácido sulfúrico a 50% aos 14 e 29 dias ocorreu ataque no concreto, promovendo perda da pasta do concreto, com leve exposição dos agregados graúdos, conforme é possível verificar na figura 3.44.

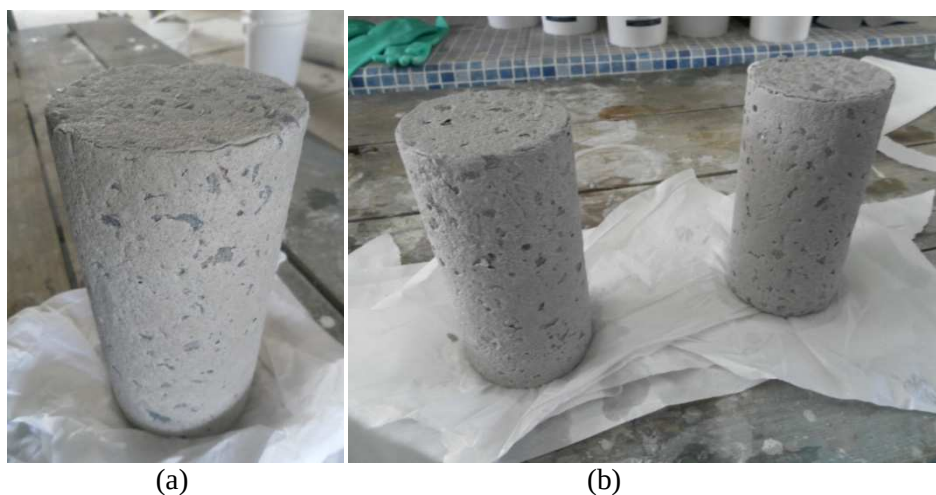


Figura 3.46. (a) - CP de Referência após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%
(b) - CP's de Referência após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico 50%

Na seqüência podemos verificar as diferenças entre o corpos-de-prova de Referência em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% à 14 dias na figura 3.45.



Figura 3.47. CP's de Referência, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 14 dias em imersão em ácido sulfúrico.

Na sequência podemos verificar as diferenças entre o corpos-de-prova de Referência em relação ao ataque de ácido sulfúrico nas concentrações de 5%, 20% e 50% à 29 dias na figura 3.46.



Figura 3.48. CP's de Referência, da esquerda para a direita, nas concentrações de 5%, 20% e 50% após 29 dias em imersão em ácido sulfúrico

Após as avaliações realizaram-se os desbastes dos tops de todos os corpos-de-prova para regularizar a área de contato com a prensa e iniciar o ensaio

de resistência à compressão. A figura 3.47 ilustra o procedimento do desbaste dos topos dos corpos-de-prova e a ruptura à compressão.



(a) (b)
Figura 3.49. Equipamento utilizado para desbaste do topo do CP (a); Prensa utilizada para ruptura dos CP's (b).

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no programa experimental e a análise de cada produto em questão.

Verificamos os resultados da resistência à compressão das amostras e as características dos respectivos produtos de proteção, tendo como base os corpos-de-prova de referência sem proteção.

A tabela 4.1, apresenta os resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova de referência aos 14 e 29 dias, onde podemos verificar a queda de resistência aos 29 dias de imersão na solução, acentuando-se principalmente na concentração de 20%.

REFERÊNCIA						
CP	ÁCIDO SULFÚRICO	14 Dias de imersão na solução		29 Dias de imersão na solução		
		RESISTÊNCIA com 53 dias		RESISTÊNCIA com 68 dias		
		PRENSA	MPa	PRENSA	MPa	MÉDIA MPa
1	5%	26840	33,55	*	*	*
2		*	*	22180	27,73	26,28
3		*	*	19870	24,84	
4	20%	18520	23,15	*	*	*
5		*	*	10510	13,14	14,56
6		*	*	12780	15,98	
7	50%	28250	35,31	*	*	*
8		*	*	28650	35,81	33,83
9		*	*	25480	31,85	

Tabela 4.1. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova de referência.

4.1. REVESTIMENTO POLIMÉRICO FLEXÍVEL

Na tabela 4.2, registrou-se as cargas e as respectivas resistências à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento polimérico flexível, sendo 1 corpo-de-prova para 14 dias e 2 para 28 dias, para cada solução.

REVESTIMENTO POLIMÉRICO FLEXÍVEL						
CP	Ácido Sulfúrico	14 Dias de imersão na solução		28 Dias de imersão na solução		
		RESISTÊNCIA com 53 dias		RESISTÊNCIA com 68 dias		
		PRENSA	MPa	PRENSA	MPa	MÉDIA MPa
1	5%	26530	33,16	*	*	*
2		*	*	24980	31,23	29,98
3		*	*	22990	28,74	
4	20%	20280	25,35	*	*	*
5		*	*	7250	9,06	11,25
6		*	*	10750	13,44	
7	50%	27950	34,94	*	*	*
8		*	*	25820	32,28	34,10
9		*	*	28740	35,93	

Tabela 4.2. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento polimérico flexível

No gráfico 4.1, observou-se que para os corpos-de-prova imersos na solução de 5% houve um ganho de resistência de 14 %. Já para a solução de 20% houve uma perda de resistência de 23%. E por fim, na solução de 50% permaneceu equilibrado com um pequeno ganho de resistência de 0,8%.

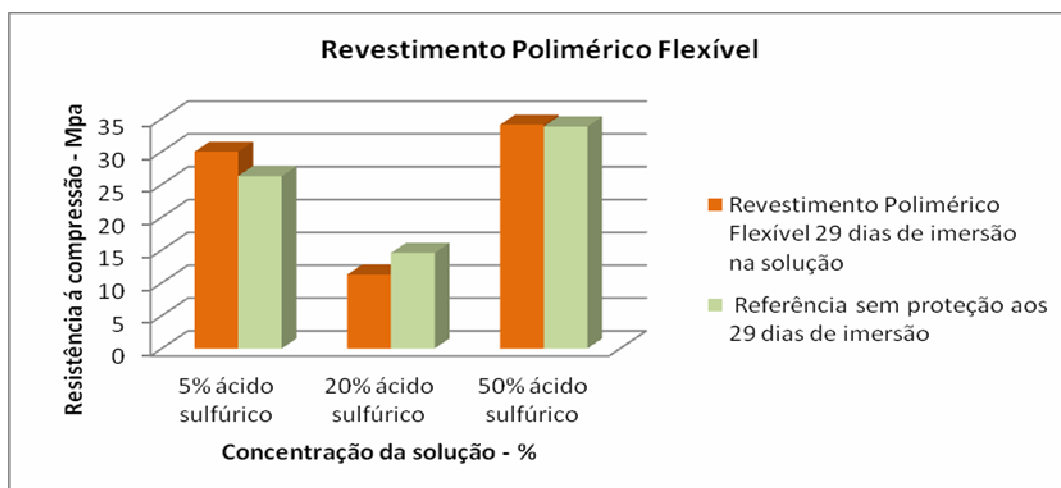


Gráfico 4.1. Variação da resistência à compressão dos corpos-de-prova revestidos com Revestimento Polimérico Flexível, após imersão em solução de ácido sulfúrico

4.2. REVESTIMENTO MINERAL

Na tabela 4.3, registrou-se as cargas e as respectivas resistências à compressão dos corpos-de-prova com o Revestimento Mineral, sendo 1 corpo-de-prova para 14 dias e 2 para 28 dias, para cada solução.

REVESTIMENTO MINERAL						
CP	Ácido Sulfúrico	14 Dias de imersão na solução		28 Dias de imersão na solução		
		RESISTÊNCIA com 53 dias		RESISTÊNCIA com 68 dias		
		PRENSA	MPa	PRENSA	MPa	MÉDIA MPa
1	5%	32720	40,90	*		32,31
2		*	*	22300	27,88	
3		*	*	29390	36,74	
4	20%	15770	19,71	*		18,45
5		*	*	19240	24,05	
6		*	*	10280	12,85	
7	50%	18870	23,59	*		31,34
8		*	*	24910	31,14	
9		*	*	25230	31,54	

Tabela 4.3. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento mineral.

No gráfico 4.2, observou-se que para os corpos-de-prova imersos na solução de 5% houve um ganho de resistência de 23%. Já para a solução de 20% houve um ganho de resistência de 27%. E por fim, na solução de 50% apresentou uma perda de resistência de 7%.

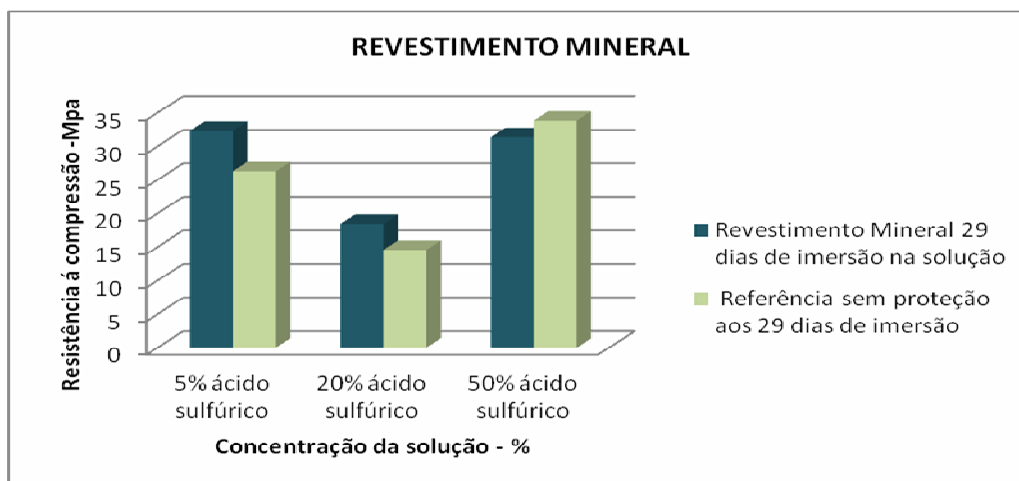


Gráfico 4.2. Variação da resistência à compressão dos corpos-de-prova revestidos com Revestimento Mineral, após imersão em solução de ácido sulfúrico.

4.3. REVESTIMENTO EPÓXI BASE ÁGUA

Na tabela 4.4, registrou-se as cargas e as respectivas resistências à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento epóxi base água, sendo 1 corpo-de-prova para 14 dias e 2 para 28 dias, para cada solução.

REVESTIMENTO EPÓXI BASE ÁGUA						
CP	Ácido Sulfúrico	14 Dias de imersão na solução		28 Dias de imersão na solução		
		RESISTÊNCIA com 53 dias		RESISTÊNCIA com 68 dias		
		PRENSA	MPa	PRENSA	MPa	MÉDIA MPa
1	5%	32100	40,13	*		
2		*	*	24740	30,93	30,47
3		*	*	24010	30,01	
4	20%	20620	25,78	*		
5		*	*	12420	15,53	18,85
6		*	*	17740	22,18	
7	50%	30680	38,35	*		
8		*	*	27940	34,93	35,24
9		*	*	28440	35,55	

Tabela 4.4. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento epóxi base água

No gráfico 4.3, observou-se que para os corpos-de-prova imersos na solução de 5% houve um ganho de resistência de 16%. Já para a solução de 20% houve um ganho de resistência de 29%. E por fim, na solução de 50% houve um ganho de resistência de 4%.

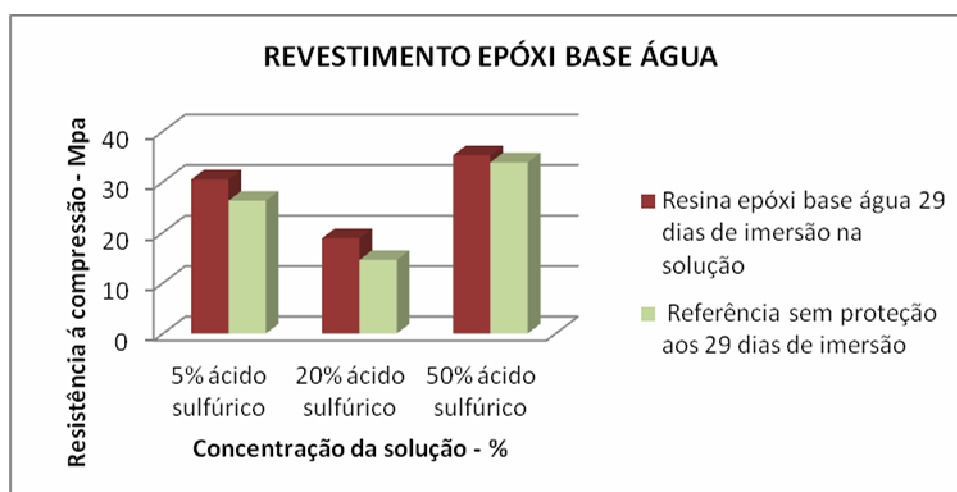


Gráfico 4.3. Variação da resistência a compressão dos corpos-de-prova revestidos com Revestimento Epóxi Base água, após imersão em solução de ácido sulfúrico

4.4. REVESTIMENTO EPÓXI

Na tabela 4.5, registrou-se as cargas e as respectivas resistências à compressão dos corpos-de-prova com o Revestimento Epóxi, sendo 1 corpo-de-prova para 14 dias e 2 para 28 dias, para cada solução.

REVESTIMENTO EPÓXI						
CP	Ácido Sulfúrico	14 Dias de imersão na solução		28 Dias de imersão na solução		
		RESISTÊNCIA com 53 dias		RESISTÊNCIA com 68 dias		
		PRENSA	MPa	PRENSA	MPa	MÉDIA MPa
1	5%	26060	32,58	*		32,54
2		*	*	23240	29,05	
3		*	*	28820	36,03	
4	20%	36180	45,23	*		35,29
5		*	*	30400	38,00	
6		*	*	26070	32,59	
7	50%	36260	45,33	*		43,14
8		*	*	31530	39,41	
9		*	*	37490	46,86	

Tabela 4.5. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento epóxi.

No gráfico 4.4, observou-se que para os corpos-de-prova imersos na solução de 5% houve um ganho de resistência de 24%. Já para a solução de 20% houve um ganho de resistência de 142%. E por fim, na solução de 50% apresentou um ganho de resistência de 28%.

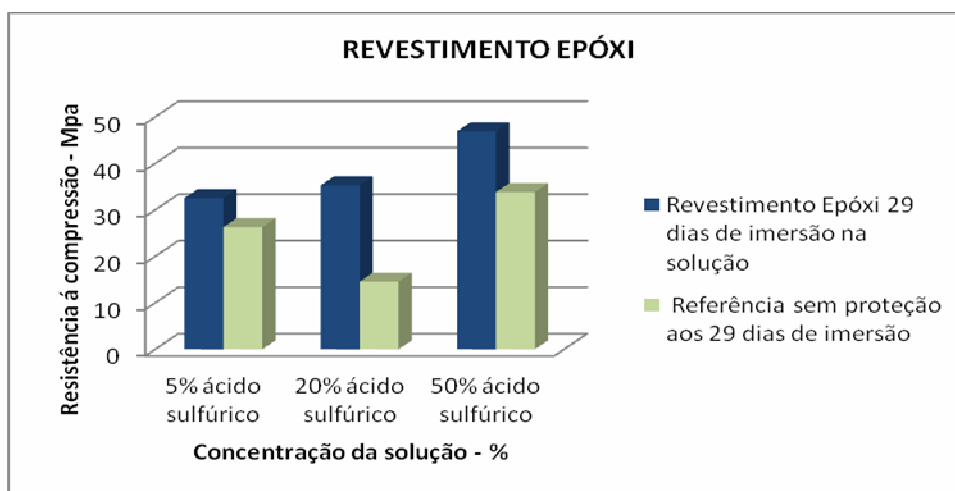


Gráfico 4.4. Variação da resistência à compressão dos corpos-de-prova revestidos com Revestimento Epóxi, após imersão em solução de ácido sulfúrico.

4.5. REVESTIMENTO POLIURETANO

Na tabela 4.6, registrou-se as cargas e as respectivas resistências à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento base poliuretano, sendo 1 corpo-de-prova para 14 dias e 2 para 28 dias, para cada solução.

REVESTIMENTO POLIURETANO						
CP	Ácido Sulfúrico	14 Dias de imersão na solução		28 Dias de imersão na solução		
		RESISTÊNCIA com 53 dias		RESISTÊNCIA com 68 dias		
		PRENSA	MPa	PRENSA	MPa	MÉDIA MPa
1	5%	31310	39,14	*		34,54
2		*	*	29940	37,43	
3		*	*	25320	31,65	
4	20%	32950	41,19	*		37,49
5		*	*	25890	32,36	
6		*	*	34090	42,61	
7	50%	35020	43,78	*		44,62
8		*	*	33300	41,63	
9		*	*	38090	47,61	

Tabela 4.6. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova com o revestimento poliuretano.

No gráfico 4.5, observou-se que para os corpos-de-prova imersos na solução de 5% houve um ganho de resistência de 31%. Já para a solução de 20% houve um ganho de resistência de 158%. E por fim, na solução de 50% apresentou um ganho de resistência de 32%.

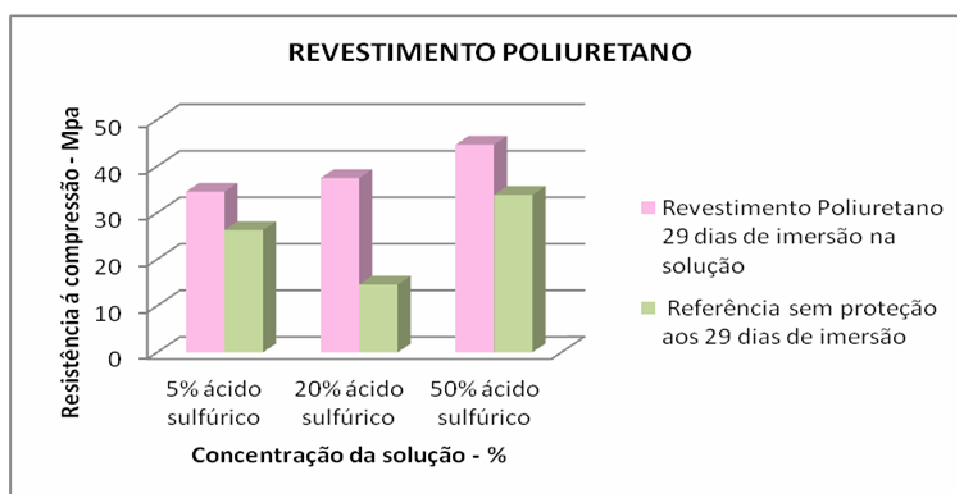


Gráfico 4.5. Variação da resistência à compressão dos corpos-de-prova revestidos com Revestimento Poliuretano, após imersão em solução de ácido sulfúrico.

4.6. RESUMO GERAL DOS PRODUTOS

Para obter uma média da resistência à compressão do concreto em questão, reservou-se 4CP's que não foram submetidos a nenhum tipo de agressividade, e que foram rompidos no mesmo dia do ensaio final, ou seja, possuíam a mesma idade dos CP's testados, conforme tabela 4.6.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CP's NÃO IMERSOS			
dias	Prensa	MPa	Média
53	32950	41,19	41,19
53	29680	37,1	
68	30860	38,58	38,67
68	31250	39,06	
68	37440	~~46,8~~	
68	30690	38,36	

Tabela 4.7. Resultado da resistência à compressão dos corpos-de-prova

Dos quatro resultados de resistência a compressão, dos CP's de referência não imersos, desprezou-se o de maior valor por apresentar um desvio muito alto, com relação aos outros.

Para melhor visualizar os resultados, resumiram-se os dados de todos os produtos avaliados conforme gráfico 4.6. Neste gráfico podemos verificar que dos cinco produtos avaliados, dois mantiveram-se íntegros e as resistências equiparadas, sem nenhuma queda brusca. Estes produtos são de base epoxídica e de base poliuretano modificado.

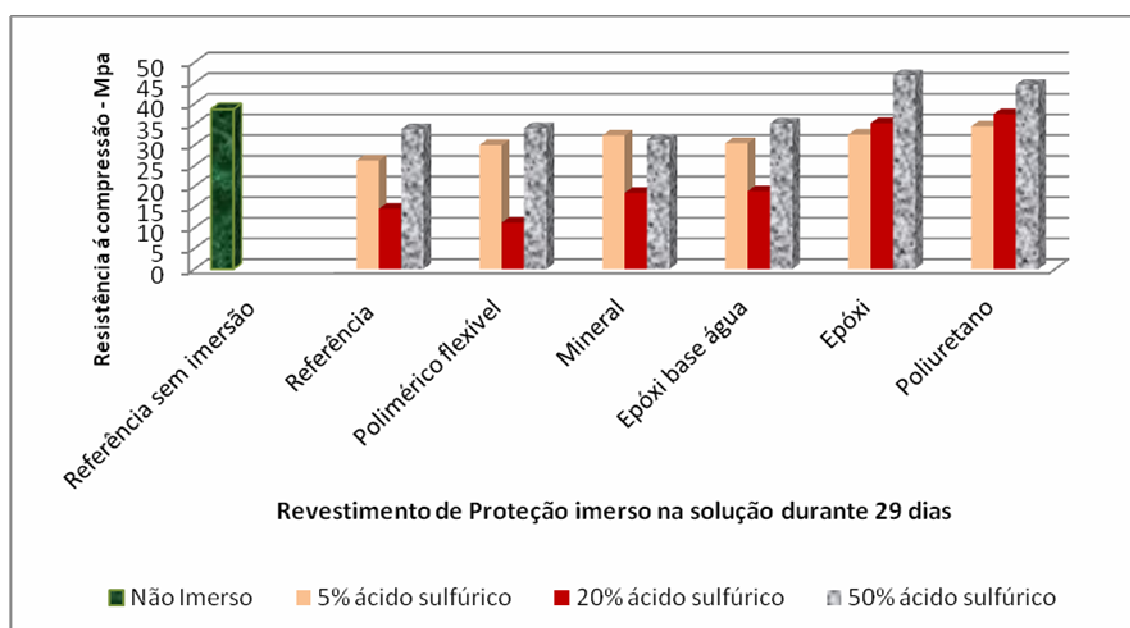


Gráfico 4.6. Variação da resistência à compressão dos corpos-de-prova

Nos revestimento de base cimentício e epoxídico de base água, inclusive o de referência, verificou-se um ataque mais pronunciado. O revestimento polimérico flexível ficou totalmente deformado por se tratar de uma proteção flexível, o revestimento mineral se desintegrou nas três soluções e o revestimento epóxi base água apresentou várias formações de bolhas, as quais, posteriormente, se romperam.

Na solução a 5% verificou-se que a maior queda de resistência foi de até 22%, (revestimento polimérico flexível) e a menor queda de resistência foi de 11% (revestimento poliuretano) quando comparado a resistência de referência não imersa, conforme gráfico 4.7.

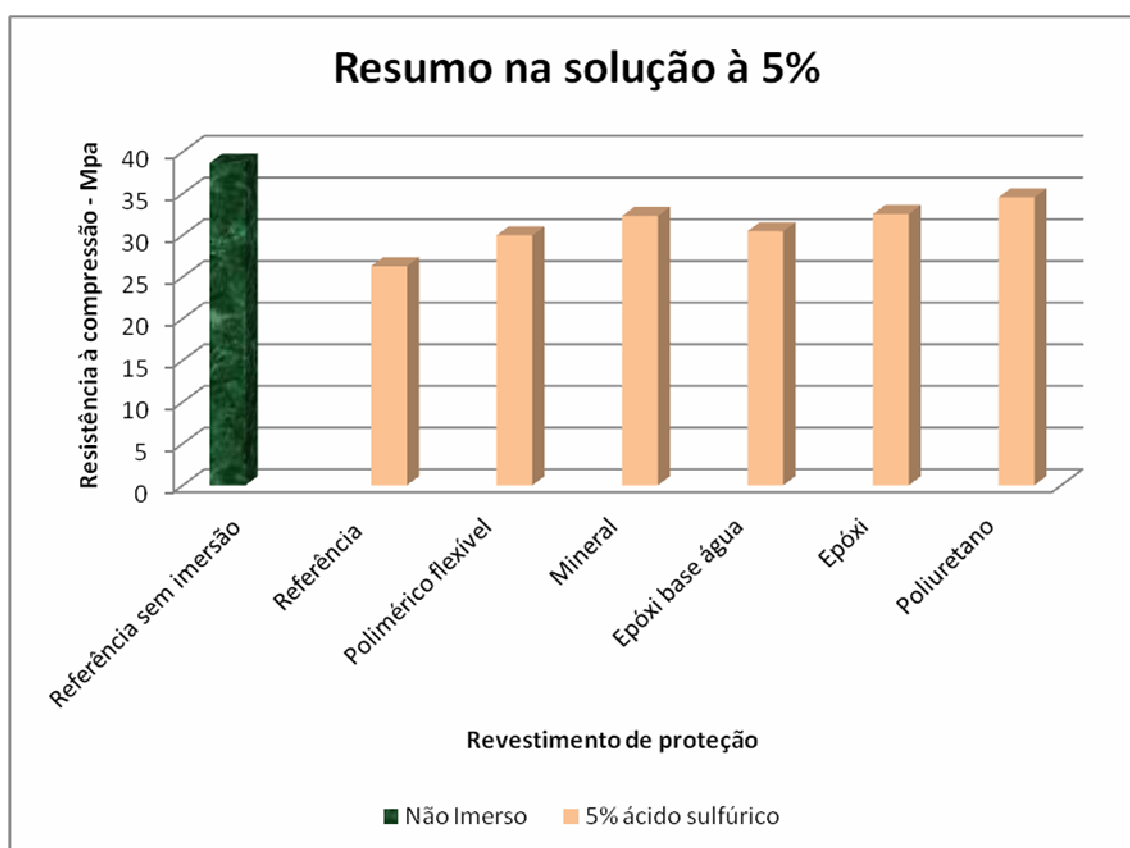


Gráfico 4.7. Variação da resitência à compressão dos corpos-de-prova na solução à 5%

Antes de se utilizar as soluções, verificou-se que o pH das soluções eram muito baixas, sendo que na concentração de 5% o pH era de 0,35; na concentração de 20%, o pH era de 0,18; na concentração de 50% o pH era

ZERO. Segundo PRISZKULNIK (2011) Com a diminuição do pH os compostos do cimento decompõem-se em precipitados sem propriedades ligantes num mecanismo denominado descalcificação.

Na solução a 20% de ácido sulfúrico, o ataque foi significativo, onde ocorreu a maior perda de resistência à compressão e alta expansividade da pasta de cimento. NEVILLE (1997) ensina que o ataque de ácido sulfúrico além de causar desagregação e fissuração, causa perda de resistência mecânica decorrente da falta de coesão entre a pasta de cimento e as partículas do agregado.

De acordo com METHA & MONTEIRO (1994), os ácidos minerais com o ácido sulfúrico (H_2SO_4) é um dos mais agressivos ao concreto, pois forma sais de cálcio solúveis que então são lixiviados. Esse processo aumenta a porosidade e a perda de resistência do concreto.

No gráfico 4.8, podemos visualizar melhor a evolução dos revestimentos de proteção na solução de 20%, verificou-se que a maior queda de resistência foi de até 71% (revestimento polimérico flexível) e a menor queda de resistência foi de 3% (revestimento poliuretano), quando comparado com a resistência de referência não imersa.



Gráfico 4.8. Variação da resistência à compressão dos corpos-de-prova na solução à 20%

Segundo METHA & MONTEIRO (1994), qualquer meio com pH menor que 12,5 pode ser considerado agressivo ao concreto pois a redução do pH compromete a estabilidade dos fluídos nos poros. Entretanto, a velocidade do ataque químico ao concreto está relacionada com a superfície exposta e sua permeabilidade, que possibilita o acesso de elemento agressivo, além do pH e da concentração do líquido agressivo.

Verificou-se que os produtos base epóxi e base poliuretano resistiram ao meio agressivo como também mantiveram a integridade do concreto.

Estes dois produtos apresentaram bons resultados nas três soluções, porém, verificou-se que as arestas são pontos vulneráveis. A grande maioria das arestas apresentou uma película muito fina em ambos os produtos, e ao final dos 28 dias de imersão na solução, verificamos vários pontos das arestas abertas, conforme figura 4.1, locais por onde houve contato do concreto do CP com a solução. Fatos estes que não afetaram nos resultados dos ensaios, mas, que merecerão mais atenção para os próximos.



(a) (b)
Figura 4.1. As arestas dos CP's apresentam áreas vulneráveis

Analisando a tabela de Resumo Geral dos Produtos, verificamos que os CP's imersos na solução a 50% de ácido sulfúrico não mostraram um suposto agravamento, no tocante à sua resistência, com relação às concentrações menores. Inicialmente, imaginamos que quanto maior a concentração de ácido sulfúrico e menor o pH da solução, pior seriam as condições impostas às amostras de maneira que a agressividade seria aumentada.

A suposição se mostrou equivocada, como foi possível constatar por este experimento. Visto que a pior queda de resistência foi de 19% (revestimento mineral), e nesta solução a 50% não houve uma menor queda, verificou-se que em dois produtos (revestimento epóxi e revestimento poliuretano), houve "ganho de resistência", muito provavelmente atribuídos a boas condições do revestimento e confinamento do concreto nos CP's, se comparado à resistência de referência não imersa, conforme gráfico 4.9.

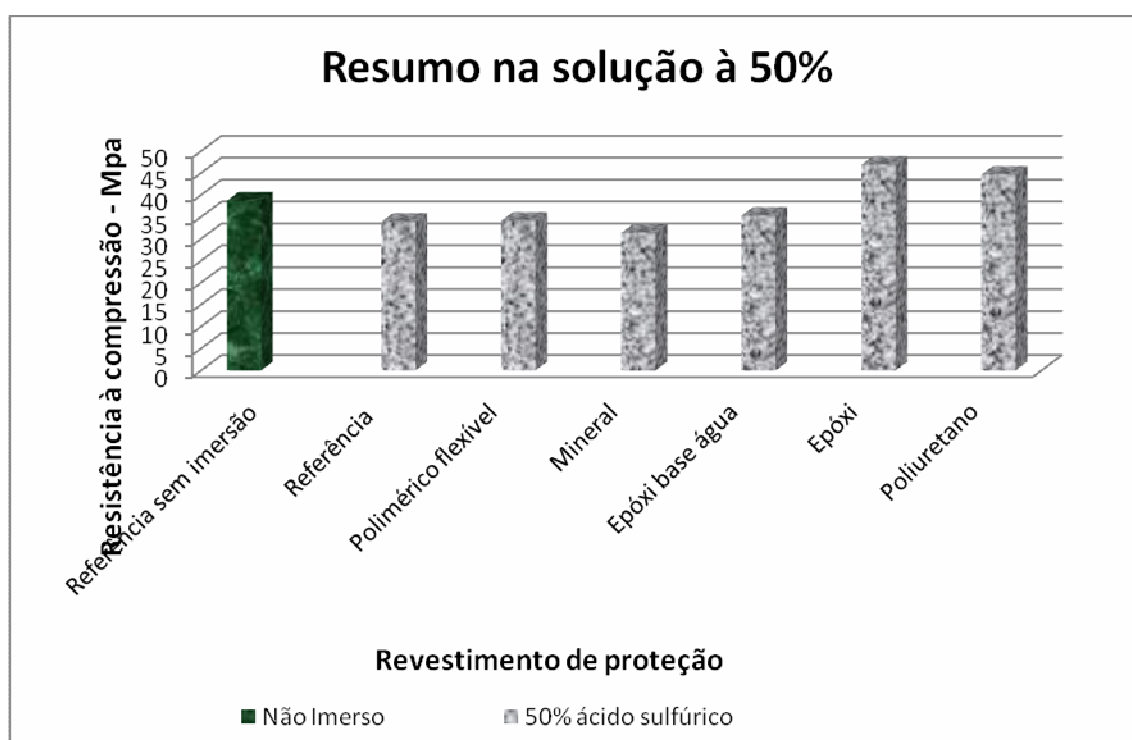


Gráfico 4.9. Variação da resistência à compressão dos corpos-de-prova na solução à 50%

Este capítulo apresentou os resultados do programa experimental e análise de cinco tipos de revestimentos de frente ao ataque do ácido sulfúrico, buscando verificar a eficiência de cada um deles para este agressor específico. No próximo capítulo serão apresentadas as considerações finais do trabalho e algumas sugestões para novas pesquisas e trabalhos futuros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No presente capítulo serão expostas algumas considerações finais que a realização do programa experimental nos proporcionou, além de sugestões para futuros trabalhos, como, por exemplo, o aperfeiçoamento deste.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos propostos no início deste trabalho foram atingidos, na medida em que este se resumia na avaliação de diversos tipos de revestimentos de proteção de estruturas de concreto frente ao ataque de ácido sulfúrico.

Além disso, pode-se observar que:

- a) Os materiais aplicados com base em resina epóxi isentam de solvente e poliuretanos modificados apresentaram melhor desempenho quanto ao ataque de ácido sulfúrico independente da sua concentração;
- b) Os materiais de base cimentícios apresentaram baixa resistência ao ataque do ácido devido ao forte ataque da pasta de cimento, o ataque ocorre nesses tipos de materiais, pois o ácido sulfúrico precisa da água para a sua hidratação;
- c) O material de base epoxídica a base de água, aberto a difusão de vapores apresentou bolhas com descolamento do revestimento, em todas as três concentrações, e especificamente na solução de 50% verificamos rompimento dessas bolhas.
- d) Nos revestimentos de base epóxi e poliuretano ocorreu apenas a alteração da pigmentação na concentração mais alta, como se tratam de materiais com matriz fechada não foi possível ocorrer à

troca da água com o ácido sulfúrico, portanto a pasta de cimento ficou totalmente protegida e a estrutura sendo preservada;

- e) Na concentração de 20% observou-se que o ataque aos revestimentos foi mais agressivo do que a solução de 5% e 50%, esse fenômeno ocorre devido à ação do ácido em relação à água da composição dos materiais impermeabilizantes e do concreto, conforme citado anteriormente o processo ocorre com a ação da água, como se trata de uma concentração maior é possível reagir com os componentes do ácido e atacar a estrutura de concreto. Para a concentração de 50% foi possível observar um ataque menor, pois não existe água o suficiente nos elementos para que possa reagir com o ácido e ainda atacar o concreto, logo o contato com o ácido promove a desidratação dos elementos e um ataque não menos intenso do que foi possível verificar na concentração de ácido sulfúrico a 20%;
- f) Os revestimentos de base epóxi e poliuretano, na maioria dos casos, impuseram um aumento de resistência aos CP's. Contudo, este aumento não induz necessariamente a um ganho de resistência auferido ao concreto em si, mas apenas denota uma distorção provocada pelo revestimento na superfície do corpo de prova (confinamento, fechamento de poros, aumenta de rigidez superficial etc);
- g) Todos os produtos tipo pintura apresentaram uma deficiência de aplicação nas arestas, pois nestes pontos houve a maior efetividade do ataque do ácido sulfúrico. A causa é a dificuldade de se obter uma camada protetora homogênea nas arestas.

O experimento permite concluir que produto à base de resina epóxi isenta de solvente e poliuretanos modificados possuem melhor desempenho

quando aplicados em estruturas expostas a substâncias de baixo pH. Importante notar, também que concentrações próximas de 20% são mais agressivas que as mais altas. Por fim, importante notar também a importância do acabamento no tratamento que consiste em formação de uma manta aderida à superfície, na medida em que qualquer falha tem potencial de arrancar todo o revestimento.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de se aperfeiçoar o programa experimental apresentado nesse trabalho, sugere-se para trabalhos futuros:

- a) Verificar o processo químico que ocorre frente às diferentes concentrações de ácido sulfúrico e o ataque à pasta de cimento;
- b) Verificar o processo químico que ocorre frente às diferentes concentrações de ácido sulfúrico e a alteração do pigmento dos revestimentos base epóxi e base poliuretano;
- c) Estudar o grau de eficiência da aplicação de revestimentos de proteção em estruturas já contaminadas com efluentes químicos;
- d) Pesquisar produtos que desempenhem a função de revestir e proteger as estrutura hidráulicas para fins de reservação de efluentes agressivos, e que possa ser aplicados em áreas com pressão negativa. Normalmente estruturas de ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) são todas enterradas, e topograficamente estão localizadas em áreas de várzeas e ao lado de rios. Áreas como estas apresentam o nível do lençol freático muito alto.

O presente trabalho deixou claro que ainda há diversas questões a serem devidamente respondidas e aperfeiçoadas no campo da tecnologia dos materiais, além de existirem diversas demandas ainda não contempladas por estes

estudos. Urge, portanto, que se voltem esforços para o combate destes problemas e situações de maneira a se conseguir melhorias consideráveis que se reflitam no bem estar da população, bem como na manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado por meio de estruturas mais bem integradas com a natureza.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

THOMAZ, E..**Fissuração – 116 casos reais**. Rio de Janeiro: V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 2003.

GAIER, A. C. **Análise do desempenho de materiais de reparo industrializados para estrutura de concreto frente ao ataque ácido**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 2008.

THOMAZ, E. C. S.; CARNEIRO, L. A. V. **Estruturas de Reservatórios: conceitos de fissuração e sugestão para execução**. São Paulo: Revista Concreto& Construção, 2007.

SHIRAKAWA, M. A. **Estudo da Biodeterioração do Concreto**. São Paulo: 1994.

CAVALLI, A. F.; DOTAF, T. S. **Avaliação da degradação do concreto devido à contaminação das águas por esgoto doméstico**. Curitiba: Universidade Tuiuti do Paraná, 2008.

HELENE, P.; REPETTE W.L. **Proteção do Concreto – Uma necessidade em Indústria de Celulose e Papel**. São Paulo: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 1998.

MOREIRA, H. S. P; **Ação de alguns agentes agressivos sobre concretos amassados com diferentes tipos de cimentos brasileiros**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

POGGIALI, F. S. J.;**Durabilidade em estruturas de concreto em usinas siderúrgicas**. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

VAZ, K: **A História do Concreto Armado**. Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/63656102/Historia-Do-Concreto-Armado>. Acesso em 10/08/2012.

CONCRETO E CONSTRUÇÃO, São Paulo: **IBRACON** 2007. Nº 47, Trimestral.

MARUMBO, J. T, **Difusão de cloretos e ataque por sulfatos e pasta de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Ciência na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear). Prof. Orientador Luis Felipe C. P. de Lima, Doutor. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

TAKAGI E. M, *Et all*. Aspectos Técnicos de Durabilidade dos Revestimentos Minerais Para a Proteção do Concreto de Obras Para Saneamento de Águas e Esgostos. **Concreto e Construção**. Nº 47, julho, agosto e setembro, 2007.