

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CONCRETOS SIMPLES E ARMADO
MODIFICADOS E REVESTIDOS COM RESINAS EPÓXI**

Autor: Agnus Rogerio Rosa

Orientador: Prof. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Co-Orientador: Prof. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco

Belo Horizonte

Maio, 2016

Agnus Rogerio Rosa.

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CONCRETOS SIMPLES E ARMADO
MODIFICADOS E REVESTIDOS COM RESINAS EPÓXI**

Dissertação apresentada a Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Materiais de Construção Civil. Linha de pesquisa: Materiais cimentícios.

Orientador: Prof. Antônio Neves de Carvalho Júnior
Co-Orientador: Prof. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2016

Agnus Rogerio Rosa

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CONCRETOS SIMPLES E ARMADO
MODIFICADOS E REVESTIDOS COM RESINAS EPÓXI**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 12 maio 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
Orientador - (UFMG/DEMC)

Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco
Co-Orientador (UFMG/DEMC)

Prof^a. Dr^a. Carmen Couto Riberio
(UFMG/DEMC)

Prof^a. Dr^a. Patrícia Santiago Oliveira Patrício
(CEFET-MG)

Dedico este trabalho a;
Minha esposa Valéria Lage
Minha filha Sofia Clara Lage Rosa
Ao meu filho Victor Henrique Lage Rosa
Que me incentivaram e me apoiaram durante toda a caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Grande Arquiteto do Universo que me permitiu realizar o sonho de tornar-me um pesquisador, algo que sempre desejei.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior e Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco, que foram muito mais que orientadores, tornaram-se meus amigos e fizeram com este trabalho fosse extremamente prazeroso.

Ao Prof. Dr. Eduardo Chahud pelas dicas e incentivo para escrever os artigos acadêmicos para publicação, o que acabei gostando muito de fazer.

Ao Prof. Dr. White José dos Santos, pela ajuda nas análises estatísticas.

Ao Prof. Dr. Ayrton Vianna Costa pela ajuda na preparação das amostras para análise no Centro de Microscopia.

Ao Prof. Dr. Paulo Brandão pela ajuda no acesso ao Centro de Microscopia.

A diretoria da FEA. FUMEC na pessoa do Prof. Luiz de Lacerda Júnior pelo acesso ao LESC Laboratório de Ensaios de Sistemas Construtivos, para realização de ensaios.

A PROCEQ na pessoa do Eng. Rodrigo Duarte pela ajuda e execução dos ensaios de resistividade e potencial de corrosão das armaduras no do concreto.

Ao Ricardo Barbosa do Laboratório do DEMC pela grande ajuda na confecção dos corpos e generosidade com conhecimento.

Ao Luciano Moreira, do LESC Laboratório de Ensaios de Sistemas Construtivos FEA. FUMEC pela ajuda na realização dos ensaios.

Ao Colegiado e demais professores e funcionários do DEMC.

Ao Centro de Microscopia Eletrônica da UFMG.

Ainda agradecimento especial ao meu Co-Orientador Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco, que me incentivou a participar do ISBP 2015 na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Portugal, que nos rendeu bons frutos e amigos também por lá.

E a todas as pessoas que de alguma forma direta ou indireta contribuíram para que este trabalho fosse possível.

Muito obrigado!

RESUMO

Durante o processo de hidratação e endurecimento do concreto convencional formam-se vazios entre os grãos do agregado e a matriz cimentícia estes vazios ou poros permitem a penetração de água e de agentes patológicos que podem danificar a estrutura do concreto. O uso de aglutinantes poliméricos, como no caso do epóxi Bisfenol F, permite que os poros sejam preenchidos com a resina, que formará uma película tornando o concreto menos permeável melhorando seu desempenho e impedindo a penetração de agentes patológicos. Objetivo deste trabalho foi demonstrar, através de ensaios específicos que a adição da resina modificou o concreto tornando-o com menos poroso mais resistente à perda de massa frente ao ataque da solução ácida, com maior resistividade e menor eletronegatividade do potencial de corrosão quando comparado com o concreto de referência. Ficou demonstrado que a adição da resina epóxi melhorou a qualidade do concreto quanto à resistência de ataque ácido e penetração e de cloretos. A efetividade do revestimento epoxídico com a tinta novolac também melhorou frente ao ataque da solução ácida, o concreto foi protegido eficientemente sem apresentar falha no filme.

Palavras chaves: Concreto com polímeros, resina epóxi novolac, tintas epóxi novolac, potencial de corrosão das armaduras no concreto, resistividade do concreto, ataque por cloretos.

ABSTRACT

During the hydration and hardening process of the conventional concrete, voids between the grains of the aggregate and cementitious matrix are formed. Such voids or pores allow penetration of water and aggressive agents that could damage the concrete structure. Polymeric binders, such as Bisphenol F epoxy, allows the pores are filled with the resin that will form a film making the concrete less permeable improving their performance and preventing the penetration of pathogens. This work demonstrated by specific tests that the addition of epoxy resin modified concrete, it becoming less porous and with lower loss weight against the attack from the acid solution. The concrete is more resistive and got less corrosion potential of the steel in concrete when compared to a reference concrete. It has been shown that the addition of epoxy resin improved the quality of concrete as resistance to acid attack and penetration and chlorides, It was also demonstrated the effectiveness of the novolac epoxy coating, facing the attacks of the acid solution, that protected the concrete completely without presenting any film failure.

Key-words:

Polymers Concrete, novolac epoxy resin, epoxy coatings, concrete half-cell potential measurement, concrete resistivity measurement, corrosion of Steel in concrete, chloride attack.

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS	xviii
LISTA DE SÍMBOLOS	xx

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
2.1 Objetivo Geral	2
2.2 Objetivos Específicos	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 Durabilidade e Patologias do Concreto	3
3.2 Epóxi	5
3.2.1 Tinta epóxi	11
3.3 Íons Cloretos	12
3.4 Ensaios não Destrutivos	24
3.4.1 Ultrassom	24
3.4.2 Porosidade do concreto	30
3.4.3 Ensaio de potencial corrosivo das armaduras	36
3.4.4 Ensaio de resistividade do concreto	41
4. METODOLOGIA	48
4.1 Introdução	48
4.2 Seleção dos Materiais	49
4.2.1 Areia	49
4.2.2 Brita	51
4.2.3 Cimento Portland CPIIF32	52
4.2.4 Resina epóxi	52
4.2.5 Tinta epóxi novolac	54
4.2.6 Massa epóxi	54
4.2.7 Barra de aço CA50	55
4.2.8 Ácido clorídrico PA37%	55
4.3 Determinação do Traço Inicial	56
4.4 Determinação da Solução Ácida de Ataque	62

4.4.1 Cálculo do pH inicial da solução ácida de ataque	63
4.5 Determinação Da Quantidade De Corpos De Prova	64
4.6 Confeção Dos Corpos de Prova	65
4.6.1 Confeção dos corpos de prova concretos referência e pintados	66
4.6.2 Confeção dos corpos de prova concreto com resina	68
4.7 Desmoldagem Dos Corpos De Prova	72
4.8 Preparação dos Corpos de Prova Para Pintura	73
4.9 Ataque dos Corpos de Prova Com Solução Ácida	78
4.10 Retirada de Amostras Para Ensaios	80
5. RESULTADOS E ANÁLISES	81
5.1 Ensaios Iniciais	81
5.1.1 Ensaios iniciais de pulso ultrassônico.....	83
5.1.2 Ensaios iniciais de porosidade	84
5.2 Ensaios Finais dos Corpos de prova.....	86
5.2.1 Ensaios de pulso ultrassônico.....	86
5.2.2 Ensaios de porosidade índice de vazios e perda de massa	87
5.2.2.1 Ensaios de porosidade e índice de vazios	87
5.2.2.2 Ensaios de perda de massa	91
5.2.3. Ensaios de resistividade e potencial corrosivo das armaduras.....	94
5.2.3.1 Ensaios de resistividade e potencial corrosivo das armaduras 30 dias de ataque.....	94
5.2.3.2 Ensaios de resistividade e potencial corrosivo das armaduras 90 dias de ataque.....	103
5.2.3.3 Ensaios de resistividade e potencial corrosivo das armaduras 150 dias de ataque.....	116
6. CONCLUSÕES.....	134
7. SUGESTOES PARA TRABALHOS POSTERIORES	138
8. BIBLIOGRAFIA.....	139
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140
10. ANEXOS.....	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.2.1 - Grupos epóxis simples.....	6
Figura 3.2.2 – Estrutura química do glicidil usado como referência do grupo epóxi terminal. Fonte: Augustsson et al 2004.....	6
Figura 3.2.3 – Estrutura química DGBA antes de ser catalisada.....	7
Figura 3.2.4 - Resinas epóxis à base de Bisfenol F ou Novolac. A troca do Bisfenol A pelo Bisfenol F propicia às resinas maior grau de reticulação. Fonte : Augustsson <i>et al</i> 2004	8
Figura 3.3.1 - Fotografia corpos de prova de concreto deteriorados após 12 semanas	13
Figura 3.3.2 - Estrutura atacada por cloretos, apresentando alta concentração...	14
Figura 3.3.3 Esquema mostrando o processo de formação de célula eletroquímica.	19
Figura 3.3.4 - Delaminação do concreto devido	20
Figura 3.3.5 Corrosão do aço por pitting.	20
Figura 3.3.6 - Influência da relação A/C na capacidade do concreto resistir a difusão de íons cloretos. Fonte: Adaptado Cement Concrete & Aggregates. Australia 2009.....	22
Figura 3.3.7- Variação da porosidade do concreto em lajes,.....	23
Figura 3.4.1.1 - Relação entre pulso ultrassônico e a resistência	27
Figura 3.4.2.1 - Faixa dimensional de sólidos e poros na pasta de	31
Figura 3.4.2.2 - Representação esquemática das proporções volumétricas	33
Figura 3.4.2.3 - Influência da porosidade capilar sobre a resistência e permeabilidade da pasta de cimento Fonte: Bertolini et al 2004	34
Figura 3.4.3.1 - Esquemático do processo de medição.....	36

Figura 3.4.3.2 - Esquemático do processo de corrosão do	37
Figura 3.4.4.1 - Determinação da resistividade do material.....	42
Figura 3.4.4.2 - Esquemático de medição da resistividade utilizando	43
Figura 3.4.4.3 - Resistividade do concreto confeccionado com cimento comum, concreto de estruturas maduras (idade > 10 anos).	45
Figura 4.2.1.1 - Gráfico de caracterização da areia.....	50
Figura 4.2.2.1 Gráfico de caracterização da brita.....	51
Figura 4.2.3.1 - Caracterização do cimento	52
Figura 4.2.4.1 - Caracterização da resina epóxi.....	53
Figura 4.2.4.2 - Proporções de mistura da resina epóxi	53
Figura 4.2.7.1 - Caracterização do aço CA50 8.0 mm.....	55
Figura 4.3.1 - Série de corpos de prova experimentais,	58
Figura 4.3.2 - Slump teste (75 mm) do traço do concreto.....	61
Figura 4.3.3 Slump teste (62 mm) do traço concreto.....	61
Figura 4.5.1 - Forma plástica com identificação dos	65
Figura 4.6.1 - Ancoragem das barras de aço	66
Figura 4.6.1.1 - Moldagem dos corpos de prova concreto	67
Figura 4.6.1.2 - Moldagem dos corpos de prova concreto	68
Figura 4.6.2.1 - Mistura da resina epóxi e do	69
Figura 4.6.2.2 - Resina já preparada aguardando.....	69
Figura 4.6.2.3 - Mistura da resina ao concreto	70
Figura 4.6.2.4 - Mistura da resina ao concreto	70
Figura 4.6.2.5 - Moldagem dos corpos de prova armados.	71
Figura 4.6.2.6 - Formas tampadas após moldagem final.	71
Figura 4.6.2.7 - Corpos de prova após 3 dias de cura	72

Figura 4.7.1 - Corpos de prova retificados e identificados.....	73
Figura 4.8.1. - Acabamentos de quinas vivas para evitar fuga de borda.	74
Figura 4.8.2 – Aplicação do Selador Epóxi e medição da	75
Figura 4.8.3 – Aplicação do selador epóxi dos corpos já pintados.	75
Figura 4.8.4 – Aplicação da primeira demão da pintura epóxi	76
Figura 4.8.5 - Primeira demão epóxi novolac, medição da.....	76
Figura 4.8.6 - Corpos de prova com pintura final	77
Figura 4.8.7 - Corpos de prova separados por série, prontos para	77
Figura 4.9.1 - Preparação da solução de ácida de ataque.	78
Figura 4.9.2 - Corpos de prova já colocados na solução.....	79
Figura 4.9.3 - Detalhe do sistema de identificação dos corpos	79
Figura 5.1.1 – Gráfico de comparação da variação das massas dos	82
Figura 5.2.2.2.1 - Gráfico de perda massa corpos de prova concreto referência.	93
Figura 5.2.2.2.2 - Gráfico de perda de massa corpos de prova concreto com resina.....	93
Figura 5.2.2.2.3 - Gráfico de ganho de massa corpos de prova referência pintado.	93
Figura 5.2.3.1.1. - Resistividade corpo de prova pintado armado 9 controle.	95
Figura 5.2.3.1.2 Potencial de corrosão corpo de prova pintado armado 9 controle.	95
Figura 5.2.3.1.3 Resistividade corpo de prova Referência 7 armado - controle...	96
Figura 5.2.3.1.4 - Potencial de corrosão corpo de prova.....	96
Figura 5.2.3.1.5 - Resistividade corpo prova resina armado 11 controle.	98
Figura 5.2.3.1.6 - Potencial de corrosão corpo de prova resina armado 11 controle.	98

Figura 5.2.3.1.7 - Preparação dos corpos de prova para o ensaio	99
Figura 5.2.3.1.8- Execução do ensaio de potencial de corrosão:	99
Figura 5.2.3.1.9 - Resistividade corpo de prova referência armado 10	100
Figura 5.2.3.1.10 - Potencial de corrosão referência armado 10	100
Figura 5.2.3.1.11 Execução do ensaio de resistividade.	101
Figura 5.2.3.1.12 - Resistividade corpo de prova resina armado 8.....	102
Figura 5.2.3.1.13 - Potencial de corrosão corpo de prova resina armado 8	102
Figura 5.2.3.2.1 - Resistividade corpo de prova pintado armado 6	104
Figura 5.2.3.2.2 - Potencial de corrosão corpo de prova pintado armado 6	104
Figura 5.2.3.2.3 - Fragmento do corpo de prova pintado armado 6	105
Figura 5.2.3.2.4 - Corpo de prova pintado armado 6. Interface	105
Figura 5.2.3.2.5 - Resistividade corpo de prova referência armado 3	106
Figura 5.2.3.2.6 - Potencial de corrosão corpo de prova referência armado 3 .	106
Figura 5.2.3.2.7 - Resistividade corpo de prova resina armado 4	108
Figura 5.2.3.2.8 - Potencial de corrosão corpo de prova resina armado 4	108
Figura 5.2.3.2.9 - Corpos de prova atacados 90 dias.	110
Figura 5.2.3.2.10 - Corpos de prova atacados 90 dias.	110
Figura 5.2.3.2.11 - Corpo de prova referência armado 5.....	111
Figura 5.2.3.2.12 - Corpo e prova referência armado 5.....	112
Figura 5.2.3.2.13 - Corpo de prova referência armado 5.....	113
Figura 5.2.3.2.14 - Corpo de prova resina armado 5.....	114
Figura 5.2.3.2.15 - Corpo de prova resina armado 5.....	115
Figura 5.2.3.2.16 - Corpo de prova resina armado 5.....	115
Figura 5.2.3.3.1 Resistividade Corpo de prova pintado armado 7.	116
Figura 5.2.3.3.2 Potencial de corrosão corpo de prova pintado armado 7.....	116

Figura 5.2.3.3.3 - Resistividade corpo de prova referência armado 9	117
Figura 5.2.3.3.4 - Potencial de corrosão corpo de prova referência armado 9 ..	118
Figura 5.2.3.3.5 - Resistividade corpo de prova referência armado 1	118
Figura 5.2.3.3.6 - Potencial de corrosão corpo de prova referência armado 1 ..	119
Figura 5.2.3.3.7 - Resistividade corpo de prova resina armado 9	120
Figura 5.2.3.3.8 - Potencial de corrosão corpo de prova resina armado 9	120
Figura 5.2.3.3.9 - Resistividade corpo de prova resina armado 10	121
Figura 5.2.3.3.10 - Potencial de corrosão corpo de prova resina armado 10	121
95 Figura 5.2.3.3.11 corpos de prova atacados 150 dias.	123
Figura 5.2.3.3.12 - Fotografia dos corpos de prova.....	123
Figura 5.2.3.3.13 - Aço das armaduras dos corpos de prova.	124
Figura 5.2.3.3.14- Seção do aço da armadura.	125
Figura 5.2.3.3.15- Interface aço com concreto	125
Figura 5.2.3.3.16 - Fragmento do corpo de prova pintado armado 4,.....	126
Figura - 5.2.3.3.17 - Armadura retirada do corpo de prova referência	127
Figura- 5.2.3.3.18- Seção da armadura do corpo de prova referência	127
Figura 5.2.3.3.19 - Interface do concreto com aço da armadura. Rede poros interconectados, corpo de prova referência armado 8. Atacado 150 dias	128
Figura 5.2.3.3.20 - Corro são por pitting instalada na superfície do aço.....	129
Figura 5.2.3.3.21 Corrosão por pitting instalada na superfície do aço.	129
Figura 5.2.3.3.22 - Corpo de prova resina armado 6	131
Figura 5.2.3.3.23 - Corpo de prova resina armado 6	131
Figura 5.2.3.3.24 - Aço da armadura do corpo de prova resina armado 6	132
Figura 5.2.3.3.25 - Corrosão por pitting. Corpo de prova resina armado 6	133
Figura 5.2.3.3.26 - Corrosão por pitting Corpo de prova resina armado 6.....	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.3.1 Influência da cura na absorção de água de vários tipos de concreto. Fonte: Adaptado da Tabela 3.1 Khatri et al 1998	23
Tabela 3.4.1.1 - Classificação da qualidade CP do	26
Tabela 3.4.1.2- Correlação entre temperatura e velocidade do pulso.	29
Tabela 3.4.1.3 - Efeito das dimensões na velocidade de transmissão	30
Tabela 3.4.2.1 - Tempos de cura para atingir grau de hidratação e diminuição ...	35
Tabela 3.4.3.1 - Probabilidade de condição de corrosão relacionada	41
Tabela 4.2.1.1 Caracterização da areia –	50
Tabela 4.2.2.1 Caracterização da brita. Granulometria	51
Tabela 4.3.1 - Traço sugerido para argamassa estrutural ECC	56
Tabela 4.3.2 - Características da argamassa estrutural ECC.....	56
Tabela 4.3.3 - Traço experimental 1	57
Tabela 4.3.4 - Peso dos corpos de prova do traço experimental 1	58
Tabela 4.3.5 - Traços experimentais: resistência à compressão axial.....	60
Tabela 4.3.6 Traço experimental 3 concreto referência	60
Tabela 4.3.7 - Traço experimental 3 concreto modificado com resina.....	60
Tabela 5.1.1 - Massa inicial dos corpos de prova. Fonte: Autor 2014	81
Tabela 5.1.2 - Volume inicial dos corpos de prova após retífica.....	82
Tabela 5.1.1.1. - Ensaio iniciais de ultrassom.	83
Tabela 5.1.2.1 Secagem dos corpos de prova em estufa a 105°C.....	84
Tabela 5.1.2.2 - Saturação dos corpos de prova.....	85
Tabela 5.1.2.3 - Água absorvida e índice de vazios.	85
Tabela 5.1.2.4 - Massas específicas secas e saturadas.	85

Tabela 5.2.1 - Velocidade do pulso ultrassônico após ataque 150 dias	87
Tabela 5.2.2.1.1 - Secagem dos corpos de prova em estufa	88
Tabela 5.2.2.1.2 - Saturação dos corpos de prova.....	89
Tabela 5.2.2.1.3 - Água absorvida e índices de vazios	90
Tabela 5.2.2.1.4 - Massas específicas seca e saturada.....	90
Tabela 5.2.2.2.1- Perda de massa peso em gramas.....	92

LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS.

A/C = Relação Água /Cimento

ABNT = Associação Brasileira De Normas Técnicas

ACI = American Concrete Institute

ASTM = American Society for Testing and Material

cm = Centímetro

CSE = Cooper Sulfate Electrode

DEMC = Depto de Engenharia de Materiais e Construção - EEUFMG

DGEBA = Diglicidil Éter de Bisfenol A

DTA = Dietileno Triamina

ECC = Epoxy Cement Concrete

EDA = Etileno Diamina

EEW = Equivalent Epoxy Weight

END = Ensaio Não Destrutivos

g = grama

GHZ = Giga Hertz

IAEA = International Atomic Energy Agency

IBRACON = Instituto Brasileiro do Concreto

ICRI = International Concrete Repair Institute

IPDA = Isoforona Diamina

ISO = International Organization for Standardization

Kg = Quilograma

KHz= Quilo Hertz

Km = Quilômetro

KΩcm = Quilo Ohms Centímetro

m = Metro

m³ = Metro Cúbico

MPa = Mega Pascal

mV = Milivolt

NACE = National Association of Corrosion Engineers.

NBR = Norma Brasileira Registrada

PA = Pureza Analítica

PC = Polymer Concrete

pH = Potencial De Hidrogênio

RILEM = Reunion Internationale Des Laboratoires Et Experts Des Materiaux
Systemes De Conctruction Et Ouvrages

s = Segundo

SSPC = Steel Structures Painting Council

TETA = Trietileno Tetramina

V = Volt

VOC = Compostos Orgânicos Voláteis

LISTA DE SÍMBOLOS

Al_2O_3 = Óxido de alumínio

C = Óxido de cálcio

C2S = Silicato dicálcico

C3A = Aluminato tricálcico

C3S = Silicato tricálcico

C4AF = Ferroaluminato tetracálcico

Ca = Cálcio

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ = Hidróxido de cálcio

Ca_3SiO_5 = Silicato tricálcico

CaCl = Cloreto de Cálcio

CaO = Óxido de cálcio

Cl^- = Cloro

CO_2 = Dióxido de carbono

C-S-H = Silicato de cálcio hidratado

CuSO_4 = Sulfato de Cobre

$\text{Fe}(\text{OH})_2$ = Hidróxido de Ferro

Fe_2O_3 = Óxido Férrico

FeCl_2 = Cloreto Férrico

H = Hidrogênio

H_2O = Água

O_2 = Oxigênio

OH = Hidroxila

S = Dióxido de silício

Si = Silício

$\text{Si}(\text{OH})_4$ = Ácido Silícico

SiO_2 = Dióxido de silício

SO_3 = Óxido sulfúrico

μ = Mili

ρ = Densidade (em ultrassom)

ρ = Resistividade (Ohms em resistividade do concreto)

1. INTRODUÇÃO

A palavra Epóxi tem origem no Grego “EP” (sobre, entre) e no Inglês “OXI” (oxigênio), literalmente significando oxigênio entre carbonos. Em sentido geral o termo refere-se a uma cadeia constituída de um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono. As resinas epóxis são derivados do petróleo e quando são utilizadas como aglomerante apresentam boa resistência química principalmente aos meios ácidos e também tem características flexíveis ,algo que o concreto convencional não possui. As resinas epoxídicas à base de Bisfenol F e/ou Novolac apresentam melhor desempenho químico, mecânico e térmico, principalmente quando curadas com aminas aromáticas ou anidridos.

O concreto modificado com resina epóxi é um novo produto cujo material aglomerante deste concreto é formado por duas matrizes ativas, o cimento Portland e uma dispersão polimérica (epóxi Bisfenol F) em água.

Durante o processo de hidratação e endurecimento do concreto convencional formam-se vazios entre os grãos do agregado e a matriz cimentícia estes vazios ou poros permitem a penetração de água e de agentes patológicos que podem danificar a estrutura do concreto. O uso de aglutinantes poliméricos como no caso do epóxi Bisfenol F, irá permitir que os poros sejam preenchidos com a resina , tornando o concreto menos permeável melhorando seu desempenho e impedindo a penetração de agentes patológicos. As vantagens do concreto modificado com resina epóxi são inúmeras, entretanto este concreto requer cuidados especiais tanto na sua confecção quanto em sua cura que é muito rápida. Assim sendo o uso da resina como o epóxi, poderá contribuir na confecção e concretos especiais que visem mostrar características de durabilidade frente a ataques de agentes patogênicos como cloretos, sulfatos e ácidos.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do projeto de pesquisa foi estudar o comportamento dos concretos modificados com resina epóxi, tratados com proteção externa com tintas epoxídicas, submetidos a condições extremas de ataque por íons cloretos.

2.2 Objetivos Específicos

- Fazer estudo de dosagem de um concreto objetivando a resistência química, baixa permeabilidade e porosidade.
- Fazer avaliação da proteção externa oferecida pelas tintas epóxi frente ao ataque por solução acida.
- Avaliar as características como densidade, perda de massa, nível de degradação, permeabilidade, resistividade elétrica e potencial de corrosão das armaduras.
- Avaliar a resistência mecânica do concreto, a partir de ensaios de compressão, para fins de registro e comparação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Durabilidade e Patologias do Concreto

O concreto é um material compósito feito de agregados e do produto da reação do cimento e água em uma mistura (pasta). A estrutura e a composição da pasta de cimento é que determina a durabilidade e o desempenho em longo prazo do concreto. O concreto é normalmente reforçado com barras de aço para lhe conferir resistência à tração. O aço embutido no concreto é protegido devido ao ambiente alcalino. A proteção contra vários tipos de degradação que concreto fornece ao aço embutido, também depende da sua estrutura, tipos de agregados, relação água cimento e espessura do recobrimento. (BERTOLINI et al 2004)¹.

Neville e Brooks (2013)¹ afirmam que normalmente a resistência à compressão do concreto é considerada a mais importante propriedade, porém em situações práticas outras características como a durabilidade e impermeabilidade podem ser tão importantes quanto a resistência do concreto à compressão.

Ao longo de milênios o concreto preparado pelos romanos usando cal, pozolanas e agregados, sobreviveu a todos os intemperismos dando prova de sua durabilidade. Obras de concreto tais como Panteão em Roma, datadas de 125 antes de Cristo e também outras estruturas em ambientes marítimos sobreviveram a mais de 2 mil anos, dando-nos demonstração de que o concreto pode ser tão duradouro quanto a pedra natural, desde que não sejam submetidos a causas de degradação tais como; ácidos, sulfatos, cloretos, ciclos de gelo e degelo e que também que não sejam confeccionados com agregados reativos. (BERTOLINI et al 2004)².

Metha e Monteiro(2014)¹, afirmam que durante muito tempo os projetista de concreto tiveram com o principal preocupação a resistência característica do concreto à compressão, mas mais recentemente passou-se a considerar também a durabilidade das estruturas de concreto como característica extremamente importante, pois um concreto bem dosado, lançado, adensado e curado, pode ser

durável para a maioria dos ambientes naturais e industriais. Os efeitos físicos que influenciam negativamente a durabilidade do concreto incluem, por exemplo; desgaste da superfície, fissuras, trincas, retrações, ciclos de gelo e degelo. As causas químicas incluem; lixiviação da pasta de cimento por soluções ácidas, reações de expansão envolvendo sulfatos, ataque de cloretos reações álcali agregados e corrosão do aço embutido no concreto.

De acordo com Bertolini *et al.* (2004)³, graças ao progresso alcançado nas últimas décadas na química do cimento e na tecnologia do concreto, estas causas de deterioração podem ser minimizadas e mesmo controladas de forma eficaz, fazendo-se seleção adequado dos materiais e dosagem correta do concreto. Até o início dos anos 1970, supunha-se que o concreto armado seria uma estrutura eterna ou quase eterna, mas verificou-se posteriormente que o concreto armado teria sua vida útil limitada devido à corrosão das armaduras. Se um concreto fosse bem dosado, lançado, adensado e curado de acordo com as normas existentes, este seria capaz de fornecer proteção adequada ao aço incorporado, por mais de 50 anos, quando considerado para a maioria das estruturas em condições ambientais normais. No entanto para condições de alta agressividade, principalmente em presença de cloretos, mesmo que o concreto tenha seguido todas as boas práticas, já descritas, este pode apresentar falhas de proteção que permitirão a corrosão das armaduras muito antes de 50 anos.

De fato Bertolini *et al.* (2004)⁴ afirmam o problema da corrosão das armaduras no concreto somente passou a ser investigado e considerado como um problema sério a partir de 1980, quando os principais aspectos fisiológicos relacionados com o comportamento do aço no concreto, tais como porosidade, natureza da água nos poros do concreto endurecido, comportamento eletroquímico do aço embutido no concreto, passaram a ser estabelecidos. A partir de então passou-se a analisar o lado patológico, para se explicar a fenomenologia e os mecanismos de corrosão do aço embutido no concreto, estabelecendo assim condições para se desenvolver técnicas de diagnóstico e controle dos mecanismos de deterioração do concreto.

A Norma ABNT NBR 6118 de 2014 definiu assim no capítulo 5 item “5.1.2.3 Durabilidade: Consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto” continuando ainda no capítulo 6 item “6.1 Exigências de durabilidade: As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviços durante o prazo correspondente de sua vida útil.” Também no capítulo 6 a Norma define alguns mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas e descrevendo em seguida alguns destes mecanismo.

3.2 Epóxis

Em 1936, o Dr. Pierre Castan na Suíça, produziu uma resina de baixo ponto de amolecimento, com cor âmbar, a qual foi reagida com anidrido ftálico para produzir um composto termofixo. Dr. Castan trabalhando para "De Trey Freres" da Suíça, previu o uso das resinas líquidas para a fabricação de dentaduras e artigos moldados. Os seus desenvolvimentos foram subseqüentemente patenteados pela Ciba-Geigy. Em 1939, o Dr. S.O. Greenlee, nos EUA, trabalhando para "Devoé-Raynolds" pesquisou a síntese entre o Bisfenol A e Epicloridrina para a produção de resinas para "casting", as quais não continham ligações éster sensíveis à soda caustica. O propósito inicial desta pesquisa era desenvolver um aglomerante para tintas que fosse resistente aos álcalis, mas descobriu-se que o epóxi possuía propriedades muito superiores e mais amplas às inicialmente previstas. Em 1960, Nils Malgren e Curt Augustsson iniciaram a produção de epóxis com agentes endurecedores e a partir de 1967 o uso do epóxi generalizou-se e vários produtos que passaram a ser produzidos com base em agentes endurecedores. (AUGUSTSSON et al. 2004).

O grupo epóxi mais simples é aquele formado por um anel de 03 elementos, o qual o termo a-epóxi ou 1,2-epóxi é aplicado. O óxido de etileno é um exemplo

desse tipo. Os termos 1,3 e 1,4- epóxi são aplicados ao óxido de trimetileno e tetrahidrofurano respectivamente, a Figura 3.2.1 apresenta os monômeros ou compostos epoxídicos básicos.



Figura 3.2.1 - Grupos epóxios simples
 Fonte : Augustsson *et al.* 2004

Não existe nenhum acordo universal sobre a nomenclatura do anel epoxídico existe uma divisão no próprio termo epóxi, os europeus geralmente preferem o termo "EPÓXIDE", o qual é sem menor dúvida o mais correto que "EPOXY" utilizado pelos americanos. Os epóxios podem ser designados óxidos, como no caso do óxido de etileno (epóxietano) ou óxido de ciclohexano (1,2-epóxi ou 1,2-óxido de ciclohexano). O termo oxirano, é um nome trivial para o óxido de etileno, e também usado em referência ao grupo epóxi, muitos dos mais comuns monoepóxi possuem nomes triviais como epicloridrina, ácido glicídico, glicidol e grupo glicidil, apresentado na Figura 3.2.2.

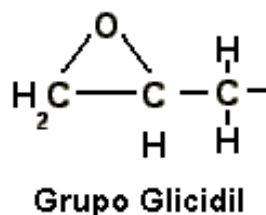


Figura 3.2.2 – Estrutura química do glicidil usado como referência do grupo epóxi terminal. Fonte: Augustsson *et al.* 2004

A primeira resina comercial foi o produto da reação de EPICLORIDRINA com o BISFENOL A, dando assim origem a resina mais comum, conhecida como DIGLICIDIL ÉTER DE BISFENOL A (DGEBA).

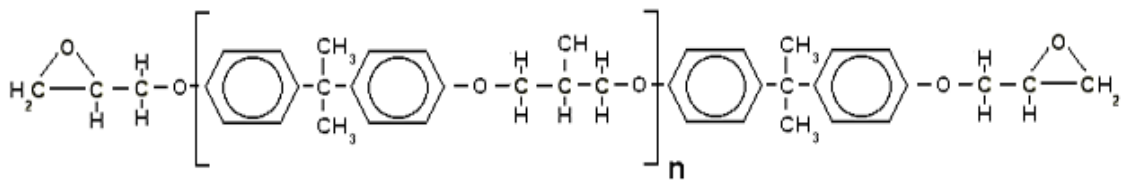


Figura 3.2.3 – Estrutura química DGEBA antes de ser catalisada
 Fonte: Augustsson *et al.* 2004

A estrutura mostrada na Figura 3.2.3 trata-se da resina DGEBA antes de ser catalisada. Dependendo do valor de n , a resina pode ser líquida ou sólida, sendo que a viscosidade aumenta conforme vai aumentando o n . O parâmetro n , indica o grau de polimerização da resina. Com $n \leq 1$ teremos resinas líquidas e $n \geq 1$ começarão as resinas semissólidas e sólidas. As resinas podem ser classificadas através do **EEW** (equivalent epoxy weight) ou seu equivalente em gramas epóxi.

EEW = massa da resina em gramas que depende do n^o de anéis epoxídicos.

As resinas epóxi são preparadas comercialmente por 03 métodos principais:

- a) Pela dehidrohalogenação da cloridrina obtida pela reação da epícloridrina com adequado Di ou Polihidroxi ou qualquer outra molécula contendo hidrogênios ativos.
- b) Pela reação de olefinas com compostos contendo oxigênio, tais como peróxidos e perácidos.

Pela dehidrohalogenação de cloridrinadas obtidas por outros mecanismos diferentes da citada no item “a”. Com um maior grau de reticulação as resinas à base de bisfenol F apresentam melhor desempenho mecânico, químico e térmico, principalmente quando curadas com aminas aromáticas ou anidridos . (AUGUSTSSON *et al* 2004).

A Figura 3.2.4 apresenta a molécula básica do Bisfenol F.

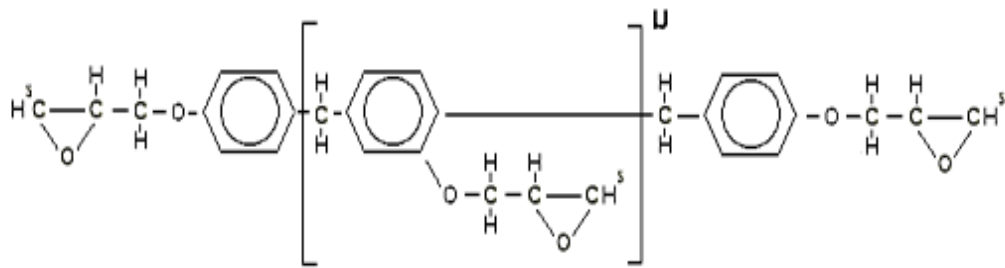


Figura 3.2.4 - Resinas epóxis à base de Bisfenol F ou Novolac. A troca do Bisfenol A pelo Bisfenol F propicia às resinas maior grau de reticulação. Fonte : Augustsson *et al.* 2004

De acordo com ACI Committee 548, (1994) a produção de concreto modificado com resina epóxi não difere de outros concretos modificados com polímeros pois a polimerização só acontece após a resina catalisada ser adicionado ao concreto já misturado. A incorporação da resina epóxi na mistura não requer mudanças significativas no processo de produção do concreto. As vantagens do concreto modificado com epóxi em relação ao concreto convencional incluem o aumento da tensão de flexão, aumento da resistência à tração, aumento da aderência, diminuição da permeabilidade e redução do módulo de elasticidade. Também são ressaltadas as melhorias com relação à segregação, ductilidade retração, penetração de íons cloretos e grande resistência aos ciclos de gelo e degelo.

Conforme Aggarwal *et al* (2007), a indústria das construções requer sempre a utilização de novos materiais com as melhores propriedades e que sejam capazes de satisfazer os novos modelos de utilização das edificações ou ainda para realização de obras de recuperação e reabilitação das mesmas. A aplicação de polímeros em concreto tem progredido de forma significativa nos últimos 30 anos.

Os polímeros são incorporados em uma mistura de cimento agregado ou utilizados como veículo único. Os compósitos obtidos com a utilização polímeros, juntamente com o cimento e os agregados são chamados de argamassa modificada com polímero ou concreto modificado por polímero, enquanto que os compósitos feitos com polímero e agregados são chamados polímeros argamassa ou concreto de polímero, dependendo do tamanho máximo dos agregados.

Para Steinberg (1973) e Tezuka (1988), o concreto de cimento Portland e polímero é uma pré-mistura da pasta de cimento e agregados na qual um monômero é adicionado durante a etapa de mistura. Ou seja, este concreto é um material cujo aglomerante é formado por duas matrizes ativas – cimento Portland e uma dispersão polimérica em água, como o látex SBR ou uma emulsão de éster poli acrílico. Segundo os autores, as propriedades dependem significativamente da compatibilidade entre estes dois produtos.

De acordo com Fowler (1999)¹, na composição de concreto de polímeros, não há cimento os agregados são ligados pela resina. Em função do tipo de polímero pode-se obter concretos com resina sintética, concretos com resina plástica ou simples concreto com resina, o composto não contém pasta de cimento hidratado.

Fowler (1999)², afirma que o concreto de polímeros apresenta algumas vantagens em comparação com o concreto de cimento Portland, tais como: endurecimento rápido, altas resistências mecânicas, melhor resistência ao ataque químico e maior, durabilidade, etc.

Mirza *et al.* (2002), afirmam que uma das desvantagens mais significativa é o elevado custo da resina, que limita a utilização do concreto polimérico. O desempenho do concreto polimérico dependerá do tipo de polímero e suas propriedades, do tipo dos agregados, da temperatura de cura, e dos outros componentes da dosagem. Os agregados podem ser silicatos, quartzo, brita, cascalho, calcário, granito, argila, etc. Tanto o tipo de agregado utilizado, como as adições de material “filler” são muito importantes. Diferentes tipos de materiais podem ser utilizados como “fillers”, tais como cinzas volantes, sílica ativa, fósforo, gesso, escória etc.

Vipulanandan e Paul (2011), afirmam que as resinas epóxis já alcançaram um recorde de variadas aplicações, como material compósito são utilizadas tanto para confecção como para reparos em estruturas de concreto. Sua estrutura pode ser modificada para variáveis níveis de performance produzindo compósitos com

propriedades mecânicas superiores ou com resistência a produtos e meio ambiente corrosivos. As resinas epóxis apresentam ainda propriedades isolantes elétricas superiores, boa performance a elevadas temperaturas e excelente adesão ao substrato. Entretanto as resinas epóxis requerem uma cura adequada, além de apresentarem baixa resistência aos raios ultravioleta.

Ohama (1992), relata que no Japão as pesquisas estão voltadas para a adição do polímero de forma sustentável no concreto e na argamassa, nas suas três categorias. Segundo o autor, a argamassa de resina epóxi sem catalisadores tóxicos, os polímeros em pó sem solventes, a reciclagem do PET (garrafa plástica de refrigerante) entre outros, já mostram que os compostos de concreto polimérico podem ser materiais de construção altamente sustentáveis.

Entre os vários compósitos de cimento polímeros, o concreto polímero (PC) é cada vez mais utilizado na construção, na reparação de estradas, estruturas, e na fabricação de vários tipos de artigos pré-moldados. Durante as duas últimas décadas, o uso prático de PC tem vem sendo feito sem o pleno conhecimento de da engenharia de suas propriedades. Os polímeros orgânicos de ação rápida são usados nos PC como matrizes aglutinantes. Os Polímeros ligantes mais populares, atualmente em uso, são epóxi, poliéster e metacrilato de metila. Estudos sobre polímeros epóxi e poliésteres têm mostrado que a resistência do concreto polímero, e as relações tensão-deformação são influenciadas pelo método de cura, temperatura, e velocidade de carregamento das estruturas.

Haddad *et al.* (1983), estudaram a força do metil metacrilato PC e concluíram que o agente catalisador, a razão de catálise, temperatura, tipo e graduação do agregado têm efeitos variáveis sobre capacidade de resistência do concreto. No entanto os dados sobre epóxi PC e PC poliéster são bastante limitados, mas existe um interesse crescente no estudo das características de deformação e nas relações tensão-deformação dos sistemas de PC sob condições de trabalho.

3.2.1 Tintas epóxi Novolac

As resinas epóxies devem ter ligações reticuladas (Cross Link), a fim de desenvolver características exigidas para fabricação de tintas. Este processo de ligação transversal é conseguido fazendo reagir quimicamente a resina com um agente de cura apropriado. Os grupos reativos de moléculas nas formulações de resina epóxi são os grupos epóxido e os grupos terminais hidroxila. Para fabricação de revestimentos de proteção (tintas), o princípio da reação de reticulação é entre o grupo epóxido e o agente de cura. Os agentes de cura de mais comumente utilizados em formulações, são as aminas.

As aminas primárias são compostos orgânicos que contêm um átomo de nitrogênio ligado a dois átomos de hidrogênio (NH_2). O hidrogênio ativo da amina é o que reage com o grupo epóxido da resina. A estrutura do composto orgânico contendo amina o número e tipo de grupos de amina é o que determinam a taxa de reticulação e as propriedades da tinta.

Existem diferentes tipos de agentes de cura de poliamina: alifático, ciclo alifático, aromático, aducto de poliamina, etc. As aminas alifáticas como EDA, DTA, e TETA contêm uma cadeia química linear entre grupos amina. Revestimentos produzidos com elas tendem a ter camadas altamente reticuladas com boa resistência ao calor e produtos químicos, incluindo solventes. No entanto, eles são bastante frágeis e possuem pouca flexibilidade e resistência ao impacto. Por causa da sua reação com a umidade, eles não são adequados para utilização em ambientes úmidos.

Aminas cicloalifáticas modificadas a partir do IPDA são, provavelmente, os agentes de cura mais utilizados para resinas epóxi. Devido às suas baixas viscosidades, elas podem ser usadas em tintas de baixo VOC. Elas produzem revestimentos com uma taxa de cura elevada, de curto "pot life" e são também adequadas para a cura a baixa temperatura. Elas apresentam ótima resistência a produtos químicos, solventes e água, o que as torna adequados para utilização em tanques de água potável.

Nas aminas aromáticas, os grupos aminas são separados por anéis de benzeno, em vez de cadeias flexíveis de moléculas, como nas aminas alifáticas. Tintas

produzidas com elas têm boas propriedades físicas, como resistência ao impacto, bem como alta resistência ao calor e produtos químicos.

Tintas Epóxis Novolac são formuladas com Bisfenol F ou resinas epóxi novolac (em comparação com Bisfenol A, resinas epóxi comum). Epóxis Novolac proporcionam um aumento da resistência a produtos químicos sobre epóxis regulares. Gnneco (2014)¹ afirma que este aumento é de cerca de 30%. Os revestimentos à base Epóxi Novolac apresentam resistência química ao ácido sulfúrico, como exemplo, aumentada quando submetidas à imersão com uma concentração de 70% para imersão com concentração de 98%.

Conforme Gnneco (2014)² as tintas epóxi NOVOLAC, curadas com poliamina, são projetadas para resistirem às piores condições industriais, pois apresentam maiores resistências químicas, onde há derrames de ácidos, bases e solventes orgânicos, imersão em produtos corrosivos (em maiores concentrações e temperaturas) e resistências mecânicas. Além disso suportam calor em temperaturas maiores do que as tintas epóxis convencionais resistem ao desgaste por abrasão, pois têm maior dureza. Quando reforçadas com pigmentos lamelares como o óxido de ferro micáceo ou com cargas cerâmicas ou fibra/flocos de vidro, sua capacidade de resistir à agressividade do ambiente e proteger contra a corrosão é muito melhorada.

A forma de aplicação das tintas epóxis pode variar de pistolas convencionais, para tintas com teores de sólidos por volume de 75% a 90% até pistolas “plural component”, para tintas com sólidos por volume de 100% (sem solventes).

3.3 Íons Cloretos

Os íons cloretos presentes na pasta do cimento que envolve as armaduras reagem em regiões anódicas formando o ácido clorídrico, que destrói a camada de passivação do aço. A superfície torna-se localmente ativada, para formando o anodo e camada de passivação o cátodo. A corrosão subsequente é na forma de localizada puntiforme ou por pits. É importante ainda enfatizar que na presença ou não de cloretos, a corrosão eletroquímica somente ocorrerá quando estão disponíveis água e oxigênio e somente o oxigênio é consumido na reação.

Mesmo com grandes quantidades de cloretos não existe corrosão com o concreto seco. (NEVILLE e BROOKS 2013)2.

Dotto (2012), afirma que o ataque por íons cloreto às armaduras embutidas no concreto é uma das principais patologias que vem sendo estudada pelos pesquisadores envolvidos com a construção civil. O que se busca é obter para a estrutura agredida uma vida útil maior. Por isso, boa parte das análises tenta melhorar o sistema concreto-aço para que não haja a entrada de agentes agressivos, tais como Cl^- , O_2 e CO_2 . Há avanços, principalmente para reduzir as heterogeneidades do aço (composição, presença de impurezas e tratamentos térmicos e mecânicos), mas também existe consenso de que dificilmente se conseguirá anular totalmente essa patologia, a Figura 3.3.1 apresenta corpos de prova de concreto atacado por íons cloretos.



Figura 3.3.1 - Fotografia corpos de prova de concreto deteriorados após 12 semanas de imersão em solução de HCl de 5%. Fonte: Siad *et al.* 2010

Mehta (1988) confirmou a partir de uma revisão de estudos de caso, que é a permeabilidade do concreto, em vez de sua composição química, a chave para a durabilidade das estruturas. As causas da elevada permeabilidade não se limitam dosagem incorreta do concreto, mas também uma prática inadequada da concretagem, como mistura incompleta, lançamento e cura inadequados. A cobertura insuficiente das armaduras, assim como as juntas mal construídas afetam, o concreto em serviço, levando o mesmo a apresentar várias formas de patologias. Carregamento precoce, sobrecargas e impacto repetitivos levam as estruturas a fissurar aumentando a permeabilidade e comprometendo assim a

durabilidade do concreto. A Figura 3.3.2 mostra uma estrutura atacada por cloretos, devido ao baixo recobrimento e alta concentração de armaduras.



Figura 3.3.2 - Estrutura atacada por cloretos, apresentando alta concentração de armaduras e baixa espessura de recobrimento.

Mehta e Monteiro (2014)², afirmam que na ausência de íons cloretos em solução no concreto, a película de proteção do aço é relatada como estável, desde que o pH da solução se mantenha acima de 11,5. Como o cimento portland hidratado contém álcalis nos fluídos dos poros e cerca de 20 por cento em peso de hidróxido de cálcio sólido, assim normalmente há alcalinidade suficiente no sistema para manter o pH acima de 12. Sob certas condições (por exemplo, quando concreto tem alta permeabilidade os álcalis na maior parte do hidróxido de cálcio ou foram carbonatadas ou lixiviados), o pH do concreto nas proximidades de aço pode ter sido reduzido para menos do que 11,5. Isso destrói a passividade do aço e define o cenário ideal para o processo de corrosão.

Mehta e Monteiro (2014)³, afirmam ainda que na presença de íons cloreto, dependendo da proporção Cl^- / OH^- , há relatos consideráveis que a película de proteção do aço é destruída mesmo para valores de pH acima de 11,5. Parece que quando a relação Cl^- / OH^- molar é maior do que 0,6 o aço já não está protegido contra a corrosão, provavelmente, porque o filme de óxido de ferro se torna ou permeável ou instável nestas condições. Para as misturas típicas de

concretos normalmente utilizados na prática, o limite crítico de cloretos para iniciar a corrosão seria da ordem de 0,4% do peso do cimento utilizado na confecção do concreto. Além disso, quando grandes quantidades de cloreto estão presentes, o concreto tende a manter mais umidade, o que também aumenta a probabilidade de corrosão do aço, através da redução da resistividade elétrica do concreto. Uma vez que a passividade do aço embutido é destruída, é a resistividade elétrica e a disponibilidade de oxigênio que controlam a taxa de corrosão. Na verdade, a corrosão significativa, não é observada desde que a resistividade elétrica do concreto esteja acima de 50 a 70 x 10³Ωcm. Entre as fontes comuns de cloreto em concretos estão as misturas, agregados contaminados com sal, penetração ions contidos em soluções de degelo ou água do mar, ambientes industriais etc.

Um dos mecanismos de penetração dos agentes patológicos como os íons cloretos no concreto é através da rede de poros da microestrutura do concreto. As forças impulsoras do transporte dessas substâncias no concreto podem ser a diferença de concentração, de pressão, de temperatura, de densidade, de potencial elétrico e a sucção capilar (NEPOMUCENO, 2005).

São quatro os mecanismos básicos de transporte de íons agressivos e fluidos para o interior do concreto: permeabilidade, sucção capilar, difusão e migração, que podem atuar simultaneamente ou sucessivamente ao longo do tempo conforme as condições de exposição a que o concreto encontra-se submetido (CALÇADA, 2004).

Bertolini *et al.* (2004)⁵ , Neville e Brooks (2013)³ descrevem assim os quatro mecanismos de transporte de íons agressivos e fluidos para dentro do concreto:

- Difusão: A penetração de agentes agressivos dentro de concreto, muitas vezes ocorre por difusão, que é, pelo efeito de um gradiente de concentração O², CO², Cl⁻ ou SO²⁻ que se movem através da rede de poros, da superfície onde estão e maiores concentrações, para as zonas internas onde o sua concentração é mais baixa. Os íons cloretos e sulfatos somente se difundem quando estão dissolvidos em água e a difusão é mais eficaz

quando os poros estão totalmente saturados, e menos eficaz com a saturação parcial dos poros.

- **Sucção Capilar:** Quando a água entra em contato com um material poroso, tais como concreto, ela é absorvida rapidamente pela pressão nos poros causada pelo que é chamado ação capilar.

Esta ação depende da tensão superficial, viscosidade, e densidade do líquido, o ângulo de contato entre as paredes dos poros e o líquido. No concreto, o ângulo de contacto é pequeno devido à presença de atração molecular entre o líquido e o substrato (isto é, entre a água e pasta de cimento). Em teoria, a ação capilar é mais forte com a diminuição do diâmetro dos poros, por outro lado, quanto menor os poros se tornam, mais lento o fenômeno de transporte se dará, devido ao aumento da fricção com as paredes dos poros. Assim sendo um concreto mais poroso absorve mais água e mais rapidamente do que um concreto denso.

- **Permeabilidade:** A permeabilidade de um concreto é a facilidade com líquidos e gases podem se movimentar através do concreto. Esta propriedade é de fundamental interesse para estanqueidade de estruturas destinadas a contenção de líquidos e para o ataque químico. Apesar de haver ensaios normalizados a permeabilidade pode ser medida por um ensaio simples de laboratório e os resultados são em geral comparativos. Deve-se, entretanto observar que não existe uma relação única entre as permeabilidades ao ar e a água, para qualquer tipo de concreto, embora ambas sejam dependentes da relação água/cimento e da idade do concreto. Para um concreto produzido com agregados normais a permeabilidade é governada pela porosidade da pasta de cimento, mas a relação não é clara, uma vez que distribuição e tamanho dos poros é fator preponderante.

- **Migração:** O transporte de íons em solução, sob um campo elétrico é chamado de migração. A velocidade de movimento de íons é proporcional à força do campo elétrico, a carga e tamanho do íon. Uma comparação de diferentes íons é possível com base na sua mobilidade u . Os íons de

hidrogênio e as hidroxilas apresentam os mais altos índices mobilidade devido à sua interação com a água. A mobilidade iônica u_i (descreve o movimento de íons em um campo elétrico) é diretamente relacionada com o coeficiente de difusão D_i (descreve o movimento em um gradiente de concentração) e é dado pela seguinte equação:

$$D_i = \frac{RT}{z_i F} \quad (3.1)$$

Onde:

R = constante dos gases ($\frac{J}{K.Mol}$);

T = temperatura (Kelvin);

F = constante de Faraday (96.490 C / mol) e

z_i = valência do íon i .

Os princípios que se aplicam às soluções aquosas são, basicamente, válidos também para concreto, porque o transporte de corrente elétrica no concreto se dá devido ao movimento de íons na água contida na rede de poros.

A penetração dos íons cloretos só é possível quando há água nos poros do concreto. Se a água está estagnada, o deslocamento dos íons cloretos se dará por difusão. Quando o concreto sofre ciclos de molhagem e secagem, a penetração desses íons passa a ser por força capilar da água em que estão presentes (GUIMARÃES, 2000).

A profundidade de penetração dos íons dependerá da duração dos períodos de umedecimento e secagem, assim como da permeabilidade da superfície do concreto (FIGUEIREDO, 2005).

Segundo publicação da Cement Concrete & Aggregates Australia (2009), os quatro mecanismos básicos são regidos por três parâmetros principais, assim como as propriedades mecânicas do concreto, que são eles: a relação A/C, tempo de cura e o grau de hidratação – que são os responsáveis pela qualidade

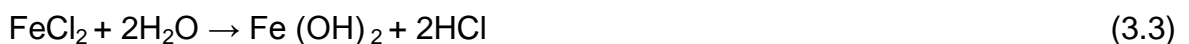
do concreto. Os mecanismos podem ocorrer simultaneamente tanto em situações reais quanto em procedimentos de ensaios.

Nepomuceno (2005) apresenta algumas dessas combinações:

- Absorção capilar, *convecção* e difusão: no período inicial, dependendo do teor de umidade, o ingresso dos íons se dará por capilaridade, e em seguida através da difusão;
- Difusão e migração: *podem* ocorrer em ensaios de migração onde é aplicado um potencial elétrico para determinação do coeficiente de difusão de cloretos;
- Permeabilidade e *convecção*: ocorrem quando os agentes estão contidos no fluido que penetra a estrutura.

De acordo com Neville E Brooks (2013)⁴, para corrosão ser iniciada, a camada passivada do aço deve ser penetrada. Os íons cloreto ativam a superfície do aço para formar um ânodo, a superfície passivada será o cátodo.

As reações envolvidas são as seguintes:



Assim, o íon Cl^{-} é regenerado de modo a que a oxidação que não continha íons cloreto, passa a ter, através do cloreto de ferro formado nas fases intermediárias. A célula eletroquímica requer uma ligação entre o ânodo e o cátodo por um eletrólito, a água contida nos poros, o aço embutido e a rede de poros formados no concreto endurecido formam o principal sistema para dar início à corrosão. Em termos elétricos, é a resistência da "ligação" através do concreto que controla o fluxo de corrente. A resistividade eléctrica do concreto é influenciada pela composição iónica da água nos poros, e pela conectividade do sistema de poros no concreto endurecido, a Figura 3.3.3 mostra o esquemático de formação de uma célula eletroquímica no concreto.

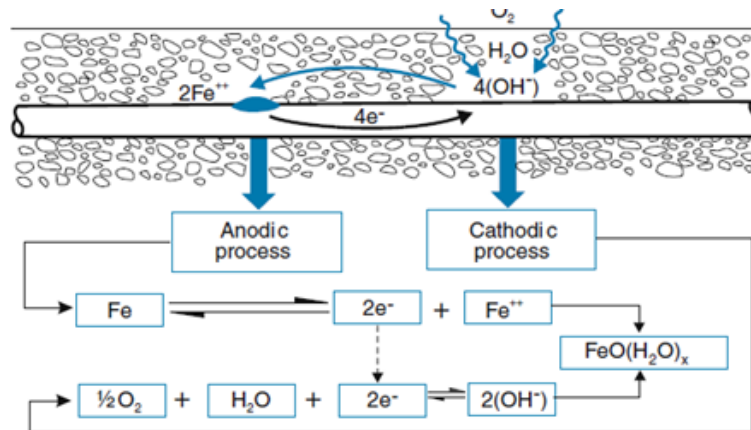


Figura 3.3.3 Esquema mostrando o processo de formação de célula eletroquímica.
 Fonte: Cement concrete and aggregates- Australia June 2000

Existem duas consequências provenientes da corrosão do aço provocada por cloretos:

- A primeira, os produtos da corrosão ocupam um volume muitas vezes maior do que o diâmetro original do aço, resultando em trincas (caracteristicamente paralelas às armaduras) e também “spalling” ou delaminação do concreto.
- A segunda, o processo de corrosão no ânodo reduz a seção transversal do aço, reduzindo assim a capacidade de carga das estruturas. A este respeito, deve-se salientar que os íons cloreto induzem uma corrosão que é altamente localizada em um pequeno ânodo, chamado de corrosão do aço por pitting, como apresentado nas Figuras 3.3.4 e 3.3.5.



Figura 3.3.4 - Delaminação do concreto devido ao ataque por cloretos.



Figura 3.3.5 Corrosão do aço por pitting.

Os cloretos de origem externa penetram como solução líquida, no concreto através da rede comunicante de poros, por convecção, mais tarde os íons cloretos se difundem no sistema de poros já saturados. A difusão é controlada por gradientes de concentração dos íons cloretos livres assim, a capacidade do concreto para absorver física e quimicamente e reagir com esses íons afeta quantidade dos íons cloretos livres em concentração no concreto. A resistência do

concreto ao ataque de ions cloretos é, portanto, altamente dependente da porosidade do concreto em termos de tamanho dos poros, distribuição da rede de poros e da interconectividade dos sistemas de poros. A porosidade do concreto é determinada por:

- Tipo de cimento e outros componentes da mistura (agregados);
- Proporções da mistura no concreto;
- Relação água cimento da mistura;
- Lançamento, adensamento, compactação e cura do concreto.

O tipo de cimento influencia tanto na porosidade do concreto quanto na sua interação com cloretos. A porosidade do concreto é altamente dependente da relação água-cimento e dos agregados utilizados. O tipo e quantidade de cimento afetam a distribuição e tamanho dos poros, e quimicamente a capacidade de “aglutinação da matriz cimentícia”. O gráfico da Figura 3.3.6 mostra a influência dos tipos de cimentos, a relação água-cimento na capacidade do concreto de resistir a penetração e difusão de ions cloretos. Os cimentos apresentados no gráfico são utilizados na Austrália e são assim designados:

- GP- General Purpose Cement (cimento de uso geral composto de clinker e máximo de 7,5% de adições minerais);
- GB1- General Purpose Blended Cement (Mistura de cimento de uso geral com um material cimentício suplementar “SCM” que podem ser, cinzas volante, sílica amorfa e escória);
- GB2- General Purpose Blended Cement (Mistura de cimento de uso geral com dois materiais cimentícios suplementares “SCM” que podem ser sílica amorfa e cinzas volantes);
- GB3- General Purpose Blended Cement (Mistura de cimento de uso geral com 3 materiais cimentícios suplementares), sendo que o cimento de uso geral não pode ser inferior a 40% do total de materiais cimentícios suplementares.

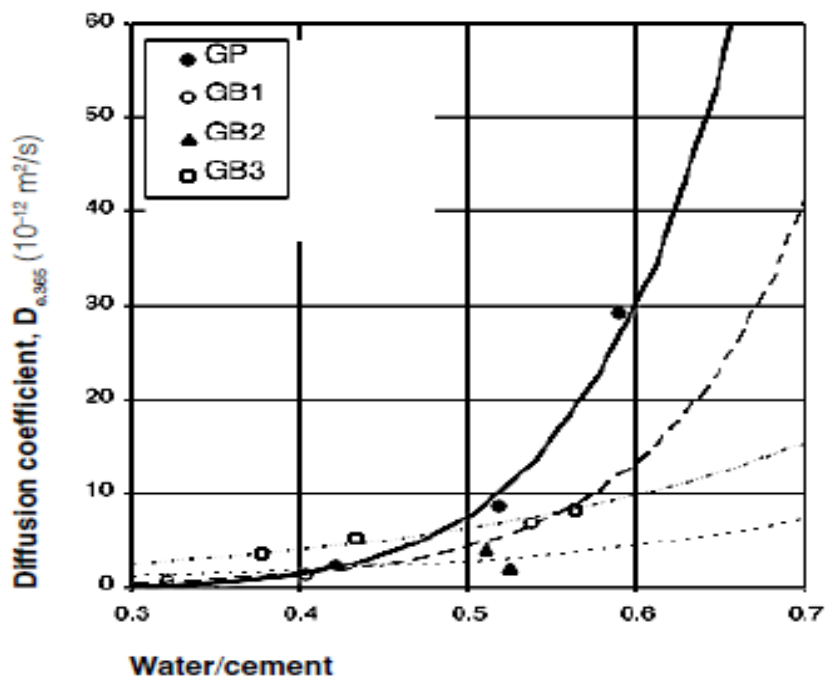


Figure 3.1 Effect of water-cement ratio and cement type on the chloride resistance of concrete (CSIRO⁶)

Figura 3.3.6 - Influência da relação A/C na capacidade do concreto resistir a difusão de íons cloretos. Fonte: Adaptado Cement Concrete & Aggregates. Australia 2009

Gowripalan *et al.* (1989) afirmam que porosidade ou permeabilidade “in situ” de concreto é altamente dependente lançamento, do grau de compactação, da cura e do início da vida útil do concreto, respectivamente. A cura afeta grandemente a porosidade da camada mais interna do concreto que protege o aço da penetração de cloretos e conseqüente indução da corrosão. A eficácia de vários regimes de cura na profundidade da porosidade do concreto esta ilustrada na Figura 3.3.7.

Khatri et al (1998) mostram que uma cura bem feita pode melhorar a resistência do concreto aos cloretos , quando medida em termos de absorção da água, a diferentes graus, e com diversos tipos de cimento. A eficácia de uma cura bem feita do concreto, com relação a absorção é mostrada na Tabela 3.3.1.

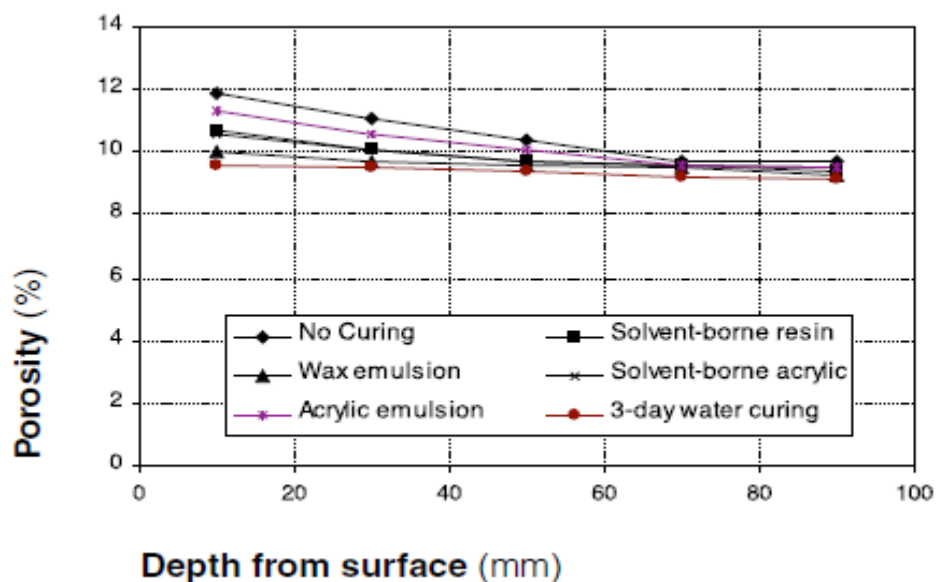


Figura 3.3.7- Variação da porosidade do concreto em lajes, usando diferentes métodos de cura. Fonte: Gowripalan *et al.* 1989

Tabela 3.3.1 Influência da cura na absorção de água de vários tipos de concreto. Fonte: Adaptado da Tabela 3.1 Khatri *et al.* 1998

Tipo de cimento	RTA absorção (mm em 24 horas)		
	1 dia selado	7 dias selado	7 dias cura úmida
	27 dias cura ao ar livre	21 dias cura ao ar livre	21 dias cura ao ar livre
GP	14	17	5
GB1	33	27	10
GB2	40	28	1
GB3	>50	35	0

Em resumo, o concreto armado sendo um dos materiais de construção mais amplamente utilizado devido à sua versatilidade foi objeto de preocupação da NBR6118- 2014, que dedicou capítulos específicos destinados especialmente para definir quesitos de desempenho em serviço e durabilidade estabelecendo e impondo condições para que estes objetivos sejam atendidos desde a fase de concepção do projeto até a entrada em serviço e durante toda vida útil para qual foi concebido.

3.4 Ensaios Não Destrutivos

Os ensaios não destrutivos END vêm sendo largamente utilizados para avaliação da integridade de estruturas de concreto. Os ensaios podem ser aplicados tanto em estruturas novas como em estruturas antigas. O alcance destes ensaios vai desde avaliação das propriedades fundamentais tais como módulo de elasticidade, resistência à compressão, dureza superficial, porosidade absorção de água, qualidade dos materiais e mais recentemente os ensaios de resistividade e potencial de corrosão

3.4.1 Ultrassom

O princípio do ensaio de ultrassom baseia-se na velocidade do som em um meio sólido, V , é uma função da raiz quadrada da relação entre seu módulo de elasticidade E , e sua densidade, ρ , ou seja:

$$V = f \left[\frac{gE}{\rho} \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

Onde “ g ” é a aceleração da gravidade. Esta relação pode ser usada para determinar o módulo de elasticidade do concreto, se o coeficiente de Poisson for conhecido, sendo, portanto um meio de verificação da qualidade do concreto, NEVILLE e BROOKS (2013)5.

O equipamento de ultrassom deve ser capaz de fazer medição do tempo de trânsito do pulso ao longo do comprimento da amostra investigada, comprimento que varia de cerca de 100 mm para a máxima possível, com uma precisão de $\pm 1\%$. Geralmente os transdutores utilizados tem uma frequência entre 20 a 150 kHz, embora frequências baixas como 10 kHz possam ser usadas para concretos com grandes dimensões e frequências acima de 1 MHz para argamassas e recobrimentos com baixas espessuras. Pulsos de alta frequência apresentam uma boa definição inicial, mas, à medida que percorrem o concreto, estes se atenuam mais rapidamente do que pulsos de menor frequência, por conseguinte, é preferível usar transdutores de alta frequência para peça de pequenas

dimensões (caminho curto) e transdutores de baixa frequência para peças de grandes dimensões, (caminho longo). Os transdutores com uma frequência de 50 kHz a 60 kHz são adequados para aplicações mais comuns. IAEA (2002)¹.

A medição da velocidade dos pulsos ultrassônicos de vibrações longitudinais que passam através de concreto pode ser utilizado para as seguintes aplicações:

- Determinação da uniformidade do concreto internamente e entre os seus membros;
- Medição das mudanças que ocorrem com o tempo nas propriedades do concreto;
- Correlação da velocidade do pulso e resistência, como uma medida da qualidade do concreto;
- Determinação dos módulos de elasticidade dinâmico e estático do concreto e do coeficiente de Poisson.

A medição da velocidade do pulso ultrassônico em estruturas de concreto, pode ser usada para fins de controle de qualidade do concreto, em comparação com ensaios mecânicos em amostras, pois têm a vantagem por se relacionarem diretamente à estrutura, que é mais representativa do concreto *in situ*.

Idealmente a velocidade do pulso pode ser relacionada com os resultados de testes em componentes estruturais e, se uma correlação pode ser estabelecida com a resistência ou outras propriedades requeridas para estes componentes, é desejável utilizá-la. Tais correlações podem muitas vezes, serem prontamente estabelecidas diretamente, para fabricação de unidades de concretos pré-moldados e podem também ser encontradas nos trabalhos em canteiros de obra.

Pode-se ainda estabelecer relações empíricas entre a velocidade do pulso e os módulos de elasticidade estático e dinâmico e a resistência a compressão do concreto. Este último relacionamento é influenciado por um inúmeros fatores incluindo o tipo de cimento, o teor de cimento no concreto, misturas, adições, tipos e tamanhos dos agregados, condições cura e idade de concreto. Deve se ter cuidado ao fazer a tentativa de expressar resultados de correlação das medidas de velocidade do pulso com resistência a compressão ou propriedades elásticas

principalmente para concretos com resistências superiores a 60 MPa, IAEA (2002)2.

Whitehurt (1966), sugeriu alguns valores para relação entre velocidade do pulso ultrassônico e resistência à compressão para concretos com uma densidade 2400 kg/m³. Estes valores são apresentados na Tabela 3.4.1.1, embora estes valores tenham sido estabelecidos na década de 1960 os mesmos ainda são válidos e amplamente aceitos atualmente.

Para Jones e Facaoanu (1969), no entanto, o limite inferior para um concreto de boa qualidade é entre 4,1 e 4,7 km/s. A tabela 3.4.1.1, com base em resultados de Jones, ilustra este efeito.

A despeito da relação entre a medida de velocidade do pulso ultrassônico e a resistência à compressão, este método não é usual como meio de controle da qualidade do concreto nos canteiros de obras. Infelizmente ainda não se conseguiu uma correlação satisfatória entre este método e os ensaios de compressão em corpos de prova. IAEA (2002)3.

Tabela 3.4.1.1 - Classificação da qualidade CP do concreto baseada na velocidade do pulso ultrassônico.
Fonte: Adaptação "Table 11.3 Whitehurt 1966.

Velocidade longitudinal do pulso		Qualidade do concreto
Km/s x 10 ³	Ft/s	
>4,5	>15	Excelente
3,5 a 4,5	12 a 15	Bom
3,0 a 3,5	10 a 12	Duvidável
2,0 a 3,0	7 a 10	Pobre
<2,0	<7	Muito pobre

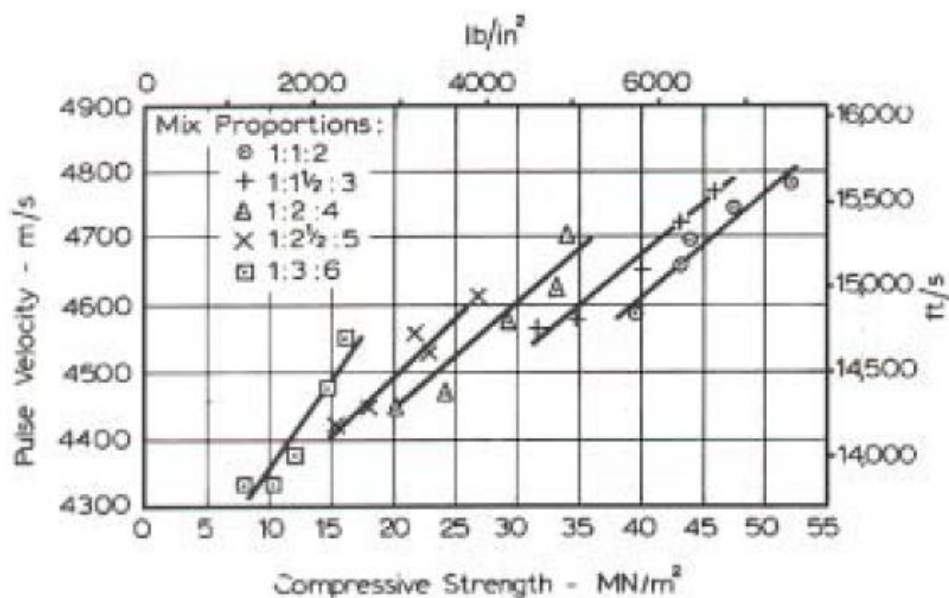


Figura 3.4.1.1 - Relação entre pulso ultrassônico e a resistência à compressão para diferentes proporções de mistura do concreto.
Fonte: Jones 1969

De acordo com a IAEA (2002)⁴, alguns fatores podem influenciar as medidas de velocidade do pulso ultrassônico e conseqüentemente induzir a erros. Os principais fatores que podem causar influência são os seguintes:

- Teor de umidade do concreto: O teor de umidade tem dois efeitos sobre a velocidade um físico e outro químico. Estes efeitos são importantes na produção das correlações, para estimativa da resistência a compressão do concreto. A diferença da velocidade do pulso de um corpo de prova padrão devidamente curado e um elemento estrutural feitos a partir de um mesmo concreto, pode ser significativa. Grande parte desta diferença é explicada pelo efeito das diferentes condições de cura, da hidratação da pasta do cimento, enquanto outra parte da diferença é devida à presença de água livre nos vazios. É importante que esses efeitos sejam cuidadosamente considerados na estimativa da resistência a compressão do concreto.
- Temperatura do concreto: Variações na temperatura do concreto entre 10°C e 30°C não causam nenhuma mudança significativa sem haja correspondentes ocorrências de alterações na resistência ou propriedades elásticas do concreto. Correções nas medições da velocidade dos pulsos

devem ser feitas somente para temperaturas fora deste intervalo, tal como consta na Tabela 3.4.1.2.

- Comprimento de percurso do pulso: O comprimento do percurso ao longo do qual a velocidade do pulso é medida deve ser longo o suficiente para não ser significativamente influenciada pela natureza heterogênea do concreto. É recomendado que, o comprimento mínimo do percuso deve ser de 100mm para o concreto onde o tamanho nominal máximo de agregado é de 20mm ou menos e 150mm para concreto onde dimensão nominal máxima do agregado situa-se entre 20mm e 40mm. A velocidade do pulso geralmente não é influenciada por alterações no comprimento da trajetória, embora a temporização eletrônica do aparelho possa indicar uma tendência para a velocidade ser ligeiramente atenuada com o aumento do comprimento do percurso. Isto é porque os componentes de frequências mais elevadas do pulso são atenuados mais do que os componentes de frequências mais baixas e a forma do início do pulso torna-se mais arredondada com o aumento da distância percorrida. Assim, com redução aparente da velocidade do pulso surge a dificuldade de definir exatamente o início do mesmo.
- .Forma e tamanho da amostra: A velocidade de vibração dos pulsos curtos independe do tamanho e forma da amostra na qual viajam, a menos que a sua dimensão lateral seja inferior a um determinado valor mínimo. Abaixo deste valor, a velocidade do pulso pode ser reduzida consideravelmente. A extensão desta redução depende, principalmente, da razão entre o comprimento de onda de vibração dos pulsos, da menor dimensão lateral da amostra, mas é insignificante se a razão for inferior à unidade. A Tabela 3.4.1.3 nos dá a relação entre a velocidade do pulso no concreto, a frequência do transdutor e a dimensão lateral mínima admissível da amostra. Se a dimensão lateral mínima for menor que o comprimento da onda ou se for utilizado o método de medição indireto, haverá mudanças no modo de propagação do pulso e, portanto, a velocidade medida será diferente. Isto é particularmente importante nos casos em que os elementos de concreto de tamanhos significativamente diferentes são comparados.

- Efeito das armaduras de reforço: A velocidade do pulso medido no concreto armado nas proximidades das armaduras é geralmente maior do que no concreto simples com a mesma composição. Isto acontece porque a velocidade do pulso no aço pode ser até duas vezes maior que a velocidade no concreto simples. Em certas condições, o primeiro pulso que chega ao transdutor de recepção viaja parcialmente no concreto e parcialmente no aço. O aparente aumento da velocidade do pulso depende da proximidade das posições de medidas tomadas próximas às armaduras, do diâmetro da e da quantidade de armadura e de sua orientação em relação ao caminho de propagação do pulso. A frequência do pulso e as condições da superfície da barra também podem influenciar nas medições da velocidade. Correções dos valores medidos de velocidade do pulso no concreto devem ser feitas de tal maneira que o aço não se interponha no caminho direto entre os transdutores.

Tabela 3.4.1.2- Correlação entre temperatura e velocidade do pulso.
Fonte: Adaptação Table 11.1 - IAEA 2002

Temperatura C°	Correlação da velocidade do pulso	
	Concreto seco ao ar livre %	Concreto saturado em água %
60	+5	+4
40	+2	+1,7
20	0	0
0	-0,5	-1
-4	-1,5	-7,5

Tabela 3.4.1.3 - Efeito das dimensões na velocidade de transmissão do pulso ultrassônico. Fonte: Adaptação Table 11.2 IAEA 2002

Frequência do Transdutor KHz	Velocidade do pulso no concreto (KHz)		
	V_c	V_c	V_c
	Dimensão mínima lateral permissível da amostra mm		
24	146	167	188
54	65	74	83
82	43	49	55
150	23	27	30

3.4.2 Porosidade do concreto

Neville e Brooks (2013)⁶, afirmam que a pasta de cimento fresca é uma rede plástica de partículas de cimento dispersas em água, mas uma vez que a pega tenha ocorrido seu volume aparente ou total permanece o mesmo. A pasta consiste em vários compostos hidratados de cimento e o volume total disponível para estes produtos hidratados consiste na soma do volume absoluto de cimento anidro e o volume de água de amassamento, considerando que não há perda de água devido à exsudação ou evaporação. Devido ao processo de hidratação a água assume três formas descritas a seguir:

- **Água combinada:** É a água combinada quimicamente ou fisicamente com o produto de hidratação do cimento e, portanto fortemente retida. Sendo considerada como água não evaporável e representa aproximadamente 23% da massa do cimento anidro.
- **Água de gel:** É a água localizada entre os produtos sólidos da hidratação, nos chamados poros de gel (espaços Interlamelares), que possuem dimensões bastante reduzidas. O volume da água gel corresponde a 28% do volume do gel de cimento.
- **Água capilar:** A soma dos volumes, produtos sólidos hidratados ocupa um volume menor que a soma dos volumes absolutos do cimento anidro original e da água combinada. Conseqüentemente

há um espaço residual no interior do volume total da pasta. Este espaço representa 18,5% do volume original do cimento anidro. Este espaço forma vazios ou poros capilares, que podem estar ou não cheios de água. Caso a mistura contenha mais água que a necessária para o processo de hidratação, serão formados poros capilares em excesso além do volume de 18,5% e estes estarão cheios de água e é esta água que é denominada de água capilar.

A pasta de cimento formada pelas reações de hidratação contém sempre uma rede de poros de diversos tamanhos interligados, como se mostra na Figura 3.4.2.1. A porosidade total da pasta de cimento pode então ser calculada como a relação da soma dos volumes dos poros de gel com poros capilares em relação ao volume total da pasta de cimento.

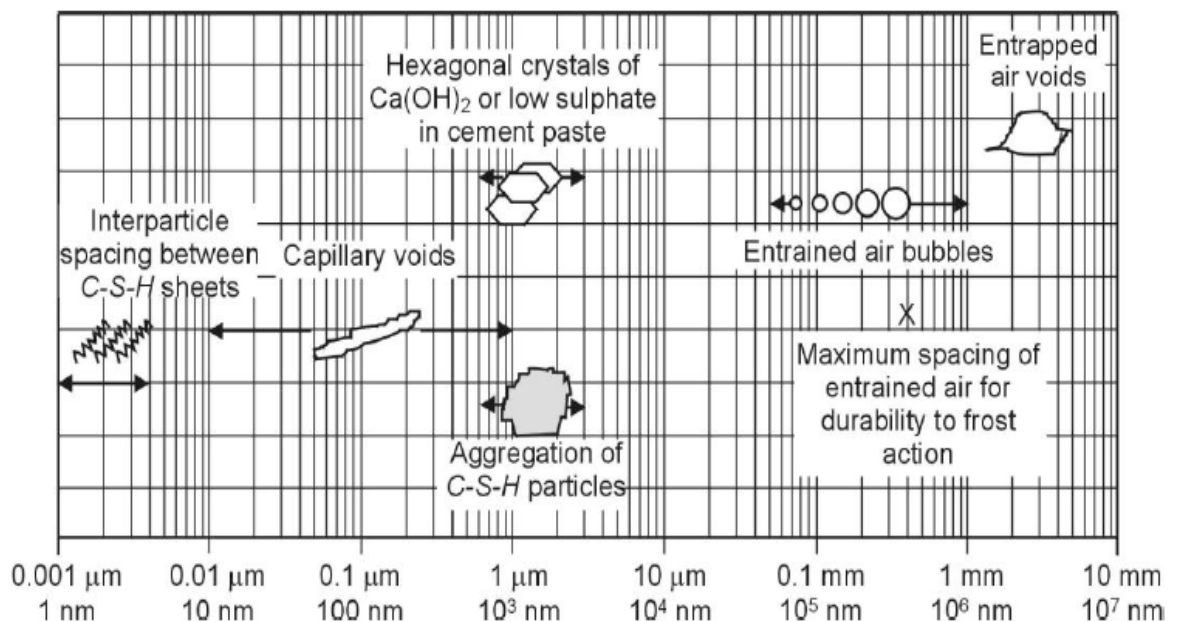


Figura 3.4.2.1 - Faixa dimensional de sólidos e poros na pasta de cimento hidratado. Fonte: Bertolini *et al.* 2004

Os poros podem ser divididos em macroporos, poros capilares e poros do gel. O espaço entre as camadas dentro C-S-H (poros do gel) tem um volume igual à cerca de 28% do gel de cimento e suas dimensões variam de algumas frações de nm a vários nm. Estes poros não afetam a durabilidade de concreto e a proteção

que este oferece ao aço das armaduras, pois os mesmos são muito pequenos para permitir que haja o transporte significativo de agentes patológicos.

Os poros capilares são os vazios não preenchidos pelos produtos sólidos de hidratação da pasta de cimento endurecido, apresentando dimensões de 10nm a 50nm. Se a pasta de cimento é bem hidratada e produzida usando baixa relação água/cimento, mas podem chegar até 3-5 µm, se o concreto é feito com relação água /cimento elevada ou se a pasta de cimento não foi bem hidratada.

Poros com dimensões maiores, podendo chegar até a alguns milímetros, são oriundos do ar aprisionado durante a mistura concreto que não foram removidos com um adensamento adequado após o lançamento.

Devemos atentar às bolhas de ar com diâmetros de cerca de 0,05mm à 0,2 mm que são intencionalmente introduzidas na pasta de cimento por meio de aditivos incorporadores de ar, de modo a permitir que o concreto apresente resistência aos ciclos de gelo e degelo. Nestes casos ambos os poros, capilares produzidos pelo ar retido são relevantes para a durabilidade do concreto e ainda para fornecer a proteção adequada ao aço das armaduras.

Durante a hidratação da pasta de cimento, o volume total da mistura praticamente não se altera, de modo que o volume inicial é igual à soma dos volumes de água misturada (V_w) e cimento (V_c) e é igual ao volume do produto de endurecimento.

A Figura 3.4.2.2 de Bertolini *et al.* (2004)⁶, mostra que durante a hidratação esta soma consiste do volume de cimento que ainda não reagiu (V_{uc}), do cimento hidratado ($V_p + V_{gw}$), dos poros capilares que são preenchidos por água (V_{cw}) ou pelo ar (V_{ec}). O volume dos produtos de hidratação pode ser assumido como sendo aproximadamente o dobro do cimento.

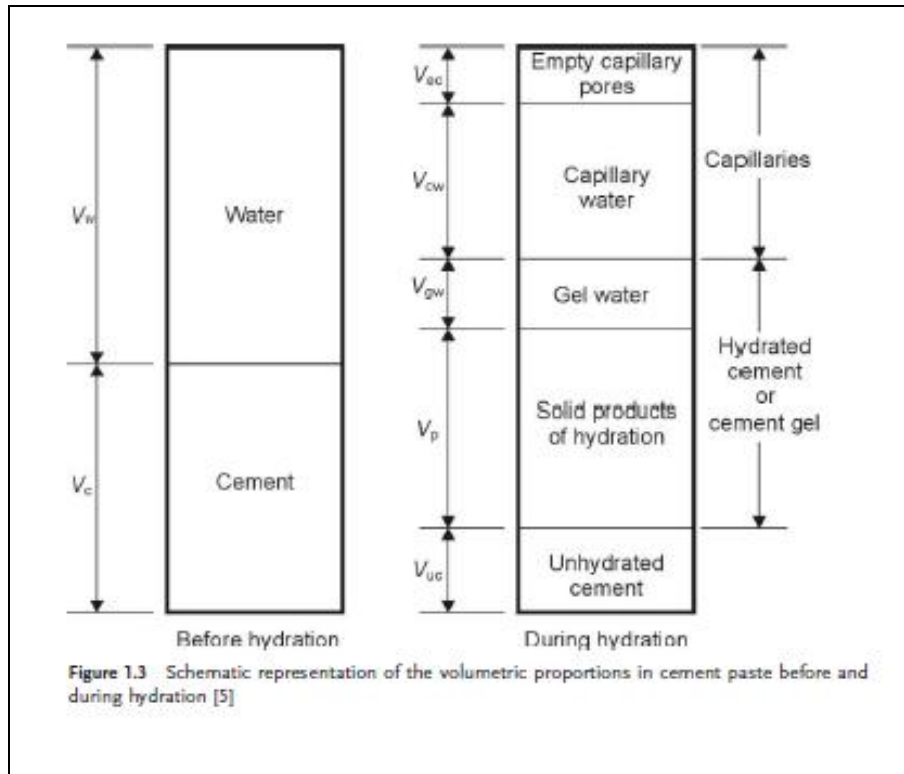


Figura 3.4.2.2 - Representação esquemática das proporções volumétricas na pasta de cimento antes e durante a hidratação.

Fonte: Bertolini *et al.* 2004

Durante ainda o processo de hidratação, os produtos formados preenchem os espaços anteriormente ocupados pelo cimento hidratado e a parte dos espaços circundantes inicialmente ocupados pela água. Portanto, se a pasta de cimento é mantida úmida (cura), a hidratação prossegue e o volume dos poros capilares diminui e atingirá um mínimo quando a hidratação do cimento for concluída. Em conclusão, o volume dos poros capilares (V_{CP}) na pasta de cimento aumenta com a quantidade de água usada na pasta e, assim, com a relação água/cimento (w/c) e diminui com o grau de hidratação (h), e a fração hidratada do cimento.

Quando o concreto é considerado em vez de pasta de cimento, a relação a/c e o grau de hidratação continuam a ser os principais fatores que determinam a porosidade capilar. Mesmo assim, o concreto é mais complexo, devido à presença dos agregados e da zona de transição entre o agregado e a matriz cimentícia, em que a estrutura da pasta de cimento tende a ser mais porosa.

Ao determinar a resistência do concreto à degradação e do seu papel na proteção do aço embutido, não devemos considerar somente a porosidade capilar total, mas também o tamanho e interligação de poros. A Figura xx mostra a relação entre as propriedades de transporte de pasta de cimento, expressos como coeficiente de permeabilidade à água e a resistência à compressão como uma função da razão a/c e o grau de hidratação.

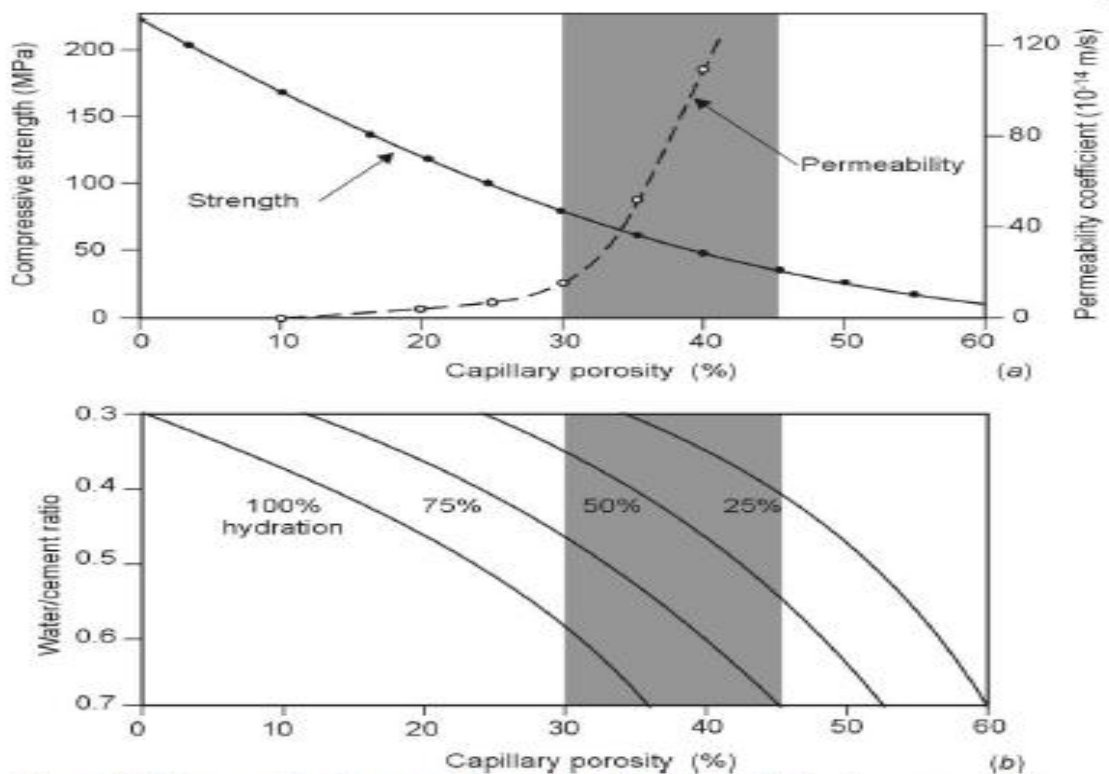


Figure 1.6 Influence of capillary porosity on strength and permeability of cement paste (a). Capillary porosity derives from a combination of water/cement ratio and degree of hydration (b) (Powers [7] from [3])

Figura 3.4.2.3 - Influência da porosidade capilar sobre a resistência e permeabilidade da pasta de cimento (gráfico a) e influência da porosidade capilar derivada da relação a/c e do grau de hidratação da pasta de cimento (gráfico b) - Fonte: Bertolini *et al.* 2004

A diminuição da porosidade capilar aumenta a resistência mecânica do concreto e reduz a permeabilidade da pasta de cimento hidratado. Mas uma distinção deve ser feita entre poros capilares de maiores dimensões, ou macroporos e poros de dimensões menores, ou microporos. A redução da porosidade, resultante de ambos os macro e micro-poros desempenha um papel essencial no aumento da resistência mecânica do concreto. Por outro lado, a influência da porosidade

sobre os processos de transporte não pode ser explicada simplesmente pelo volume e tamanho de poros, mas pelo conceito de conectividade e grau da continuidade do sistema de poros. Com a diminuição da porosidade o sistema capilar perde sua conectividade, assim, os processos de transporte no concreto passam a ser controlados pelos pequenos poros do gel. Como um resultado, água e cloretos irão penetrar apenas a uma curta distância no concreto.

A Tabela 3.4.2.1 mostra a relação água/cimento com grau de hidratação e com o tempo de cura da pasta de cimento. (BERTOLINI et al 2004)7.

Tabela 3.4.2.1 - Tempos de cura para atingir grau de hidratação e diminuição de macro poros na pasta de cimento. Fonte: Adaptação Table 1.2 Bertolini *et al.* 2004

Relação a/c	Grau de hidratação %	Tempo de cura
0,40	50	3 dias
0,45	60	7 dias
0,50	70	14 dias
0,60	92	6 meses
0,70	100	1 ano
>0,70	100	Impossível

Para a realização dos nossos ensaios adotamos os procedimentos conforme estabelecido na Norma ABNT MB2611/2005: “Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da Absorção de Água por Imersão - Índice de Vazios e Massa Específica”, calculado como descrito na fórmula a seguir:

$$\frac{M_{sat} - M_i}{M_{sat} - M_s} \times 100 = \text{índice de vazios} \quad (3.5)$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado

M_s = massa do corpo de prova seco em estufa

M_i = massa do corpo de prova saturado imerso em água

3.4.3 Ensaio de potencial corrosivo das armaduras

O mapeamento de potencial corrosivo das armaduras, utilizando ensaios não destrutivos, é uma técnica padronizada que é utilizada para prever a probabilidade de corrosão das armaduras em concreto armado. Neste método a diferença de potencial entre um eletrodo padrão e as armaduras dentro do concreto. Em geral o eletrodo padrão consiste de uma meia célula, uma vareta de cobre imersa em uma solução saturada de sulfato de cobre Cu/CuSO_4 , que mantém constante uma diferença de potencial conhecido. O eletrodo padrão é colocado em contato com a superfície de concreto externa da camada de cobertura das armaduras e então, é medida a diferença de potencial utilizando-se um voltímetro de alta impedância.

A conexão elétrica é obtida através de um cabo elétrico ligado à armadura e ao voltímetro, e a ligação iônica é obtida entre o eletrodo padrão, conectado com a camada de concreto de recobrimento das armaduras, permitindo assim a leitura da diferença de potencial, conforme apresentado na Figura 3.4.3.1 e 3.4.3.2.

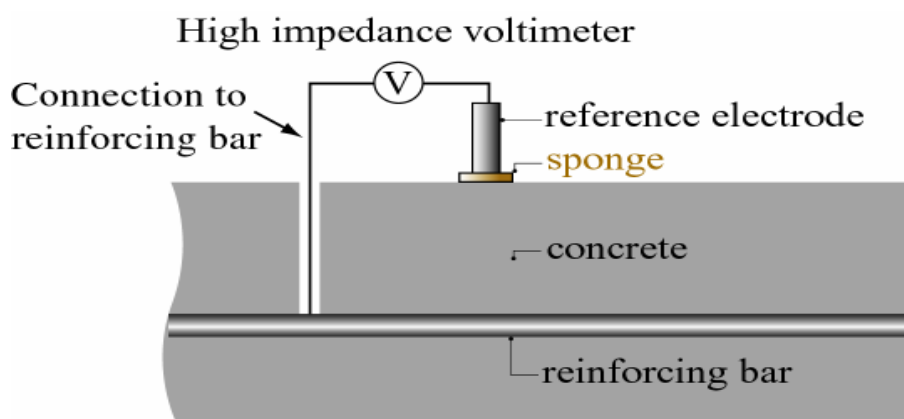


Figura 3.4.3.1 - Esquemático do processo de medição potencial de corrosão. Fonte: RILEM TC 154 EMC 2001

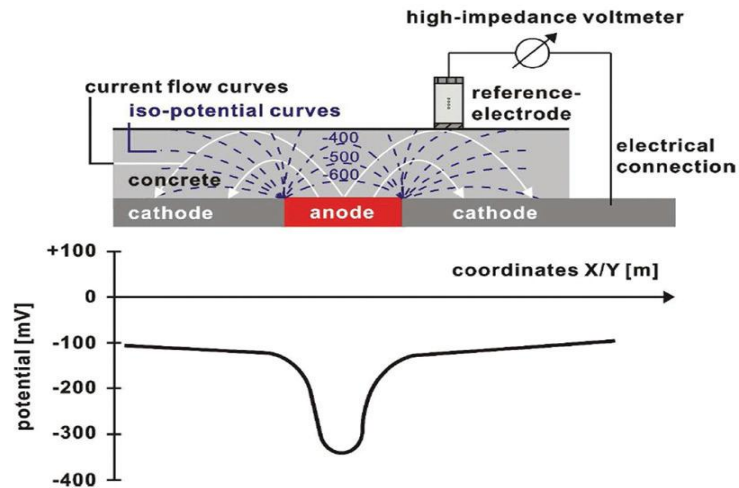


Figura 3.4.3.2 - Esquemático do processo de corrosão do aço no concreto com formação de macro célula.
Fonte: Manual de operação Canin Proceq 2012

As ordens de magnitude típicas do potencial de meia célula do aço em concreto medidas em relação a um eletrodo de referência de Cu/CuSO_4 estão no seguinte intervalo (RILEM TC 154-EMC 2001):

- Concreto saturado de água sem O_2 : -1000 a -900 mV
- Concreto úmido contaminado com cloreto: - 600 a - 400 mV
- Concreto úmido isento de cloreto: -200 a +100 mV
- Concreto úmido carbonatado: -400 a +100 mV
- Concreto seco carbonatado: 0 a +200 mV
- Concreto seco não carbonatado: 0 a + 200 mV

ASTM C876-91 (1999) e RILEM TC 154 EMC (2001) indicam que quanto mais negativo o potencial medido na superfície, maior a probabilidade de corrosão. Medições do potencial de meia-célula menores do que -350 mV em relação ao eletrodo de sulfato de cobre (CSE) correspondem a uma probabilidade existência de corrosão de 90%. Quando a medição é maior do que -200 mV (vs.CSE) a probabilidade é inferior a 10%. Quando o potencial é entre -350mV (CSE) e -200mV (CSE),o estado de corrosão da armadura não pode ser prevista.

Apesar de sua ampla aplicação, a interpretação dos resultados do mapeamento de potencial meia célula continuam a ser um desafio para os engenheiros. Uma das principais razões para esta dificuldade é que o mapeamento de potencial de

meia-célula só fornece informações para prever a probabilidade de ocorrência de corrosão, sem dar qualquer informação sobre a taxa (ou cinética) da corrosão.

Pour-Ghaz *et al.* (2009)¹, mostraram que, para a mesma taxa de corrosão, pode-se medir diferentes potenciais na superfície do concreto, o que corresponde a diferentes valores de resistividade do concreto e assim, têm-se mais do que uma probabilidade estimada de corrosão para o mesmo estado real de corrosão. Além disso, os valores obtidos pelo método de medição potencial meia célula, que indicando a probabilidade de corrosão do aço no concreto têm sido objeto de debate desde que eles foram criados, com base em um número limitado de estudos experimentais.(BERTOLINI *et al.* 2004)⁸.

A correlação entre os potenciais de meia-células na superfície do concreto e a probabilidade de corrosão na superfície do aço é muito sensível. Além da resistividade de concreto, tem-se relação de área de superfície de ânodo para cátodo (relação ânodo / cátodo) e espessura do recobrimento das armaduras.

Pour-Ghaz *et al.*(2009)², observaram que a maior resistividade do concreto ou alta espessura de recobrimento resultam em fraca correlação entre os dois potenciais, fazendo com que a interpretação dos dados de meia-célula na superfície do concreto para prever a probabilidade de corrosão das armaduras seja muito difícil.

A medição de potencial de meia-célula é também uma função do tipo de corrosão, no caso da corrosão de microcélula uniforme, em que a relação ânodo / cátodo é próxima da unidade, as medidas dos potenciais na superfície de concreto são tipicamente similares as medições do potencial na interface do aço com concreto. Por conseguinte, nestes casos, o monitoramento da meia-célula funciona como os potenciais sobre a superfície de concreto e são bastante representativos dos potenciais sobre a superfície do aço. No entanto, no caso de corrosão macrocélula não uniforme, localizada ou a corrosão por pites com uma pequena proporção de ânodo / cátodo, os potenciais medidos na superfície do concreto podem ser substancialmente diferentes das obtidas na interface aço com concreto. Quando o potencial medido na superfície do concreto é um valor alto

(isto é, mais positivo), a probabilidade da ocorrência de corrosão é baixa, de acordo com a norma ASTM C-876-91; no entanto, a corrosão pode ocorrer sob a forma de corrosão localizada, e neste caso a taxa de corrosão pode ser muito severa. Por outro lado, se o potencial medido na superfície de concreto é um valor baixo (isto é, mais negativo) a probabilidade de ocorrência da corrosão é mais alta, mas tal corrosão pode proceder de maneira mais uniforme com uma taxa de corrosão menos severa. A detecção precisa da corrosão localizada, em que a proporção ânodo / cátodo é pequena, pode não ser viável, utilizando o método de medição do potencial meia-célula, a menos que sejam fornecidas informações complementares do processo.

Em resumo, o mapeamento de potencial de meia-célula, tal como é utilizado na prática corrente, é propenso a erros e má interpretação. Em alguns casos, os testes de meia-célula fornecem dados ambíguos, que não podem ser usados para identificar zonas anódicas de corrosão com precisão. Sem complementos os dados de meia célula com medições da taxa de corrosão usando instrumentos de medição de taxa de corrosão, previsões por meio da modelagem, ou estimativas fiáveis sobre o estado de corrosão das armaduras, não podem ser feitas.

Infelizmente, os dispositivos de medição da taxa de corrosão existentes têm inerentes problemas de precisão e modelos para a predição da taxa de corrosão que requerem conhecimento do ânodo e cátodo em locais da superfície da armadura, o que não é uma exigência trivial. (OELSNER *et al.* 2006).

Fatores que afetam a medição do potencial: Considerando que as condições de corrosão sejam iguais (teor de cloreto ou carbonatação do concreto na superfície do aço), as principais influências nos potenciais da meia célula, que podem afetar as medições são:

- Umidade: A umidade exerce um grande efeito no potencial medido, conduzindo a valores mais negativos. A superfície do concreto poroso pode estar cheia de eletrólitos o que facilita a condução de eletricidade. Um dos principais fatores que influenciam a medição do potencial é a condição de umidade da superfície do concreto. As superfícies bastante úmidas podem aumentar os valores medidos para valores mais negativos,

entretanto os pontos onde ocorrem a corrosão e a intensidade da corrosão não mudam. Uma distribuição não homogênea da umidade (zonas mais secas e zonas mais úmidas) aumenta a diferença de potencial entre as zonas passivas e zonas de corrosão. A umidade da superfície do concreto deve ser previamente checada com a realização do teste de resistividade do concreto, pois em um concreto muito seco, por exemplo, a corrosão das armaduras pode não ser detectada.

- Temperatura: Para medir o potencial deverá haver um contato entre a sonda e os eletrólitos no sistema poroso do concreto. Por isso não é recomendável uma medição abaixo do ponto de congelamento, pois pode levar a leituras incorretas.
- Espessura da camada de concreto recobrimento: O potencial que pode ser medido na superfície fica mais positivo com o aumento da camada de concreto. Variações na camada de concreto podem causar desvios nas medições. Uma camada de concreto muito fina pode resultar em potenciais mais negativos que pareceriam indicar altos níveis de corrosão. Portanto, é aconselhável fazer medições da camada de concreto conjuntamente às medições de meia célula.
- Teor de oxigênio nas armaduras: Com a diminuição da concentração de oxigênio e o aumento do valor do pH em uma superfície de aço, o potencial fica mais negativo. Em determinados casos de componentes de concreto com alto grau de saturação de água, baixa porosidade e/ou camada de concreto bem alta e por isso baixo suprimento de oxigênio, o potencial na superfície do aço poderá ser bastante negativo embora não esteja acontecendo corrosão ativa. Sem verificação do estado de corrosão real, isso poderá levar a interpretações incorretas dos dados do potencial. (RILEM TC 154-EMC):

A ASTM C 876-91- (1999), estabelece os seguintes parâmetros de probabilidade para avaliação do potencial de corrosão medido em relação ao eletrodo de sulfato de cobre (CSE).

Tabela 3.4.3.1 - Probabilidade de condição de corrosão relacionada com medições de potencial meia célula. Fonte: Adaptação Tabela ASTM C876-91

Diferença de potencial (mV)	Possibilidade de corrosão das armaduras
	Evidência de corrosão visível
-350 a -500	95%
-200 a -350	50%
Maior que -200	5%

3.4.4 Ensaio resistividade do concreto

Para Mehta & Monteiro (2014), a resistividade elétrica do concreto é um importante parâmetro indicador da probabilidade de corrosão das armaduras em estruturas de concreto. Um concreto com resistividade alta (baixa condutibilidade) tem uma pequena possibilidade de desenvolver corrosão das armaduras.

Resistividade do concreto é a relação entre a voltagem aplicada e a corrente resultante, numa unidade de célula que é uma propriedade específica do material, independente geometria, a qual descreve a resistência elétrica, a dimensão de resistividade é a resistência multiplicada pelo comprimento, a sua unidade é geralmente $\Omega \text{ m}$ (ohm por metro). Condutividade é o inverso da resistividade. A resistividade do concreto é determinada medindo-se a diferença de potencial elétrico na superfície do mesmo. Ela é obtida pela aplicação de uma pequena corrente elétrica na superfície a ser analisada. A relação entre a corrente i e a tensão aplicada V é dada pela Lei de OHM:

$$iP = \frac{V}{R} \quad (3.6)$$

Onde R é a resistência do sistema. A resistência não é uma propriedade do material, ela depende das dimensões do sistema analisado. Assim sendo uma carga é padronizada de acordo com as dimensões do sistema, para determinar a

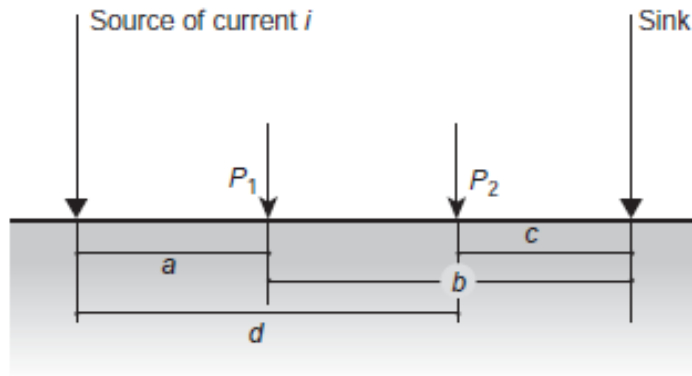
resistência do material, a resistência também é padronizada para se estabelecer a resistividade ρ como propriedade do material.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3.7)$$

Onde L é comprimento e A seção transversal do sistema. Tem-se:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi R^2} \quad (3.8)$$

Para determinar a resistividade do concreto entre dois pontos P_1 e P_2 aplica-se a equação de WENNER, conforme apresentado na Figura 3.4.4.1.



1 Figura 3.4.4.1 - Determinação da resistividade do material utilizando 2 eletrodos P_1 e P_2 . Fonte: Mehta 2014

$$V_1 = \frac{i\rho}{2\pi a} - \frac{i\rho}{2\pi b} \quad V_2 = \frac{i\rho}{2\pi d} - \frac{i\rho}{2\pi c} \quad (3.9)$$

A resistividade final do sistema será dada pela equação de WENNER:

$$\rho = \frac{2\pi a \Delta V}{i} [k\Omega cm] \quad (3.10)$$

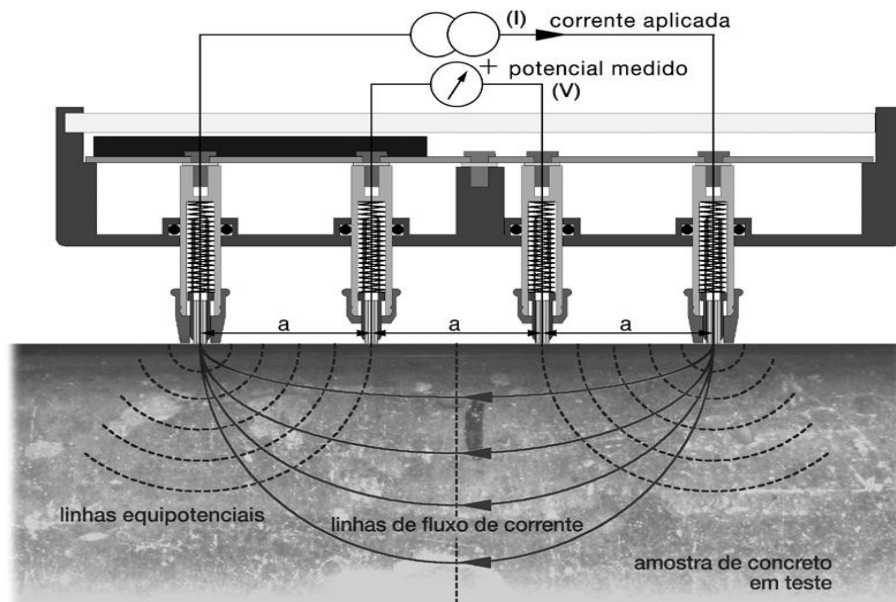


Figura 3.4.4.2 - Esquemático de medição da resistividade utilizando 4 sondas WENNER. Fonte: Manual de operação Resipod , Proceq 2012

É aplicada uma corrente às duas sondas nas extremidades e a diferença de potencial é medida entre as duas sondas internas. A corrente é carregada por íons no líquido do poro da estrutura. A resistividade calculada depende do espaçamento destas sondas, a Figura 3.4.4.2 mostra de forma esquemática a medição utilizando o sistema de 4 sondas WENNER.

$$\rho = \frac{2\pi aV}{I} [k\Omega cm] \quad (3.11)$$

O método de análise de resistividade potencial meia célula nos dá indicação da probabilidade da atividade de corrosão das armaduras, entretanto o método não nos permite medir a taxa de corrosão das armaduras no concreto. A taxa de corrosão depende da disponibilidade de oxigênio para reação catódica, que também depende da resistência elétrica do concreto, que por sua vez controla os movimentos de migração dos íons da zona anódica para zona catódica. A resistência elétrica do concreto depende por sua vez da microestrutura do concreto e da umidade contida no mesmo. (CARINO, 1999)

O método de ensaio para medição da resistividade do concreto foi padronizado pelo RILEM TC 154-EMC, (2001). A resistividade deve ser medida em pontos da estrutura expostas ao tempo e pode ser realizada a qualquer tempo da vida útil da estrutura, a temperatura deve ser sempre superior a 0°C. Para realização do ensaio o concreto deverá estar limpo livre de contaminações como também não deve possuir nenhum tipo de revestimento (pintura, por exemplo). A superfície deverá ser levemente umedecida para melhorar o contato com os eletrodos. Como o concreto pode absorver umidade a esponja da sonda e os plugs deverão ser constantemente umedecidos. A temperatura ambiente tem influência direta sobre os resultados, desta forma, deve-se evitar a realização dos ensaios com temperaturas muito altas ou muito baixas. Os ensaios deverão abranger uma área significativa e devem ser observadas ainda as seguintes situações:

- Composição do concreto;
- Tipo de exposição das estruturas (abrigada ou desabrigada);
- Direção predominante de ventos;
- Tipo e importância do elemento estrutural;
- Número representativo de medições para se obter uma média confiável da resistividade medida.

A resistividade está relacionada com a corrosão e proteção das armaduras no concreto. Em geral a baixa resistividade está relacionada com o alto risco de corrosão das armaduras. O mapeamento da resistividade nas estruturas mostrará os pontos mais permeáveis da estrutura onde, por exemplo, poderá ocorrer a penetração de íons cloretos que por sua vez levará a despassivação das armaduras e conseqüente corrosão das mesmas. O RILEM TC 154-EMC (2001) apresenta na Figura 3.4.4.3, os seguintes valores de referência de resistividade para concreto confeccionado com cimento Portland comum.

Ambiente	Resistividade do concreto ρ k Ω cm	
	Cimento Portland comum (CEM I)	Cimento de escória de alto forno (>65% escória) ou cinzas volantes (>25%) ou sílica ativa (5%)
Muito molhado, submerso, zona de respingos, câmara úmida	5-20	30-100
Exterior, exposto	10-40	50-200
Exterior, protegido, revestido, com tratamento hidrofóbico (sem carbonatação) (20°C / 80% RH)	20-50	100-400
Exterior, protegido como acima (com carbonatação)	100 e mais	200-600 e mais
Clima de ambiente interno (com carbonatação) 20°C / 50%RH	300 e mais	400-1000 e mais

Figura 3.4.4.3 - Resistividade do concreto confeccionado com cimento comum, concreto de estruturas maduras (idade > 10 anos).
Fonte: Adaptação RILEM TC 154 EMC

Estimativa da probabilidade de corrosão:

As medições de resistividade podem ser utilizadas para estimar a probabilidade de corrosão. Quando a resistividade elétrica (ρ) do concreto é baixa, a probabilidade de corrosão aumenta. Quando a resistividade elétrica é alta (por exemplo, no caso de concreto seco e carbonatado), a probabilidade de corrosão diminui. Testes empíricos chegaram aos seguintes valores típicos para a resistividade medidas, que podem ser usados para determinar a probabilidade de corrosão. Esses números são para cimento Portland comum a 20°C.(PROCEQ 2013)1.

- Quando $\rho \geq 100$ k Ω cm Risco de corrosão insignificante
- Quando $\rho = 50$ a 100 k Ω cm Risco de corrosão baixo
- Quando $\rho = 10$ a 50 k Ω cm Risco de corrosão moderado
- Quando $\rho \leq 10$ k Ω cm Risco de corrosão elevado

Indicação da taxa de corrosão:

A seguinte interpretação das medições de resistividade (ρ) do sistema de quatro sondas pelo método de Wenner tem sido citada com relação ao aço despassivado (BROOMFIELD, 2007).

- $\rho > 20$ k Ω cm Taxa de corrosão baixa
- ρ 10-20 k Ω cm Taxa de corrosão baixa a moderada
- ρ 5-10 k Ω cm Taxa de corrosão alta
- $\rho < 5$ k Ω cm Taxa de corrosão muito alta

O RILEM TC 154-EMC (2001) e PROCEQ (2013)² apresentam os seguintes fatores que podem influenciar a medição da resistividade:

- Presença de Armadura: A existência de armadura na região investigada influencia na resistividade elétrica porque são melhores condutoras que o concreto e a influência é maior nas zonas com recobrimento inferior a 30 mm;
- Tamanho do Agregado: A corrente flui pela rede poros do concreto assim sendo o tamanho do agregado tem influência direta na resistividade e para que se obtenham leituras mais precisas o espaçamento das sondas deverá ser maior que o tamanho máximo do agregado graúdo;
- Temperatura: A resistividade diminui à medida que a temperatura aumenta os valores de referência para medição da resistividade são definidos em 20°C. Estudos empíricos mostram que a elevação da temperatura em 1 grau pode reduzir a resistividade em 3% para concreto saturado e 5% para concreto seco. Os ensaios não devem ser realizados em temperaturas inferiores 0°C.
- Teor de Umidade: O teor de umidade muito alto diminui a resistividade, isto ocorre em função da saturação do concreto.
- Carbonatação: O concreto carbonatado apresenta resistividade maior que o concreto sem carbonatação, no entanto se a espessura da camada carbonatada for significativamente menor que o espaçamento das sondas o

efeito desta camada será pequeno. Mas se a profundidade carbonatada for muito espessa pode ser necessário aumentar o espaçamento das sondas para não obtermos resultados falseados.

4. METODOLOGIA

4.1 Introdução

Pretendeu-se partindo de um traço denominado de concreto de referência modificá-lo com a adição de resina epóxi emulsionável em água que foi misturada durante a confecção do concreto, para avaliar a características de resistência química que o mesmo adquiriu após a adição .

Avaliou-se também o uso da resina em forma de tintas para proteção externa dos corpos de prova. O estudo foi realizado sempre fazendo o comparativo entre o concreto de referência e o concreto modificado com a resina.

Foi adotada a seguinte nomenclatura para identificação e controle dos corpos de prova no decorrer do experimento.

- Concreto de referência simples: Concreto simples sem adição da resina e sem a barra de aço da armadura;
- Concreto resina simples: Concreto simples com adição da resina e sem a barra de aço da armadura;
- .Concreto pintado simples: Concreto referência simples sem adição da resina ,pintado e sem a barra de aço da armadura.
- Concreto referência armado: Concreto simples sem adição da resina e com a barra de aço da armadura
- Concreto resina armado: Concreto simples com adição da resina e com a barra de aço da armadura
- Concreto pintado armado: Concreto referência simples sem adição da resina, pintado e com a barra de aço da armadura.

A utilização da barra de aço embutida nos corpos de prova tem por finalidade permitir a realização dos experimentos com os ensaios de “ Potencial corrosivo das armaduras” e também para avaliar o grau de corrosão instalado com ou sem a formação de macro células e corrosão por pitting.

4.2 Seleção Dos Materiais

Os produtos aplicados, que possuíam fabricação industrializada, seriada e com processo produtivo controlado, especificamente para estes experimentos não foram passíveis de ensaios para caracterização dos mesmos. Foram utilizadas as informações obtidas através dos boletins técnicos fornecidos pelos respectivos fabricantes contendo todas as informações necessárias para condução dos experimentos.

4.2.1 Areia

A seleção da areia foi feita baseada no traço da argamassa estrutural ECC sugerida pelo fabricante da resina epóxi com mix de areias com uma curva granulométrica bem distribuída. A areia utilizada no experimento foi adquirida lavada ensacada com teor máximo de umidade de 4%.

Para se obter uma curva granulométrica bem distribuída foi necessário fazermos uma mistura das areias classificadas pelo fornecedor como media e fina em proporções de 3 partes da areia média para uma parte da areia fina. Esta mistura foi devidamente homogeneizada utilizando se uma betoneira.

Após a homogeneização amostras foram coletadas e em seguida devidamente classificadas no laboratório de concreto do DEMC, conforme apresentado na Tabela 4.2.1.1 (exemplo da amostra nº4).

As demais amostras analisadas apresentaram os tamanhos dos grãos e distribuição granulométrica similar às apresentadas nas Figuras 4.1.1.1

Em seguida toda areia foi seca em estufa e novamente armazenada em sacos plásticos e devidamente fechados.

Tabela 4.2.1.1 Caracterização da areia – Granulometria NBR NM 248/Agregado

Peneiras (mm)	Material Retido (g)	Porcentagem em Peso	
		Retida (%)	Retida Acumulada (%)
12,5	0,00	0,00	0,00
9,5	0,00	0,00	0,00
6,3	0,00	0,00	0,00
4,8	0,00	0,00	0,00
2,4	86,40	8,64	8,64
1,2	216,80	21,68	30,32
0,6	232,80	23,28	53,60
0,3	164,20	16,42	70,02
0,15	176,30	17,63	87,65
Fundo	123,50	12,35	100,00

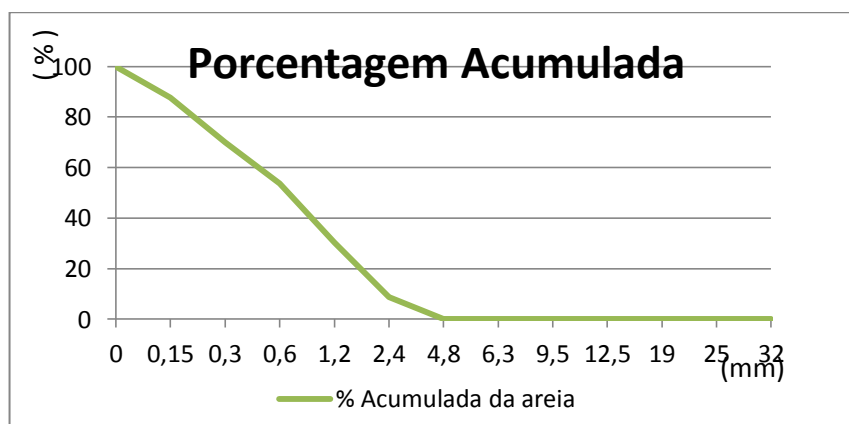


Figura 4.2.1.1 - Gráfico de caracterização da areia

Massa específica real da Areia Frasco de Chapman NBR9776

$$y_r = \frac{500gr}{L-200ml} \rightarrow y_r = \frac{500}{(393-200)ml} \rightarrow y_r = \frac{500}{193} \rightarrow y_r = \frac{2,591Kg}{dm^3} \quad (4.1)$$

Massa Especifica Aparente da Areia

$$ME = \frac{m}{v} \rightarrow ME = \frac{6151,3}{5,0} \rightarrow ME = 1.230,26 \frac{g}{l} \rightarrow ME = \frac{1,23Kg}{dm^3} \quad (4.2)$$

Onde:

ME = massa aparente

m = massa do material em gramas $m = M(material + recipiente) - M(recipiente)$

v = volume do recipiente em litros

4.2.2 Brita

A escolha do agregado graúdo foi feita baseada em estudo experimental realizado por Bărbuță e Harja (2008), para produção de concreto polímero confeccionado com resina epóxi. No estudo realizado o tamanho máximo do agregado graúdo ficou limitado a 8mm. A brita foi gentilmente cedida por um fornecedor já devidamente lavada seca e ensacada. A caracterização da brita foi realizada nos laboratórios de concreto do DEMC e estão apresentadas Tabela 4.2.2.1 e no gráfico da Figura 4.2.2.1.

Tabela 4.2.2.1 Caracterização da brita. Granulometria NBR NM 248 - Agregado

Peneiras (mm)	Material Retido (g)	Porcentagem em Peso	
		Retida (%)	Retida Acumulada (%)
12,5	0,00	0,00	0,00
9,5	0,00	0,00	0,00
6,3	72,53	3,91	3,91
4,8	620,30	33,43	37,33
2,4	1.085,80	58,51	95,84
1,2	0,00	0,00	95,84
0,6	0,00	0,00	95,84
0,3	0,00	0,00	95,84
0,15	0,00	0,00	95,84
Prato	77,12	4,16	100,00

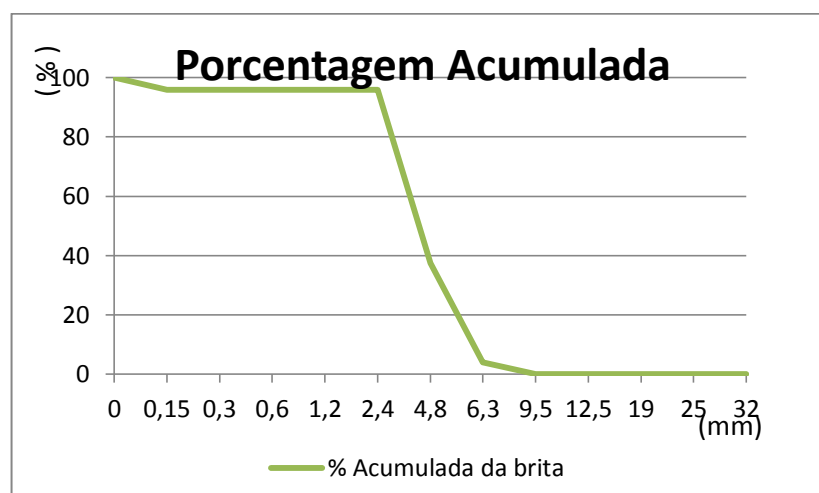


Figura 4.2.2.1 Gráfico de caracterização da brita.

4.2.3 Cimento CII F 32 - (produto industrializado de fabricação seriada)

A escolha do cimento foi realizada de acordo com a orientação do fabricante da resina, para confecção de argamassa estrutural ECC. A escolha do cimento composto com “filler” visa melhorar as propriedades do concreto tornando mais coeso e denso e compor junto com a areia uma boa homogeneidade da mistura. A caracterização apresentada parcialmente na Figura 4.2.3.1 abaixo. O relatório completo com a caracterização do cimento encontra-se no anexo 2.

RELATÓRIO DE ENSAIOS DE CIMENTO											TIPO / CLASSE: CP II-F-32		PERÍODO: set/14		EMISSÃO: 31/10/14						
Data	Químicos										Físicos										
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Perda Fogo	CaO Livre	Resid. Insol.	Equiv. Alcal.	Exp. Quente	Tempo de Pega Início	Tempo de Pega Fim	Cons. Normal	Blaine	# 200	# 325	Resistência à Compressão			
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	mm	h : min	h : min	%	cm ² /g	%	%	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
02	4,26	18,33	2,54	60,69	5,05	2,75	4,72	0,70	1,22	0,62	0,50	03:15	04:00	26,6	3.100	2,70	13,50	12,2	29,8	36,0	42,0
04	4,25	18,25	2,59	60,96	5,12	2,81	4,54	1,01	1,25	0,62	0,00	03:30	04:00	26,1	3.120	3,30	14,20	12,8	28,3	34,7	41,7
08	4,30	18,07	2,51	60,44	4,95	2,84	4,82	0,81	1,09	0,60	0,50	03:40	04:15	26,4	3.150	2,70	14,10	14,8	29,2	36,2	42,3
10	4,22	17,94	2,59	60,40	4,83	2,74	5,26	0,70	1,10	0,61	0,00	03:35	04:00	26,5	3.110	2,90	13,10	15,1	29,2	34,3	42,1
12	4,29	18,15	2,54	60,88	4,82	2,80	4,90	0,87	1,11	0,61	0,50	03:25	04:00	26,8	3.110	3,10	13,50	15,1	29,3	34,8	41,3
16	4,48	18,50	2,63	61,24	4,83	2,77	4,87	0,90	1,15	0,63	0,50	03:20	04:00	26,1	3.120	3,10	14,30	14,4	29,1	36,4	41,9
18	4,35	18,28	2,60	60,86	4,35	2,77	4,74	0,73	1,33	0,60	0,50	03:35	04:00	26,6	3.000	3,30	15,00	14,4	29,7	35,3	41,4
22	4,47	18,82	2,67	60,90	4,30	3,02	4,72	0,73	1,81	0,68	0,00	03:25	04:00	26,3	3.080	3,20	14,60	13,9	29,2	34,7	41,3
24	4,20	18,03	2,61	61,28	4,44	2,70	4,66	0,70	0,71	0,59	1,00	03:15	04:00	25,7	3.180	3,40	14,70	15,6	30,8	36,7	42,1
26	4,32	18,12	2,56	60,52	4,54	2,74	4,88	0,73	1,06	0,61	0,50	03:15	04:00	26,2	3.120	3,40	14,40	15,1	30,7	36,0	42,6
30	4,35	18,25	2,54	59,92	4,81	2,62	4,90	0,48	0,85	0,62	0,50	03:20	04:00	26,4	3.150	3,85	14,90	15,1	28,3	35,0	41,5
Media	4,32	18,25	2,59	60,74	4,73	2,78	4,78	0,76	1,15	0,62	0,41	03:25	04:01	26,3	3.113	3,17	14,25	14,4	29,4	35,5	41,9
Sd	0,09	0,24	0,05	0,40	0,28	0,10	0,21	0,14	0,28	0,02	0,30	00:09	00:05	0,3	46,28	0,33	0,58	1,1	0,8	0,8	0,4
Min	4,20	17,94	2,51	59,92	4,30	2,62	4,50	0,48	0,71	0,59	0,00	03:15	04:00	25,7	3.000	2,70	13,10	12,2	28,3	34,3	41,3
Max	4,48	18,82	2,67	61,28	5,12	3,02	5,26	1,01	1,81	0,68	1,00	03:40	04:15	26,8	3.180	3,80	15,00	15,6	30,8	36,7	42,6

Obs.: A Norma da ABNT não prevê a determinação da Resistência à Compressão a um dia para o CP II-F-32.
A massa específica média do CP II-F-32 ITAMBÉ é 3,11 g/cm³ (NBR NM 23).
As datas do relatório se referem ao dia de expedição do cimento.

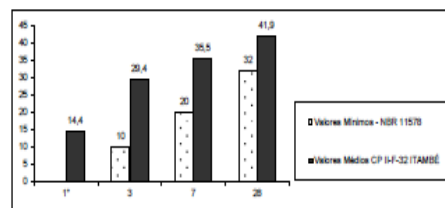


Figura 4.2.3.1 - Caracterização do cimento

4.2.4 Resina epóxi - (produto industrializado de fabricação seriada)

A resina epóxi líquida é um éter de deglicídio de Bisfenol A/F com 100% sólidos, auto emulsionável em água, ativada com solução aquosa de um endurecedor poliamidoamina modificado teor de sólidos 50% ± 1, não contém solventes orgânicos. O endurecedor pode ser facilmente diluído em água em um mínimo de aproximadamente 20%.

Não foram realizados ensaios para caracterização da resina e do endurecedor, as características encontram-se nos respectivos boletins técnicos no anexos 3. As características parciais e proporções de mistura são apresentadas nas Figuras 4.2.4.1 e 4.2.4.2.

PRODUTO	APLICAÇÕES	CARACTERÍSTICAS
Araldite PZ 3961	Tintas anti corrosivas, combinada com Aradur 3986. Ver artigo Abrafati.	Cura rápida, ótima adesão, pote life não visível, Excelente resistência a corrosão.
Aradur 3986	Tintas anticorrosivas, endurecedor da PZ 3961.	Idem ao PZ 3961.
Araldite PZ 3901	Araldite PZ 3901 Tinta para paredes hospitalares 2K epóxi / acrílico (Maincoat AE58) 2K epóxi / amina com Aradur 3805	Emulsão da GT 7071 com 55% de sólidos
Aradur 3805	Tintas para paredes, pisos, top coatings para Substratos metálicos	Longo pot-life
Aradur 39	Pintura para pisos, primer para concreto e top Coat p/ metais.	Zero VOC, Mais reativa que o Aradur 3805. Receitas com Resina Epoxi Líquida.
Aradur 3985	Autonivelante base água	Baixo brilho
Araldite PY 33757(PY340)	Primers/Adesivos/Coatings/p/ concreto e também em ECC(Concreto Polimérico). Rejunte epoxi	Bisfenol A/F - 100% sólidos - auto emulsionante
Aradur 340	Idem ao PY 33757(PY 340).	PAA emulsionada em água , boa flexibilidade, boa aderencia.
Araldite PZ 3907-1	Verniz epóxi/fenólico p/ Revestimento de Latas. Combinada com ARADUR 3365.	Resina epóxi tipo 7 diluída com água -55% sólidos

Figura 4.2.4.1 - Caracterização da resina epóxi

RESINA / CARACTERÍSTICAS	BASE QUÍMICA	HIDROGENIO ATIVO H+	TEOR DE SÓLIDOS %	ARALDITE PY 33757 (PY 340)	ARALDITE PY 3901	ARALDITE PZ 3961	ARALDITE GY 260	ARALDITE GY 279	ARALDITE PZ 3907-1
BASE QUÍMICA				BIS - A/F	BIS-A - TYPE 1	BIS A - TIPE 1	RBL - BIS-A	RBL DILUIDA	BIS A -TYPE 7
TEOR SÓLIDOS %				100%	55%	51 - 55%	100%	100%	55%
TEOR EPOXI eq/Kg				5,50 - 5,80	0,50 -0,56	1,81 -2,04	5,10 - 5,49	4,71 - 5,20	0,45 - 0,57
PROPORÇÃO		-	-	100 pp	100 pp	100 pp	100 pp	100 pp	100 PP
ARADUR 340	POLI AMINO AMIDA	215	50%	120 pp	22 pp	22 pp	113 pp	106 pp	Não sugerido
ARADUR 3805	ADUTO DE POLIAMINA	270	60%	Não sugerido	50 pp	Não sugerido	144 pp	135 pp	Não sugerido
ARADUR 3985	ADUTO DE POLIAMINA MODIFICADO	265	55%	150 pp	27 pp	Não sugerido	140 pp	131 pp	Não sugerido
ARADUR 39	ADUTO DE POLIAMINA MODIFICADO	335	50%	Não sugerido	Não sugerido	Não sugerido	177 pp	166 pp	Não sugerido
ARADUR 3986	ADUTO DE POLIAMINA FORMULADO	415	40%	Não sugerido	Não sugerido	32,5 pp	Não sugerido	Não sugerido	Não sugerido
ARADUR 3365	RESOL	-X-X-X-X	70%	Não sugerido	Não sugerido	Não sugerido	Não sugerido	Não sugerido	14pp

Figura 4.2.4.2 - Proporções de mistura da resina epóxi

4.2.5 Tinta epóxi Novolac - (produto industrializado de fabricação seriada)

A tinta epóxi Novolac é uma tinta de alta espessura, sem solventes, baixo odor, curada com amina. Possui excelentes propriedades de retenção nas bordas o que propicia proteção superior aos epóxis convencionais. Apresenta altíssima resistência a produtos químicos, sendo, portanto indicada para serviços de imersão como, por exemplo, tanques de lastro e de combustíveis refinados, resiste 120°C ao calor seco podendo ser usada como primer e acabamento.

Apresenta também aspecto brilhante, cor branca, teor de sólidos por volume igual a $(98 \pm 2)\%$, espessura de película seca recomendada por demão é de 250 micrometros. A ficha técnica da tinta epóxi Novolac encontra-se no anexo 4.

Para a aplicação da tinta deverão ser seguidas as seguintes recomendações:

- Preparo indicado: SSPC SP 13 / NACE 6
- A superfície deve estar totalmente limpa e seca;
- O concreto e a argamassa deverão estar curados pelo menos por 28 dias a 24°C;
- A superfície deverá estar livre da nata da cal, pó de concreto, sujeira, materiais formados durante o processo, membranas de cura , cimento solto e endurecedores;
- Aplicar o selador epóxi apropriado;
- Os buracos (bug holes), bolsas de ar e outros defeitos deverão ser preenchidos com massa epóxi apropriada.

4.2.6 Massa epóxi - (produto industrializado de fabricação seriada)

A massa epóxi a ser utilizada para calafetar as falhas no concreto (bug holes) é uma massa bi componente sem solventes, 100% sólidos, curada com poliamida. Adere sobre qualquer superfície limpa, seca ou úmida, adere sobre superfícies pintadas com primers epóxis e pode ser aplicada abaixo da água e cura tanto quanto ao ar livre. Após a cura, forma uma película extremamente dura, de alta

resistência à abrasão e ao impacto, que retarda substancialmente a erosão e a corrosão. Pode ser aplicada em espessuras de 125 micrometros até 50 mm, sem problema de cura. Devendo ser aplicada em uma única camada. A ficha técnica da massa epóxi encontra-se no anexo 5.

4.2.7 Barra de aço CA50 - (produto industrializado de fabricação seriada)

O aço a ser utilizado nos nossos experimentos foi o CA50 diâmetro 8.0 mm , as características técnicas do aço foram fixados pela Norma ABNT NBR 7480/2007 “Aço destinado a armaduras de concreto armado – Especificação” as características parciais do aço estão apresentadas na Figura 4.2.7.1.

Especificações técnicas do GG-50

Along min em 10 ø	Diam pino dobra 180° (mm)	Diâmetro nominal (mm)	Lim resist (MPa)	Massa nominal (kg/m)	Resist escoam (MPa)
8 %	4 x Dn	6,3	1,10 Fy	0,245	500
8 %	4 x Dn	8,0	1,10 Fy	0,395	500
8 %	4 x Dn	10,0	1,10 Fy	0,617	500
8 %	4 x Dn	12,5	1,10 Fy	0,963	500
8 %	4 x Dn	16,0	1,10 Fy	1,578	500
8 %	6 x Dn	20,0	1,10 Fy	2,466	500
8 %	6 x Dn	25,0	1,10 Fy	3,853	500
8 %	8 x Dn	32,0	1,10 Fy	6,313	500
8 %	8 x Dn	40,0	1,10 Fy	9,865	500

Figura 4.2.7.1 - Caracterização do aço CA50 8.0 mm

4.2.8 Ácido Clorídrico PA 37% - (produto industrializado de fabricação seriada)

O ácido clorídrico não é um composto químico natural comum. A substância química ácido clorídrico é um ácido inorgânico, solúvel em água, álcool etílico, benzeno. Líquido fumegante, transparente, ligeiramente amarelado. Nas análises laboratoriais o HCl PA. 36,46 apresentou os seguintes resultados no ensaio concentração 36,5 a 38,0%, densidade 1,181g/ml cor (APHA) 10.

A ficha técnica do ácido clorídrico encontra-se no anexo 6.

4.3 Determinação Do Traço Inicial

Para determinação do traço inicial, partiu-se da sugestão do fabricante da resina para preparação de uma argamassa estrutural, denominada pelo mesmo como ECC “epoxy cement concrete”. Esta argamassa é utilizada para reparos em estruturas de concreto, devido capacidade do epóxi de reter água no concreto e melhorar a aderência, mesmo quando aplicada em camadas muito finas, 1mm.

A Tabela 4.3.1 apresenta traço para argamassa estrutural, sugerido pelo fabricante da resina.

Tabela 4.3.1 - Traço sugerido para argamassa estrutural ECC

Componentes	Peso (Kg)
Cimento Portland CII F 32	0,870
Areia de quartzo granulometria 0,08 a 0,5 mm	0,900
Areia de quartzo granulometria 0,5 a 1,0 mm	0,900
Areia de quartzo granulometria 1,0 a 2,0 mm	0,900
Resina epóxi emulsionável componente A	0,048
Agente de cura epóxi emulsionável componente B	0,058
Água	0,300

De acordo ainda com o fabricante da resina, a argamassa preparada com a dosagem apresentada na Tabela 4.3.2 possui as seguintes características estruturais:

Tabela 4.3.2 - Características da argamassa estrutural ECC

Característica	Valores
Resistência a compressão	57 N/mm ²
Modulo de elasticidade na compressão	25.270 N/mm ²
Resistência à flexão	11 n/mm ²
Coefficiente de expansão térmica linear – temperatura C° 20 a 30	14,53 x 10 ⁻³ °C ⁻¹
Condições de cura	10 dias a 25°C

Partindo do traço da argamassa estrutural sugerida pelo fabricante da resina, foi feita a substituição da parte da areia pelo agregado graúdo.

Durante a confecção dos corpos de prova experimentais utilizando somente a substituição de parte da areia pelo agregado graúdo verificou-se que a plasticidade do concreto ficou bastante comprometida devido uma relação água /cimento ($\approx 0,35$) muito reduzida. Foi confeccionado então uma, segunda série de corpos de prova, desta vez acrescentado um super plastificante para melhorar a plasticidade, para concreto convencional, ver Figura 4.3.1. Uma terceira série de corpos de referência e controle foi confeccionada, sem uso da resina e com uso do super plastificante. Cada série consistia de 3 corpos de prova, que foram moldados em formas plásticas descartáveis mantidas hermeticamente fechadas para evitar a perda de água. Os corpos de prova modificados com a resina epóxi e referência, foram mantidos no Laboratório de Concreto do DEMC para cura durante 7 dias. Este procedimento foi adotado, pois conforme relatado por Aggarwal (2007 apud Popovic, 2007), a cura úmida pode degradar e modificar a resistência mecânica de argamassas modificadas com polímeros. A Tabela 4.3.3 apresenta o traço experimental 1.

Tabela 4.3.3 - Traço experimental 1

Componentes	Peso (Kg)
Cimento Portland CII F 32	0,870
Brita de gnaiss granulometria 00	1,650
Areia de quartzo granulometria 1,0 a 2,0 mm	0,870
Resina epóxi emulsionável componente A	0,048
Agente de cura epóxi emulsionável componente B	0,058
Água	0,300
Super plastificante a base de policarboxilato (0,2%)	0,0174



Figura 4.3.1 - Série de corpos de prova experimentais, após 7 dias de cura em laboratório.

Ao moldar os corpos de prova verificou-se que havia uma significativa diferença de pesos entre os mesmos. Os corpos moldados com a resina epóxi eram mais leves que os corpos de prova de referência. Este fato já havia sido descrito por Júpiter *et al.* (2010)¹, (“ verificamos que de acordo com porcentagem de resina que é acrescida, o peso e a densidade dos corpos de prova diminuem de maneira linear. A diminuição do peso é devido a resina epóxi possuir menor densidade que o cimento”). Os corpos de prova do traço experimental 1, moldados apresentaram uma variação de peso conforme mostra a Tabela 4.3.4:

Tabela 4.3.4 - Peso dos corpos de prova do traço experimental 1

Corpos de prova com resina (gramas)	Corpos de prova de referência (gramas)	Diferença de peso (gramas)
3.034	3.268	234
3.018	3.272	254
3.041	3.274	233
Peso Médio 3.031,00	Peso Médio 3.271,33	Média 240,33

Após cura e desmoldagem os corpos de prova foram inspecionados visualmente, tendo apresentado boas condições, foram verificados apenas pequenos buracos na superfície “bug holes” que são normais. Os corpos de provas foram preparados, retificando-se a base e topo dos mesmos, para serem submetidos à compressão axial simples. A média dos resultados da resistência à compressão,

para cada série, mostrou-se elevada em relação aos concretos convencionalmente utilizados. Tal fato deveu-se a baixa relação água/cimento utilizada e ao uso de super plastificante.

- Serie 1 - Concreto com Resina e Super Plastificante: Média 41,9 MPa;
- Serie 2 - Concreto Resina sem Super Plastificante : Média 40,2 MPa;
- Série 3 - Concreto de Referência com Super plastificante: Média 43,7 Mpa.

Os valores médios obtidos nos ensaios de compressão axial demonstraram que o concreto confeccionado com o traço experimental 1 era de excelente qualidade, porém para nossos experimentos um concreto com a qualidade excelente poderia falsear os resultados que pretendemos observar com o uso resina epóxi.

Um concreto com tal qualidade poderia proporcionar uma barreira contra o ataque da solução ácida e contra a penetração de íons cloretos.

Para observar melhor o comportamento da resina epóxi seria necessário alterar o traço do concreto para permitir que o ataque da solução ácida fosse mais acentuado e conseqüente penetração de íons cloretos.

Três novos traços foram preparados para ter um concreto com resistência à compressão na faixa de 25 MPa a no máximo 30 MPa. Durante a preparação modificou-se a quantidade do cimento, alterou-se a relação água/cimento e o uso do super plastificante foi suprimido. Foi estabelecido o slump 70 ± 10 mm para facilitar a trabalhabilidade.

Todos os traços experimentais consistiam de 2 séries com três corpos de prova cada, sempre moldados utilizando-se formas plásticas descartáveis devidamente fechadas ,para evitar a perda de água sendo o concreto curado em laboratório por 7 dias.

Os melhores resultados foram obtidos com traço experimental de 3 , cuja média dos resultados dos ensaios de compressão axial simples ficou abaixo de 30 MPa. A diferença entre os traços do concreto referência e concretos modificados é somente a adição da resina epóxi e do agente de cura, os demais componentes do concreto são exatamente os mesmos inclusive em quantitativos.

A Tabela 4.3.5 apresentam os resultados do ensaio de compressão axial dos traços experimentais.

Tabela 4.3.5 - Traços experimentais: resistência à compressão axial

Traço experimental	Concreto de referência Resistência média - MPa	Concreto com resina Resistência média- MPa
Traço 02	34,2	31,6
Traço 03	29,4	26,2
Traço 04	21,7	18,9

As Tabelas 4.3.6 e 4.3.7 mostram a composição e a diferença entre os traços do concreto de referência e concreto modificado com resina epóxi.

Tabela 4.3.6 Traço experimental 3 concreto referência

Componentes	Peso Kg
Brita de ganisse granulometria 00	1,650
Areia de quartzo granulometria 1,0 a 2,0 mm	0,870
Cimento Portland CII F 32	0,800
Água (a/c 0,56)	0,450

Tabela 4.3.7 - Traço experimental 3 concreto modificado com resina

Componentes	Peso Kg
Brita de ganisse granulometria 00	1,650
Areia de quartzo granulometria 1,0 a 2,0 mm	0,870
Resina epóxi emulsionável componente A	0,048
Agente de cura epoxi emulsionável componente B	0,058
Cimento Portland CII F 32	0,800
Água (a/c 0,56)	0,450



Figura 4.3.2 - Slump teste (75 mm) do traço do concreto referência 3 sem adição da resina epóxi.



Figura 4.3.3 Slump teste (62 mm) do traço concreto referência 3 com adição da resina epóxi.

Durante a preparação dos novos traços experimentais, a diferença de peso entre traços de concretos com resina e os concretos sem resina continuou apresentando significativa diferença, também no Slump teste os concretos modificados com a resina epóxi apresentaram um abatimento menor que o concreto de referência, cerca de 13mm 17,33%, como mostrado nas Figuras 4.3.2 e 4.3.3. O concreto confeccionado com a resina epóxi era mais coeso.

Outro fato importante observado foi que os traços que não continham a resina, apresentaram a resistência a compressão aos 7 dias superior aos concretos confeccionados com resina. Este fato também já havia sido observado por Júpter *et al.*, (2010)², isto acontece, pois nos concretos sem a resina o processo de hidratação inicial dos materiais cimentícios acontece modo mais rápido. Nos concretos modificados com resina epóxi, devido a formação de filme coalescente e contínuo, o processo de hidratação ocorre mais lento, porém há um ganho de resistência contínuo, mostrando que as resinas epóxis não afetam o processo de hidratação final do concreto.

4.4 Determinação Da Solução Ácida De Ataque.

De modo geral os concretos confeccionados com cimento Portland não possuem boa resistência aos ataques de ácidos. O concreto confeccionado com cimento Portland resiste a uma exposição prologada a uma solução com pH de 3 ou inferior. Os mesmos podem resistir a alguns ácidos fracos principalmente se expostos ocasionalmente.

Em estudo realizado por De Ceukelaire (1991), utilizando uma solução de ácido clorídrico a 1% para ataque em corpos de prova de argamassas, confeccionados com cimento Portland traço 1:3 e relação a/c 0,50 este verificou que era necessário em torno de 14 dias para que a solução alcançasse o equilíbrio. No mesmo estudo De Ceukelaire, (1991), observou que o tempo gasto para solução entrar em equilíbrio estava relacionada à capacidade do cimento produzir o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , e que isto mudava a mineralogia do concreto, devido ao processo de lixiviação, causando também a perda de resistência e de massa deste.

O ácido clorídrico reage com o Ca(OH)_2 do cimento hidratado, formando na maioria dos casos compostos que são solúveis em água e que são em seguida lixiviados. De acordo com ACI-515 (1979), o ácido clorídrico em qualquer concentração pode deteriorar rapidamente o concreto de cimento Portland.

Rasiah (2012), afirmou que as principais reações que envolvem o ataque de ácido clorídrico ao concreto são as seguintes:

- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – Cloreto de cálcio dihidratado
(4.3)
- $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_4\text{SiO}_4$ – Cloreto de cálcio e ácido silícico. (4.4)

Estes compostos são altamente solúveis em água. Baseando-se ainda nos estudos realizados por Siad *et al.* (2009), optou-se por fazer a solução de ataque com ácido clorídrico a 5%, dosada em volume, para evitar a rápida entrada em equilíbrio da solução de ataque.

O pH foi monitorado para que a solução de ataque mantivesse-se sempre com valores de pH abaixo 2 pois conforme já mencionado anteriormente, os concretos de cimento Portland não resistem a exposições prolongadas de soluções ácidas com pH 3 ou inferiores. A solução foi renovada todas as vezes que o monitoramento apresentou um pH acima do mínimo estipulado.

Para acelerar o processo de deterioração do concreto, foram executados ciclos imersão e secagem dos corpos de prova. Estes ciclos consistiram de 3 dias em imersão na solução e 3 dias secagem até que fosse atingido todo o período de estudo que será de 150 dias corridos.

4.4.1 Cálculo do pH inicial da solução de ataque

Uma solução de cloreto de hidrogênio (ácido clorídrico), em sua forma mais pura, com a denominação de "P.A." (Pureza Analítica), é encontrada em uma solução de 37 a 38% em massa.

A solução de ataque a 5% será composta com água e ácido clorídrico "PA" 37%.

- 95 partes de água – 95 litros
- 5 partes de ácido clorídrico – 5 litros
- Volume total da solução 100 partes – 100 litros
- Densidade do HCl = 1,181Kg/dm³
- 5 litros de HCl x 1,81 = 5,91 Kg
- Massa de HCl total na solução: $5,91\text{Kg} \times 37\% = 2,1867\text{kg}$ (4.5)

- Massa molar do HCl = massa de H + massa de Cl = $36,00122 \frac{g}{mol}$ (4.6)

- Concentração total de HCl solução:

$$2,186 \text{ kg} \times \frac{10^3}{36,00122} = 60,739 \text{ mol HCl} \quad (4.8)$$

- Concentração de HCl por litro de solução: $\frac{60,739 \text{ mol}}{100 \text{ litros}} = 0,6074 \frac{\text{mol}}{\text{litro}}$ (4.9)

- Cálculo do pH da solução: $-\text{Log } H^+ = -\text{Log } 0,6074 = 0,2165$ (4.10)

pH da solução inicial: pH 0,22

Assim sendo a solução de ataque terá um pH inicial igual pH 0,22 considerando a solução com 5% de ácido clorídrico PA 37%.

4.5 Determinação Da Quantidade De Corpos De Prova.

Para determinação da quantidade de corpos de prova levou-se em consideração a quantidade de ensaios a serem realizados de modo a ter uma amostragem representativa dos mesmos. Determinou-se que seriam confeccionadas 6 series de corpos de prova para cada composta com seus respectivos quantitativos conforme listado a seguir:

- Corpos de prova de concreto referência simples: 18 unidades
- Corpos de prova de concreto referência armados: 11 unidades
- Corpos de prova concreto com resina epóxi simples: 18 unidades
- Corpos de prova com resina epóxi armados: 11 unidades
- Corpos de prova concreto referência simples Pintados: 18 unidades
- Corpos de prova concreto referencia pintados e armados: 11 unidades.

Foram confeccionados ainda mais 3 corpos prova de reserva para cada uma das séries estabelecidas, totalizando 105 corpos de prova moldados.

Todos os corpos de prova foram moldados em formas de plástico descartáveis com tampa de vedação para impedir a evaporação da água. As formas serão identificadas seguindo a nomenclatura da série a qual pertence, assim tem-se, por exemplo:

- “Corpo de prova referência armado 1”
- “Corpo de prova resina simples 5”
- “Corpo de prova pintado armado 8”

A numeração foi feita de forma simples para permitir a rápida identificação da forma e do concreto contido na mesma como apresentado nas Figuras 4.5.1.

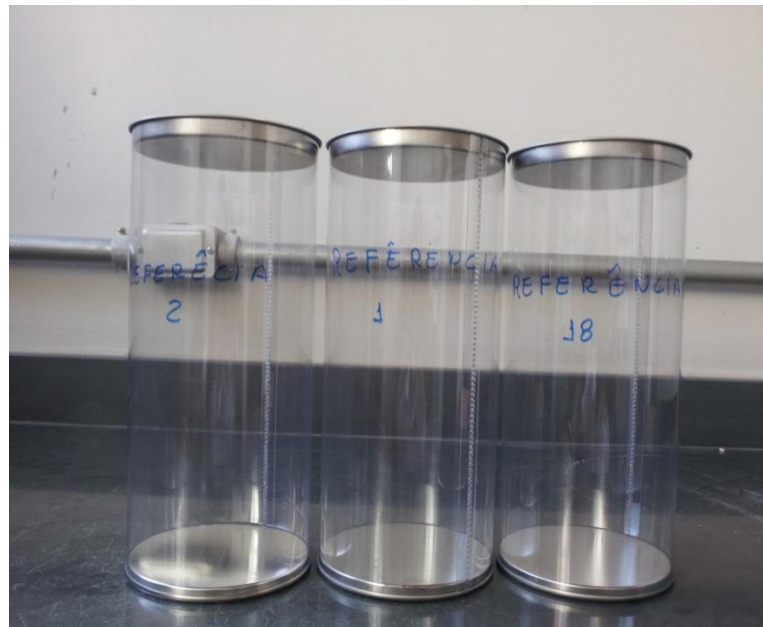


Figura 4.5.1 - Forma plástica com identificação dos corpos de prova.

4.6 Confeção Dos Corpos De Prova

Antes de confeccionar os corpos de prova todas as formas plásticas foram devidamente identificadas e separadas de acordo com suas séries previamente estabelecidas. Para preparação das formas destinadas aos concretos armados foram cortadas 42 barras de aço CA50 diâmetro de 8,0mm, utilizando-se um gabarito para assegurar que todas as barras tivessem tamanho idêntico, igual 135mm, que nos garantiu um recobrimento mínimo de 30 mm no topo e na base e 42 mm nas laterais. Também foram cortados, utilizando-se um gabarito arames PG7/BWG18 com bitola de 1,24mm, para ancorar e centralizar as barras nas fôrmas, a estanqueidade das fôrmas e posicionamentos dos arames foi feito com fita adesiva filamentosa, semitransparente, de 25 mm de largura com adesividade

de (32 ± 4) g/mm, conforme norma ASTM D 1000. A Figura 4.6.1 mostra a barra instalada na forma plástica descartável.

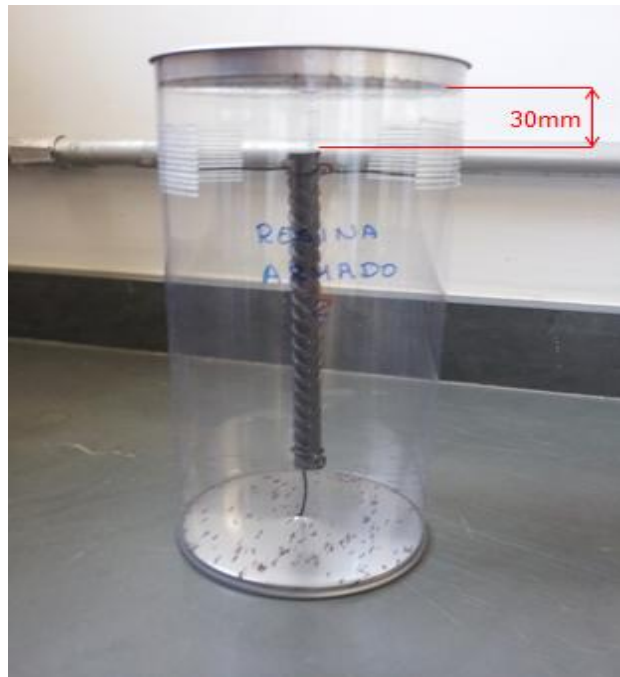


Figura 4.6.1 - Ancoragem das barras de aço nas formas descartáveis.

4.6.1 Confeção dos corpos de prova do concreto referência e pintados

Todos os materiais foram devidamente separados e pesados, a areia e a brita já haviam sido secas previamente, em estufa e estavam armazenados em sacos plásticos vedados para não absorverem umidade, a água foi dosada em massa na hora de execução do concreto.

Os corpos de prova das séries referência simples, referência armado, referência pintado e referência pintado e armado e seus respectivos reservas, foram confeccionados com o mesmo traço e portando moldados de uma única vez. O concreto foi confeccionado em betoneira de eixo vertical capacidade para 200 litros. Para moldagem destes corpos de prova adotou-se a seguinte sequência de execução.

- Imprimação da betoneira com traço de argamassa areia e cimento 1:3 relação A/C 0,50 e descarte logo em seguida.
- Adicionar 50% da água e toda a brita;
- Adicionar todo o cimento;
- Adicionar a areia e restante da água.

Após confecção do concreto os corpos de prova foram moldados em formas plásticas descartáveis e o concreto adensado em mesa vibratória por 10 segundos a primeira camada e por 10 segundos a segunda camada, conforme mostrado nas Figuras 4.6.1.1 e 4.6.1.2.



Figura 4.6.1.1 - Moldagem dos corpos de prova concreto referência e pintados - primeira etapa.



Figura 4.6.1.2 - Moldagem dos corpos de prova concreto referência e pintado - segunda etapa.

4.6.2 Confeção dos corpos de prova concreto com resina epóxi

O modo de preparação do concreto modificado com a resina epóxi em relação ao concreto de referência não diferiu muito. A resina epóxi já devidamente catalisada e induzida foi acrescentada na etapa final de mistura do concreto juntamente com o restante final da água de emassamento.

Como a resina epóxi requer um tempo maior de mistura e indução (de 3 a 10 minutos conforme informações do fabricante) o preparo da mistura foi realizado antes de iniciarmos o preparo do concreto, de modo que no momento da adição o intervalo requerido para indução já tivesse sido alcançado. O tempo de indução consiste no tempo necessário para se iniciar a reação de polimerização.

Após a adição e mistura da resina ao concreto os corpos de prova foram moldados e adensados em mesa vibratória seguindo exatamente os mesmos critérios adotados para moldagem do concreto de referência, conforme apresentado nas Figuras 4.6.2.1, 4.6.2.2, 4.6.2.3, 4.6.2.4, 4.6.2.5 e 4.2.6.6.



Figura 4.6.2.1 - Mistura da resina epóxi e do agente de cura.



Figura 4.6.2.2 - Resina já preparada aguardando tempo de indução.



Figura 4.6.2.3 - Mistura da resina ao concreto, juntamente com a última parte da água .



Figura 4.6.2.4 - Mistura da resina ao concreto, juntamente com a última parte da água.



Figura 4.6.2.5 - Moldagem dos corpos de prova armados.



Figura 4.6.2.6 - Formas tampadas após moldagem final.

Finalizada a moldagem todas as formas foram imediatamente fechadas para evitar a perda de água por evaporação. Os corpos de prova foram mantidos na temperatura ambiente, por 28 dias, dentro do laboratório de concreto do DEMC

para cura. A Figura 4.6.2.7 mostra os corpos de prova após 3 dias de cura , ainda apresentando um pouco de umidade.



Figura 4.6.2.7 - Corpos de prova após 3 dias de cura .
Concreto ainda apresenta umidade dentro das formas descartáveis.

4.7 Desmoldagem Identificação Dos Corpos De Prova

Decorridos 28 dias de cura no laboratório em temperatura ambiente os corpos de prova foram retificados ainda dentro da forma descartável e em seguida identificados para serem colocados na solução de ataque, ver Figura 4.7.1.

Todos os corpos de prova foram medidos e pesados. Novamente pode-se constatar a diferença de peso entre os corpos de prova do concreto de referência e o concreto modificado com resina. Conforme apresentado na Tabela 5.1.1 do Capítulo 5 Item 5.1 Ensaio Iniciais.



Figura 4.7.1 - Corpos de prova retificados e identificados.

4.8 Preparação Dos Corpos De Prova Para Pintura

Um dos principais problemas ao se aplicar a proteção por sistema de pinturas em qualquer tipo de estrutura, são as arestas vivas pois nestes pontos acontece um afinamento do revestimento, chamado de “fuga de borda”, tornando estes pontos frágeis e susceptíveis a falhas. A norma ISO 12944-3 estabelece critérios para minimizar o problema de fuga de bordas com arredondamento das quinas vivas conforme mostra a Figura 4.8.1. Foi adotado para nossos corpos de prova um raio de 3 mm para evitar que estes pontos frágeis possam interferir nos nossos experimentos. Outro problema comum em concretos são os pequenos buracos formados durante a moldagem “pug holes”, estas pequenas falhas também podem comprometer os experimentos, para solucionar estes problemas foi aplicada após a ultima demão de pintura a massa epóxi rígida.

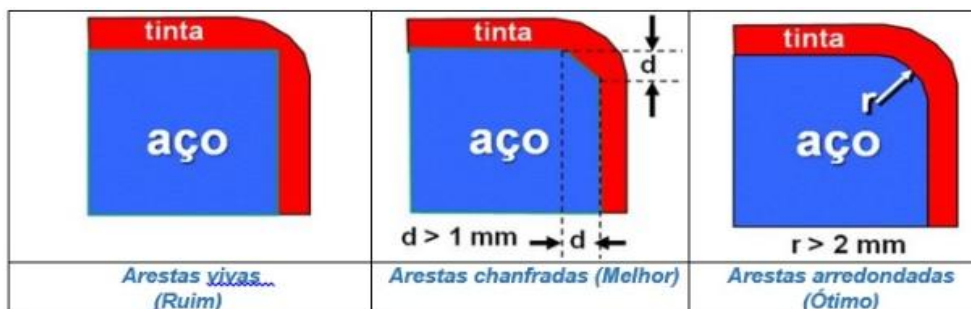


Figura 4.8.1. - Acabamentos de quinas vivas para evitar fuga de borda.
Fonte: ISO 12944-3

A pintura dos corpos de prova foi realizada em três demãos conforme esquema descrito a seguir totalizando um revestimentos de 375 μ m. A espessura do filme em cada demão foi controlado utilizando um “Pente de medição de película úmida de tinta” Figura 4.8.2. A utilização do pente de controle de espessura úmida de tinta permite controlar a espessura final do revestimento após a secagem e cura da tinta. O intervalo entre demãos foi respeitado conforme orientação do fabricante das tintas, a cura final do revestimento também seguiu a orientação do fabricante que foi de 5 dias considerando a temperatura média de 25°C.

- Primeira demão aplicação do selador epóxi com 75 μ m, Figura 4.8.3.
- Segunda demão aplicação da tinta epóxi novolac com 150 μ m;
- Terceira demão final aplicação da tinta epóxi novolac com 150 μ m.

Total da espessura do revestimento: 375 μ m

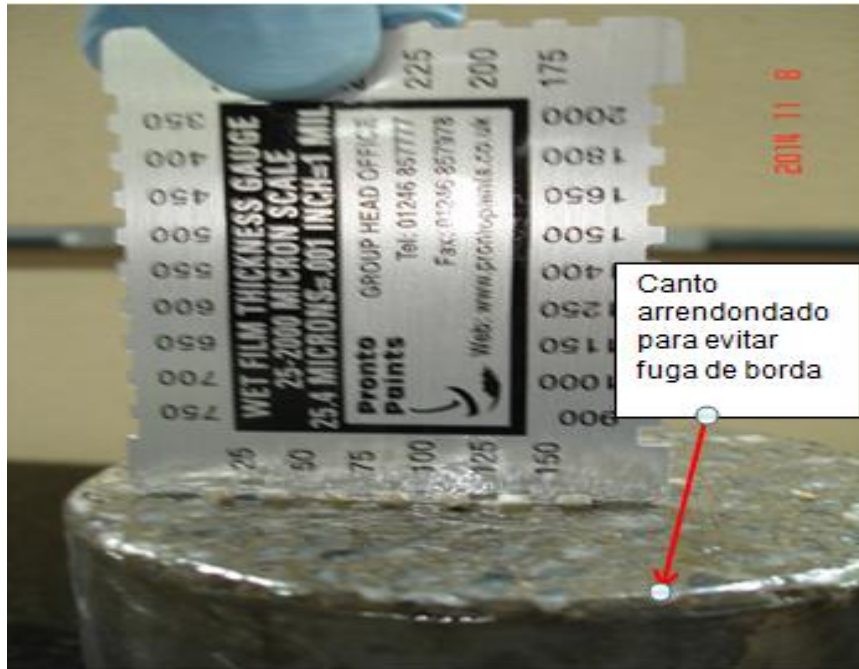


Figura 4.8.2 – Aplicação do Selador Epóxi e medição da espessura da película úmida 75 μm .



Figura 4.8.3 – Aplicação do selador epóxi dos corpos já pintados.



Figura 4.8.4 – Aplicação da primeira demão da pintura epóxi novolac espessura úmida 150 μ m.

As figuras 4.8.4, 4.8.5 e 4.8.6 mostram respectivamente a aplicação da primeira demão da pintura em epóxi novolac, o controle da espessura úmida 150 μ m com o pente de espessura úmida, os corpos de prova já com a demão final de pintura e calafetados com a massa epóxi .



Figura 4.8.5 - Primeira demão epóxi novolac, medição da espessura da película úmida 150 μ m.



Figura 4.8.6 - Corpos de prova com pintura final e calafetados com massa epóxi

Todos os corpos de prova foram devidamente identificados utilizando-se para prender a identificação, braçadeiras plásticas e fitas de nylon. As etiquetas de identificação foram feitas com fita plástica de sinalização. A opção por estes materiais foi em decorrência da resistência dos mesmos ao ácido clorídrico. A Figura 4.8.7 mostra os corpos de prova já separados de acordo com suas séries.



Figura 4.8.7 - Corpos de prova separados por série, prontos para serem colocados na solução ácida de ataque.

4.9 Ataque dos corpos de prova com solução ácida

A preparação da solução Figura 4.9.1, foi feita pela dosagem em volume conforme descrito no item 4.3, para armazenar a solução utilizou-se uma caixa d'água fabricada em polietileno, com tampa. Esta opção foi feita, pois o polietileno apresenta resistência adequada ao ácido clorídrico e o uso da tampa foi para diminuir a evaporação da solução bem como por questões de segurança. A solução foi e em seguida agitada para melhor homogeneização da solução. Foram preparados 200 litros de solução, suficientes para cobrir todos os corpos de prova. Os mesmos já identificados conforme mostrado nas Figuras 4.9.2 e 4.9.3 foram então depositados no interior da caixa d'água contendo a solução de ataque.



Figura 4.9.1 - Preparação da solução de ácida de ataque.



Figura 4.9.2 - Corpos de prova já colocados na solução ácida de ataque.



Figura 4.9.3 - Detalhe do sistema de identificação dos corpos de prova utilizando fita plástica de sinalização .

Os corpos de prova permaneceram na solução ácida de ataque por 150 dias, obedecendo aos ciclos de molhagem e secagem; 3 dias imersos na solução e 3 dias secando em temperatura ambiente. Os ciclos de molhagem e secagem dos corpos de prova têm por finalidade acelerar o processo de degradação do

concreto permitindo a formação dos íons cloretos, seguidos de lixiviação e sua recombinação com água da solução para formação de novos sais.

A solução ácida foi monitorada com a utilização de pHagômetro digital e sempre que a mesma apresentava uma elevação do pH próximo ao parâmetro mínimo estabelecido, um acréscimo do ácido clorídrico era realizado. Este procedimento foi executado durante todo período do experimento e foram necessárias 6 intervenções totalizando o acréscimo de mais 5 litros à solução inicial. O pH da solução ao término do experimento era de pH 1,97, abaixo do mínimo estipulado.

A perda de massa dos corpos de prova devido ao consumo do Ca(OH)_2 , hidróxido de cálcio, para neutralizar o ácido clorídrico foi calculada, e será apresentada na seção de ensaios finais.

4.10 Retirada de Amostras para Ensaios.

Dos corpos de prova submetidos ao ataque foram retiradas amostras para execução dos ensaios de potencial corrosivo das armaduras e de resistividade do concreto. As amostras foram retiradas obedecendo aos seguintes períodos de permanência na solução de ataque:

- 1º ensaio amostras retiradas após 30 dias de ataque;
- 2º ensaio amostras retiradas após 90 dias de ataque;
- 3º ensaio amostras retiradas após 150 dias de ataque.

Juntamente com o primeiro ensaio aos trinta dias de ataque, foram ensaiadas também amostras dos concretos de controle. As amostras foram sempre coletadas aleatoriamente. As amostras ensaiadas eram das séries resina armado, referência armado e referência armado e pintado.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 Ensaios iniciais

Foram executados inicialmente os ensaios de medição de massa dos corpos de prova, com objetivo de apresentar as diferenças de densidades entre os mesmos antes de serem submetidos à solução de ataque ácido. A tabela 5.1.1 no massa inicial dos mesmos

Tabela 5.1.1 - Massa inicial dos corpos de prova. Fonte: Autor 2014

Massa inicial dos corpos de prova em gramas						
Corpo de prova	Referência Simples	Referência Armado	Resina simples	Resina Armado	Referência Pintado	Ref. Pintado Armado
1	3244	3343	3020	3080	3259	3290
2	3223	3318	3036	3102	3257	3323
3	3244	3306	2952	3056	3237	3294
4	3269	3316	3037	3040	3190	3340
5	3295	3279	3012	3050	3330	3329
6	3207	3308	3007	3079	3316	3206
7	3257	3298	3081	3113	3078	3289
8	3299	3280	2980	3062	3227	3244
9	3245	3294	3023	3052	3269	3320
10	3154	3274	3006	3020	3297	3325
11	3223	3347	3036	3018	3236	3290
12	3302		3053		3271	
13	3295		2995		3311	
14	3270		3010		3300	
15	3265		2991		3235	
16	3225		3044		3331	
17	3340		3021		3258	
18	3271		3035		3255	

Tabela 5.1.2 - Volume inicial dos corpos de prova após retífica

Corpo de prova	Volume em cm ³					
	Referência Simples	Referência Armado	Resina simples	Resina Armado	Referência Pintado	Ref. Pintado Armado
1	1.482,65	1.493,55	1.466,32	1.492,04	1.479,66	1.462,56
2	1.458,76	1.479,66	1.479,90	1.490,46	1.480,94	1.460,35
3	1.443,65	1.471,99	1.467,70	1.499,62	1.491,12	1.458,76
4	1.491,66	1.464,72	1.476,89	1.469,31	1.451,93	1.467,88
5	1.508,75	1.460,10	1.457,13	1.476,66	1.479,90	1.473,67
6	1.439,02	1.450,77	1.470,68	1.487,49	1.515,46	1.369,94
7	1.479,66	1.450,77	1.482,91	1.482,91	1.398,15	1.437,77
8	1.470,88	1.450,77	1.478,31	1.519,51	1.473,23	1.442,50
9	1.473,67	1.458,40	1.490,51	1.490,34	1.475,30	1.436,58
10	1.414,47	1.455,44	1.463,06	1.470,26	1.498,02	1.427,72
11	1.426,04	1.471,99	1.507,12	1.458,76	1.459,61	1.441,01
12	1.514,85		1.490,51		1.446,59	
13	1.499,61		1.481,44		1.485,93	
14	1.484,31		1.496,58		1.485,93	
15	1.490,34		1.482,91		1.530,16	
16	1.458,40		1.476,89		1.517,90	
17	1.528,72		1.478,31		1.479,18	
18	1.469,31		1.501,17		1.463,06	

Varição das Massas dos Corpos de Prova

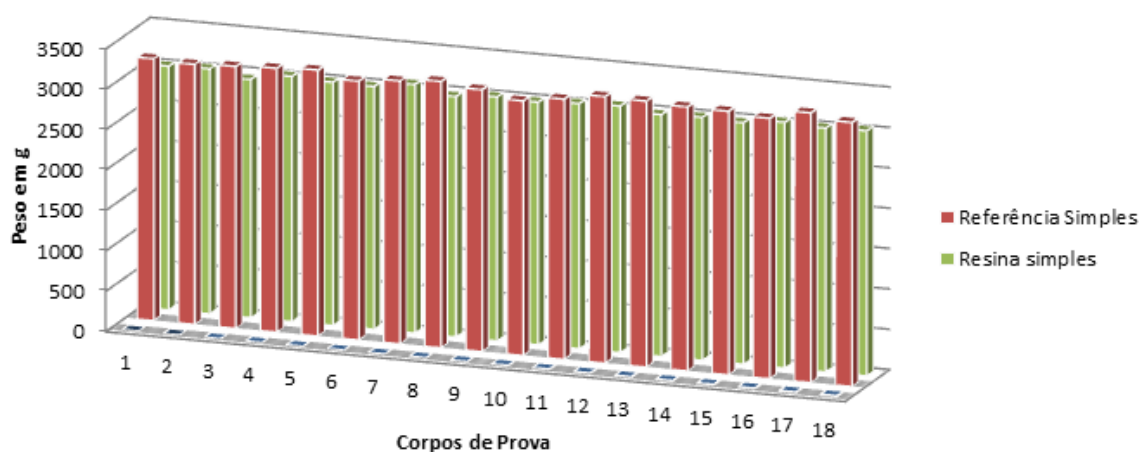


Figura 5.1.1 – Gráfico de comparação da variação das massas dos concretos referência e concreto com resina.

Os corpos de prova que tiveram a adição da resina epóxi, apresentaram massa inferior aos corpos de prova do concreto de referência.

5.1.1 Ensaios iniciais de pulso ultrassônico

Antes de serem colocados na solução de ataque ácido, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios iniciais de propagação da onda ultrassônica conforme Norma ABNT NBR 8802/2013: “Concreto Endurecido – Determinação da Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica” e os ensaios de porosidade conforme norma Norma ABNT MB2611/2005: “Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da Absorção de Água por Imersão – Índice de Vazios e Massa Específica”. A Tabela 5.1.1.1, mostra a velocidade de propagação do pulso ultrassônico nos concretos de referência simples e nos concretos modificados com resina.

Tabela 5.1.1.1. - Ensaios iniciais de ultrassom.

Corpo de Prova	Referência simples	Referência simples	Resina simples	Resina simples
	Velocidade do pulso m/s	tempo do percurso μ s	Velocidade do pulso m/s	tempo do percurso μ s
1	4.197	46,9	3.712	53,3
2	4.180	46.6	3.745	53.1
3	-	-	-	-
4	4.206	46,8	3.731	53,3
5	4.217	47,4	3.878	50,5
6	-	-	3.742	52,6
7	4.215	46,7	3.847	51,7
8	-	-	3.582	54,1
9	4.261	46,2	-	-
10	4.253	44,6	3.825	51,2
11	-	-	-	-
12	4.235	47,3	3.829	52,2
13	4.225	47,8	3.538	56,5
14	4.237	46,7	-	-
15	-	-	3832	51,9
16	4.207	46,2	3.759	52,9
17	4.194	47,9	-	-
18	4.228	46,8	3.686	54,5
Média	4.220	47	3.747	53
Desvio Padrão	24	1	101	2

Os corpos de prova confeccionados com a resina apresentaram uma velocidade média de propagação do pulso ultrassônico de 3.747m/s inferior à velocidade média dos corpos de prova do concreto de referência 4.220m/s, aproximadamente 12,62%. Isto, porém já era esperado, uma vez que, conforme mencionado anteriormente, o pulso ultrassônico propaga com menor velocidade nos corpos de prova modificados com resina epóxi, pois os mesmos foram confeccionados utilizando-se duas matrizes, uma cimentícia e uma epóxica (material polimérico). Os concretos embora tivessem sido confeccionados utilizando uma relação água/cimento elevada, ($a/c=0,56$), ainda assim apresentaram uma classificação como concretos de boa qualidade, conforme Whitehurt (1966), com velocidades médias do pulso ultrassônico entre 3.747m/s e 4.220m/s, Tabela 3.4.1.1.

Considerando os valores acima apresentandos, ainda não seria possível inferir se um concreto seria de melhor qualidade que o outro. Tratam-se de dois concretos classificados como de boa qualidade sendo que as características de cada um deles devem ser analisadas sob diferentes óticas.

5.1.2 Ensaios iniciais de porosidade

Os ensaios foram realizados conforme estabelecido na norma ABNT MB2611/2005. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 5.1.2.1, 5.1.2.2, 5.1.2.3 e 5.1.2.4.

Tabela 5.1.2.1 Secagem dos corpos de prova em estufa a 105°C.

Corpo de prova	Massa seca inicial massa g	1º dia em estufa massa g	2º dia em estufa massa g	3º dia em estufa massa g	Perda de massa g	Varição da massa %
Resina 9	2.880	2.845	2.836	2.830	50	1,74
Resina 14	2.856	2.823	2.813	2.805	51	1,79
Resina 17	2.878	2.845	2.836	2.830	48	1,67
Referência 3	3.117	3.089	3.080	3.059	58	1,86
Referência 8	3.166	3.139	3.128	3.106	60	1,90
Referência 15	3.107	3.076	3.065	3.047	60	1,93

Tabela 5.1.2.2 - Saturação dos corpos de prova.

Corpo de prova	Massa seca massa g	1º Dia imersão massa g	2º Dia imersão massa g	3º Dia imersão massa g	Água absorvida massa g	Massa hidrostática massa g
Resina 9	2.830	3.027	3.040	3.041	211	1.568,49
Resina 14	2.805	3.010	3.013	3.018	213	1.551,35
Resina 17	2.830	3.038	3.040	3.040	210	1.572,08
Referência 3	3.059	3.266	3.268	3.277	218	1.802,60
Referência 8	3.106	3.323	3.325	3.326	220	1.830,49
Referência 15	3.047	3.285	3.287	3.271	224	1.809,22

Tabela 5.1.2.3 - Água absorvida e índice de vazios.

Corpo de prova	Peso inicial peso g	Peso saturado peso g	Água absorvida peso g	Peso hidrostático peso g	% Água absorvida	Índice de vazios %
Resina 9	2.830	3.041	211	1.568,49	7,46	14,33
Resina 14	2.805	3.018	213	1.551,35	7,59	14,52
Resina 17	2.830	3.040	210	1.572,08	7,42	14,31
Referência 3	3.059	3.277	218	1.802,60	7,13	14,79
Referência 8	3.106	3.326	220	1.830,49	7,08	14,71
Referência 15	3.047	3.271	224	1.809,22	7,35	15,32

Tabela 5.1.2.4 - Massas específicas secas e saturadas.

Corpo de prova	Peso inicial peso g	Peso saturado peso g	Peso hidrostático peso g	Massa específica seca	Massa específica saturada
Resina 9	2.830	3.041	1.568,49	1,92	2,07
Resina 14	2.805	3.018	1.551,35	1,91	2,06
Resina 17	2.830	3.040	1.572,08	1,93	2,07
Referência 3	3.059	3.277	1.802,60	2,07	2,22
Referência 8	3.106	3.326	1.830,49	2,08	2,22
Referência 15	3.047	3.271	1.809,22	2,08	2,24

Analisando os corpos de prova nos ensaios iniciais quanto ao ensaio de porosidade conforme norma ABNT MB2611/2005: “Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da Absorção de Água por Imersão - Índice de Vazios e Massa Específica”, verificamos que a média de água absorvida pelos corpos de prova de referência foi de 221g de água e a média de água absorvida pelos corpos de prova com resina foi de 211g, em termos de porcentagem ambos os

corpos de prova tiveram absorção de água similar 7,5% concreto de referência e 7,4% concreto com resina. Comparando os corpos com relação ao índice de vazios quando calculado como descrito na norma:

$$\frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_{\text{sat}} - M_s} X 100 = \text{índice de vazios} \quad (4.12)$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado

M_s = massa do corpo de prova seco em estufa

M_i = massa do corpo de prova saturado imerso em água

Os corpos de prova confeccionados com resina apresentaram o índice médio de vazios de 14,39%, enquanto os corpos de prova de referência apresentaram o índice médio de vazios de 14,94% ou seja 3,82% a mais.

5.2 Ensaio Finais dos Corpos de Prova

5.2.1 Ensaio De Pulso Ultrassônico

A velocidade do pulso ultrassônico após 150 dias de ataque caiu em média 4% tanto para os corpos de prova do concreto referência, como para os corpos de prova do concreto modificado com a resina. A queda não foi tão acentuada pois o interior dos concretos ainda se encontravam em bom estado, a maior parte dos danos foram causados na superfície do concreto, e como o pulso por ser uma onda tende a se propagar no caminho mais eficiente neste caso no interior dos corpos de prova que sofreram menos danos. Os danos causados no concreto que mais influenciaram na redução da velocidade foram no topo e no fundo dos corpos de prova.

Já o corpo de prova pintado que deveria apresentar uma velocidade de pulso compatível com as velocidades iniciais dos corpos de prova concreto referência, sem ataque, apresentou velocidades em média 6,6% menor. Isto aconteceu devido ao revestimento epoxídico aplicado, que por ser um polímero reduz a velocidade de propagação da onda.

A Tabela 5.2.1 apresenta os valores de velocidade dos pulsos ultrassônicos iniciais e finais (após 150 dias de ataque) dos corpos de prova.

Tabela 5.2.1 - Velocidade do pulso ultrassônico após ataque 150 dias

Corpo de prova	Referência simples inicial		Referência simples após ataque		Resina simples inicial		Resina simples após ataque		Referência pintado simples após ataque	
	T= μ s	V=m/s	T= μ s	V=m/s	T= μ s	V=m/s	T= μ s	V=m/s	T= μ s	V=m/s
	1	46,9	4.197	45,9	4.009	53,3	3.712	-	-	47,9
2	46,6	4.180	47,9	3.862	53,1	3.745	51,9	3.680	48,9	3.967
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	46,8	4.206	45,4	4.119	53,3	3.731	54,1	3.475	-	-
5	47,4	4.217	46,9	4.030	50,5	3.878	50,4	3.750	50,1	3.932
6	-	-	-	-	52,6	3.742	53,4	3.502	48,9	4.008
7	46,7	4.215	45,9	4.118	51,7	3.847	53,9	3.544	-	-
8	-	-	-	-	54,1	3.582	53,4	3.539	47,2	4.051
9	46,2	4.261	46,4	3.987	-	-	-	-	47,9	4.029
10	44,6	4.253	44,4	4.039	51,2	3.825	51,4	3.658	48,4	4.008
11	-	-	-	-	-	-	-	-	47,9	4.008
12	47,3	4.235	46,0	4.095	52,2	3.829	-	-	47,4	4.072
13	47,8	4.225	46,9	4.073	56,5	3.538	53,4	3.539	48,4	4.029
14	46,7	4.237	-	-	-	-	-	-	48,2	4.025
15	-	-	-	-	51,9	3.832	51,4	3.638	-	-
16	46,2	4.207	44,9	4.120	52,9	3.759	51,4	3.658	46,4	4.194
17	47,9	4.194	-	-	-	-	-	-	-	-
18	46,8	4.228	45,4	4.163	54,5	3.686	53,9	3.544	49,1	3.071
Média	46,76	4.220	46	4.056	52,91	3.747	52,60	3.593	47,82	3.957
Desvio padrão	0,84	23,41	0,99	84,11	1,55	101,44	1,31	86,91	2,08	273,16

5.2.2 Ensaios de porosidade índice de vazios e perda de massa

5.2.2.1 Ensaios de porosidade e índice de vazios

Ensaios porosidade conforme norma ABNT MB2611/2005: “Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da Absorção de Água por Imersão” - Índice de Vazios e Massa Específica – após 150 dias de ataque.

Tabela 5.2.2.1.1 - Secagem dos corpos de prova em estufa

Corpo de prova	Massa seca inicial massa g	1º dia em estufa massa g	2º dia em estufa massa g	3º dia em estufa massa g	Perda de massa g	Varição da massa %
Resina 4	2.848	2.786	2.783	2.781	67	2,35
Resina 6	2.824	2.767	2.762	2.760	64	2,27
Resina 7	2.895	2.840	2.839	2.835	60	2,07
Pintado Ref. 4	3.216	3.216	3.216	3.215	0	0%
Referência 2	2.981	2.933	2.918	2.890	91	3,05
Referência 9	3.057	3.016	3.005	2.971	86	2,81
Referência 13	3.108	3.063	3.050	3.016	92	2,96

A Tabela 5.2.2.2.1 mostra a evolução da secagem dos corpos de prova que foram colocados em estufa por 3 dias a uma temperatura de 105°C . As medições foram feitas a cada 24 horas. Observou-se que os corpos de prova do concreto de referência perderam mais água livre que os corpos de prova modificados com a resina epóxi. Os corpos de prova do concreto de referência perderam em média 89,67 gramas de água enquanto os corpos de prova modificados com resina perderam em média 63,67 gramas de água, ou seja, os corpos de prova do concreto de referência perderam em média 40,84% a mais de água que o concreto modificado com a resina. Já o corpo de prova referência pintado não perdeu água. O revestimento epoxídico trabalhou como um “envelope” contendo toda água livre dentro do concreto.

Encerrado o procedimento de secagem dos corpos de prova em estufa e determinada a massa, os mesmos foram colocados para saturação à temperatura ambiente do laboratório aproximadamente 24°C, seguindo o procedimento estabelecido pela norma ABNT MB2611/2005, adotada. Os corpos de prova foram submetidos à pesagem a cada 24 horas e os valores apurados estão registrados na Tabela 5.2.2.1.2.

Observou-se que a maior parte da água absorvida tanto para o concreto de referência quanto para o concreto modificado com a resina, se deu após 24 horas. Houve, entretanto uma diferença que vale ser considerada, pois pode ter influenciado os resultados dos ensaios de resistividade e de potencial corrosivo.

Os corpos de prova do concreto de referência absorveram nas primeiras 24 horas em média 99,5 % da água total, já os corpos de prova modificados com a resina absorveram em média 94% da água total. Esta propriedade é de extrema importância, pois o concreto modificado com resina além de absorver em média menos de água, ela também é absorvida mais lentamente. Como já ressaltado um fatores que influenciam as medições tanto resistividade quanto do potencial de corrosão é o teor de umidade na superfície do concreto.

O corpo de prova pintado repetiu o comportamento já registrado durante a secagem em estufa, não foi observado absorção de água durante a saturação por imersão.

Tabela 5.2.2.1.2 - Saturação dos corpos de prova

Corpo de prova	Peso seco peso g	1° Dia imersão g	2° Dia imersão g	3° Dia imersão g	Água absorvida g	Peso hidrostático g
Resina 4	2.781	2.942	2.951	2.953	172	1.536,52
Resina 6	2.760	2.926	2.937	2.938	178	1.522,97
Resina 7	2.835	3.004	3.013	3.013	178	1.577,92
Pintado Ref. 4	3.216	3.216	3.216	3.216	0	1.724,10
Referência 2	2.890	3.094	3.095	3.095	205	1.699,88
Referência 9	2.971	3.170	3.170	3.171	200	1.744,99
Referência 13	3.016	3.210	3.210	3.211	195	1.766,00

O índice de vazios calculado, dos corpos de prova do concreto de referência ficou em média de 14,12% contra um índice médio de vazios do concreto modificado com resina de 12,37%. Os corpos de prova do concreto de referência apresentaram um índice médio de vazios 14% maior que os concretos modificados com a resina. Fato também já esperado, pois dados os resultados de absorção de água em que o concreto de referência absorveu em média 15% a mais de água, a Tabela 5.2.2.1.3 mostra a água absorvida e o índice de vazios.

Tabela 5.2.2.1.3 - Água absorvida e índices de vazios

Corpo de prova	Peso inicial seco g	Peso saturado final g	Água absorvida peso g	Peso hidrostático g	% Água absorvida	Índice de vazios %
Resina 4	2.781	2.953	172	1.536,52	6,18	12,14
Resina 6	2.760	2.938	178	1.522,97	6,45	12,58
Resina 7	2.835	3.013	178	1.577,92	6,28	12,40
Pintado Ref. 4	3.216	3.216	0	1.724,10	0	0
Referência 2	2.890	3.095	205	1.699,88	7,09	14,69
Referência 9	2.971	3.171	200	1.744,99	6,73	14,03
Referência 13	3.016	3.211	195	1.766,00	6,47	13,49

A Tabela 5.2.2.1.4 mostra os resultados dos ensaios de massa específica seca e saturada. A massa específica saturada calculada dos corpos de prova modificados com a resina ficou em média 7% menor que a dos corpos de prova concreto referência. Esta propriedade também já havia sido anteriormente observada quando confeccionou-se os corpos de prova dos traços experimentais e isto está relacionado com peso específico da resina, que é menor que o do concreto.

Tabela 5.2.2.1.4 - Massas específicas seca e saturada

Corpo de prova	Massa inicial seca g	Massa saturada final g	Massa hidrostática g	Massa específica seca	Massa específica saturada
Resina 4	2.781	2.953	1.536,52	1,96	2,08
Resina 6	2.760	2.938	1.522,97	1,95	2,08
Resina 7	2.835	3.013	1.577,92	1,98	2,10
Pintado Ref. 4	3.216	3.216	1.724,16	2,16	2,16
Referência 2	2.890	3.095	1.699,88	2,07	2,22
Referência 9	2.971	3.171	1.744,99	2,08	2,22
Referência 13	3.016	3.211	1.766,00	2,09	2,22

5.2.2.2 Ensaio perda de massa

Comparando-se a massa inicial, antes das amostras serem submetidas ao ataque da solução ácida, e massa final após 150 dias de ataque, verificamos que os corpos de prova do concreto de referência perderam em média 190g contra uma perda média dos corpos de prova do concreto modificado com resina de 179,45 g. Os corpos de prova do concreto modificado apresentaram uma perda de massa em média 5,88% menor que o concreto de referência. A perda de massa esta relacionada com a capacidade da matriz cimentícia, que esta em contato com o ácido, de produzir compostos que irão neutralizar a ação deste. Assim o concreto de referência produziu maior perda de massa que o concreto modificado, pois a resina epóxi cria um filme que diminui e até impede o contato do ácido com os componentes da matriz cimentícia.

Os corpos de prova pintados tiveram um acréscimo de massa em relação ao peso inicial. Este acréscimo foi devido à pintura epoxídica aplicada cujo, massa da mesma ficou em média de 27g para cada corpo de prova.

A Tabela 5.2.2.2.1 apresenta os pesos iniciais e finais, após 150 dias de ataque, dos corpos de prova e a perda de massa total de cada corpo de prova.

A Figura 5.2.2.2.1, apresenta o gráfico de perda de massa dos corpos de prova concreto referência.

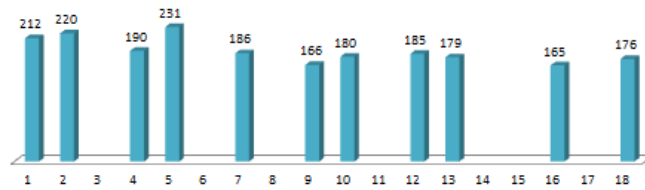
A Figura 5.2.2.2.2, apresenta o gráfico de perda de massa dos corpos de prova concreto com resina.

A Figura 5.2.2.2.3, apresenta o gráfico de ganho de massa dos corpos de prova referência pintados.

Tabela 5.2.2.2.1- Perda de massa em gramas

Corpo de prova	Referência simples massa inicial - g	Referência simples atacado 150 dias - g	Resina simples massa inicial - g	Resina simples atacado 150 dias - g	Referência pintado massa inicial - g	Referência pintado atacado 150 dias - g	Perda de massa referencia simples - g	Perda de massa resina simples - g	Ganho de massa referência pintado - g
1	3.244	3.032	3.020		3.231		-212		
2	3.223	3.003	3.036	2.851	3.230	3.257	-220	-185	+27
3	3.244		2.952		3.209				
4	3.269	3.079	3.037	2.845	3.190	3.216	-190	-192	+26
5	3.295	3.064	3.012	2.850	3.302	3.330	-231	-162	+28
6	3.207		3.007	2.832	3.293	3.316		-175	+23
7	3.257	3.071	3.081	2.909	3.053		-186	-172	
8	3.299		2.980	2.791	3.206	3.227		-189	+21
9	3.245	3.079	3.023		3.245	3.269	-166		+24
10	3.154	2.974	3.006	2.845	3.272	3.297	-180	-161	+25
11	3.223		3.036		3.213	3.236			+23
12	3.302	3.117	3.053		3.244	3.271	-185		+27
13	3.295	3.116	2.995	2.800	3.287	3.311	-179	-195	+24
14	3.270		3.010		3.275	3.300			+25
15	3.265		2.991	2.812	3.234	3.258		-179	+24
16	3.225	3.060	3.044	2.883	3.331	3.354	-165	-161	+23
17	3.340		3.021		3.232	3.258			+26
18	3.271	3.095	3.035	2.832	3.224	3.255	-176	-203	+31
Média	3.257	3.063	3.019	2.841	3.237	3.281	-190,00	-179,45	+25,13
Desvio Padrão	42,75	44,52	29,32	34,33	59,48	37,17	21,73	14,62	2,47

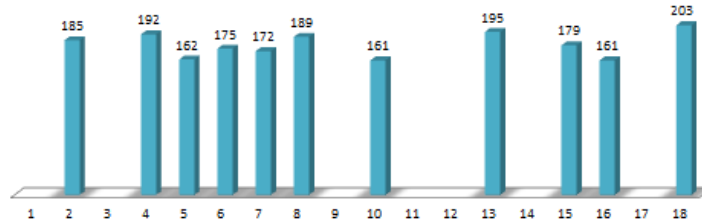
Perda de massa referência simples



Média: 190
Desvio padrão: 2173

Figura 5.2.2.2.1 - Gráfico de perda massa corpos de prova concreto referência.

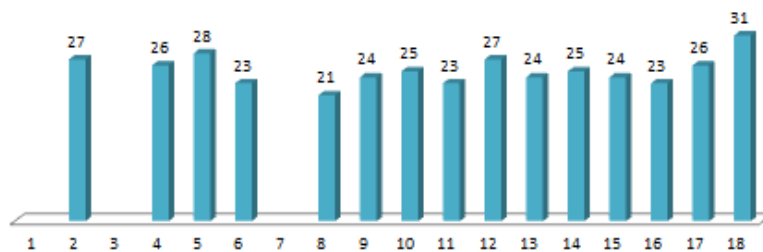
Perda de massa resina simples



Média: 178,54
Desvio padrão: 14,06

Figura 5.2.2.2.2 - Gráfico de perda de massa corpos de prova concreto com resina.

Ganho de massa referência pintado



Média: 25,07
Desvio padrão: 2,56

Figura 5.2.2.2.3 - Gráfico de ganho de massa corpos de prova referência pintado.

5.2.3 Ensaio De Resistividade E Potencial De Corrosão Das Armaduras.

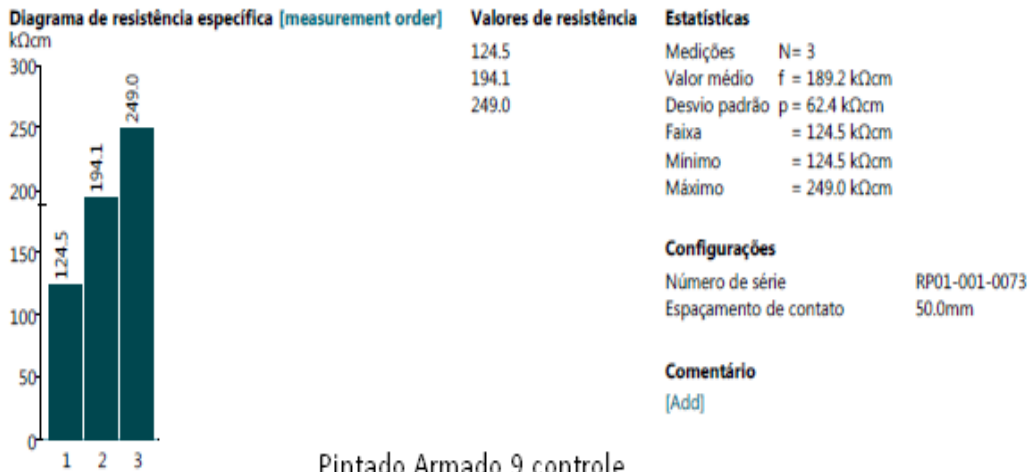
As amostras foram submetidas aos ensaios de potencial corrosivo das armaduras e de resistividade após 30, 90 e 150 dias de ataque em solução ácida.

Os ensaios finais de resistividade do concreto e potencial corrosivo das armaduras analisados tendo como base as normas ASTM C876-91 e RILEM TC 154 EMC, apresentaram os resultados descritos a seguir:

5.2.3.1 Resistividade e potencial corrosivo das armaduras com 30 dias de ataque

- *Corpo de prova pintado armado 9 controle (sem ataque)*

O corpo de prova referência pintado armado 9 controle, sem ataque ácido, apresentou uma resistividade média de $190\text{K}\Omega\text{cm}$, medida tomada, considerando o revestimento com a pintura epóxi. De acordo com a norma adotada, para valores a partir de $100\text{K}\Omega\text{cm}$, o risco de corrosão é insignificante, ver Figura 5.2.3.1.1. Analisando em conjunto com o ensaio de potencial corrosivo das armaduras, Figura 5.2.3.1.2 verificou-se que o corpo de prova apresenta um potencial de -400mV e zonas -350mV (medidas tomadas sem o revestimento da pintura epóxi), classificado como probabilidade alta de corrosão, como a resistividade esta acima de $20\text{k}\Omega\text{cm}$ a taxa de corrosão seria baixa. Desta forma podemos entender que o corpo de prova analisado, embora apresente um risco de desenvolver corrosão pequeno, pois se encontra protegido pelo revestimento epoxidico, a condição de sua armadura, se o concreto for exposto algum agente agressivo, desenvolverá uma corrosão severa. A norma adotada não recomenda a execução dos ensaios em corpos de prova com pintura, porém executamos os ensaios somente para constatar a efetividade do revestimento epoxidico aplicado.



Pintado Armado 9 controle
 Resistividade 30 dias

Figura 5.2.3.1.1. - Resistividade corpo de prova pintado armado 9 - controle.

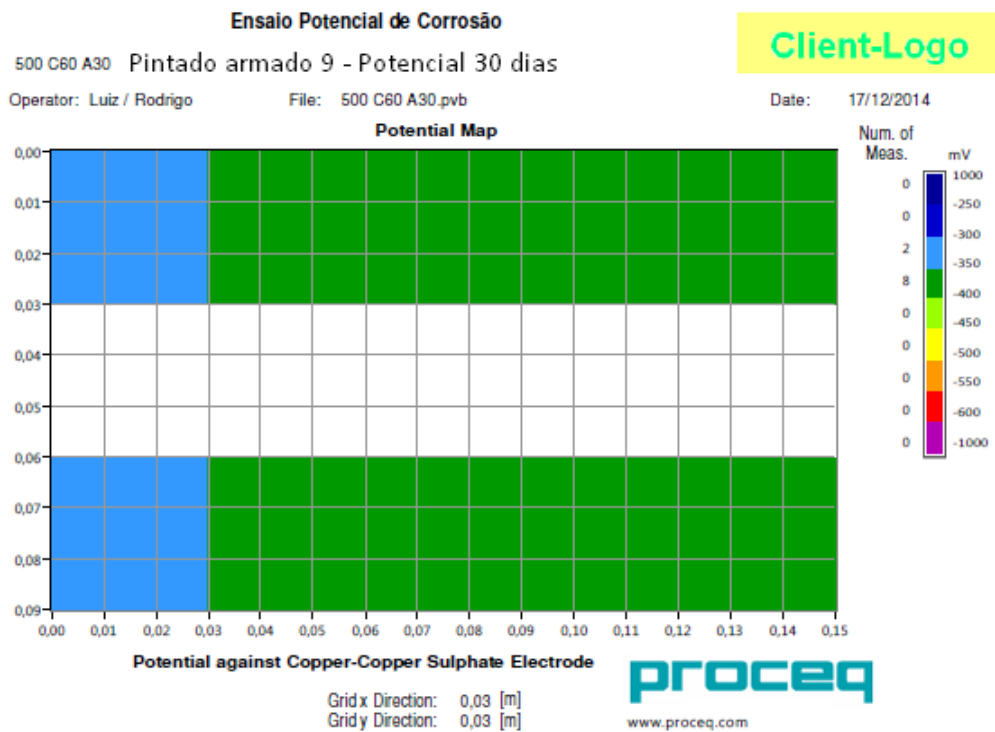


Figura 5.2.3.1.2 Potencial de corrosão corpo de prova pintado armado 9 - controle.

- *Corpo de prova referência armado 7 controle (sem ataque)*

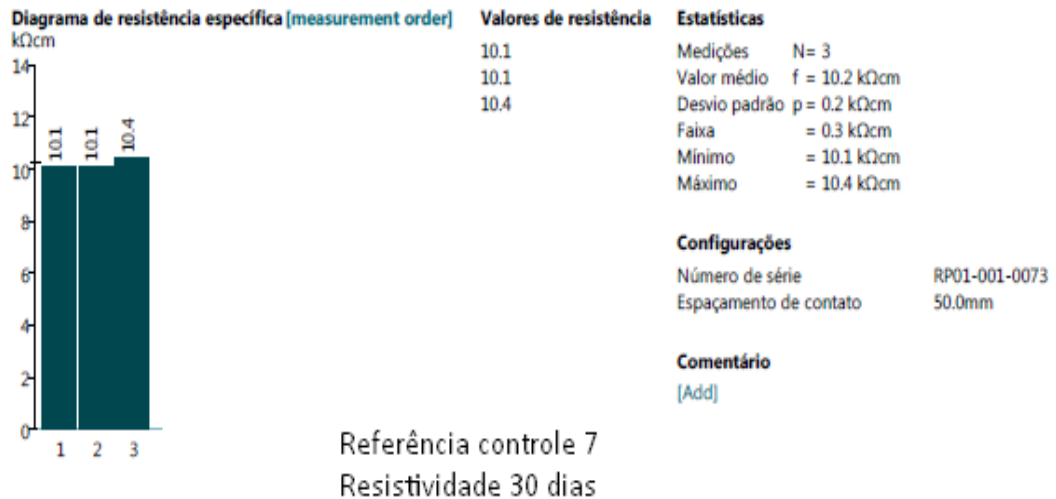


Figura 5.2.3.1.3 Resistividade corpo de prova Referência 7 armado - controle.

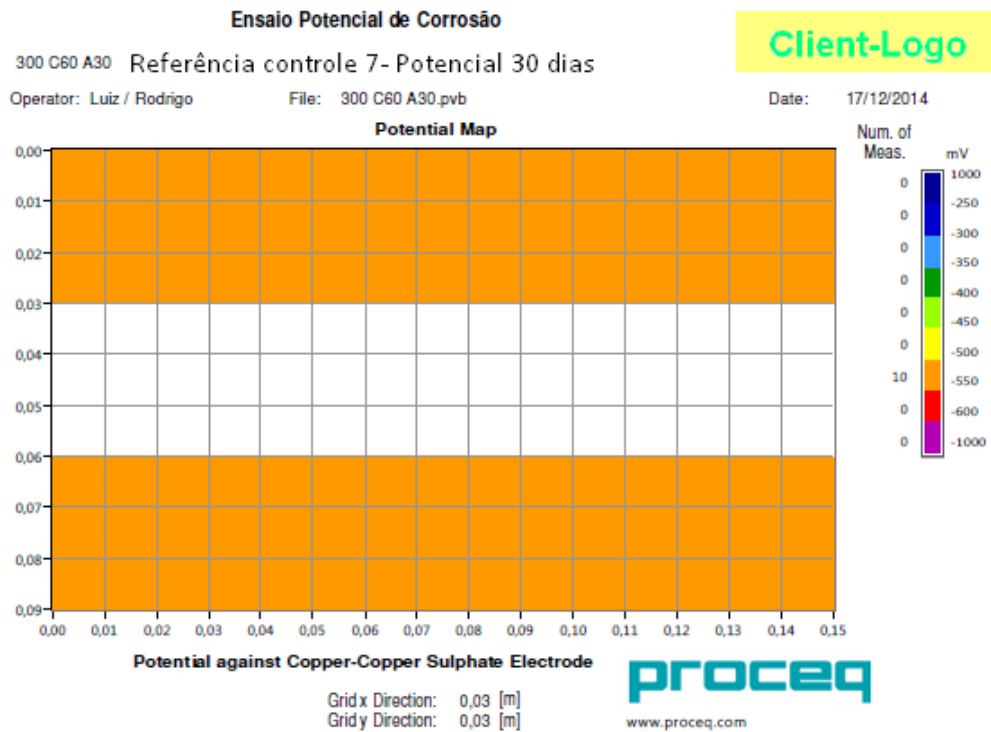


Figura 5.2.3.1.4 - Potencial de corrosão corpo de prova Referência 7 armado - controle.

O corpo de prova referência 7 controle (sem ataque ácido) apresentou uma resistividade média de $10,2\text{K}\Omega\text{cm}$, (Figura 5.2.3.1.3) e potencial corrosão das armaduras -550mV , Figura 5.2.3.1.4. Analisados em conjunto, os dados deste corpo de prova apresentam, se expostos a agentes patogênicos risco de desenvolver corrosão moderada e taxa de corrosão caso aconteça será severa e a probabilidade é alta. Este fato já era previsível, pois estabelecemos um concreto que embora analisado pela medição do pulso ultrassônico seja classificado como de boa qualidade, velocidade 4.215m/s , possui uma relação a/c elevada e que nos conduziria a concreto com porosidade elevada e baixa resistividade.

A resistividade do corpo de prova resina 11 controle, sem ataque, Figuras 5.2.3.1.5 e 5.2.3.1.6 apresentam valores similares aos do corpo de prova referência 7 controle, mas um pouco mais elevado, $10,5\text{K}\Omega\text{cm}$ esta pequena diferença é devida à composição do concreto, que é um dos fatores causam influenciam nas medições, analisado em conjunto com o potencial corrosão tal fato fica mais acentuado pois o corpo de prova referência controle 7 apresenta potencial de corrosão -550mV contra o potencial de corrosão de -400mV do corpo de prova resina 11 controle, uma diferença de $37,50\%$ maior de probabilidade de desenvolver corrosão severa. Quanto mais eletronegativos forem os valores, maior a probabilidade de ocorrência de corrosão. De acordo com ASTM C876 (2009), já anteriormente mencionada valores menores que -350mV corresponde a uma probabilidade de corrosão de 90% . Porém como a resistividade esta acima de $10\text{K}\Omega\text{cm}$ a taxa e o risco são moderados.

As Figuras 5.2.3.1.7 e 5.2.3.1.8 apresentam a preparação dos corpos de prova e a realização do ensaio de potencial de corrosão das armaduras. Os corpos de prova foram marcados de modo a facilitar a identificação nos relatórios.

- *Corpo de prova resina armado 11 controle (sem ataque)*

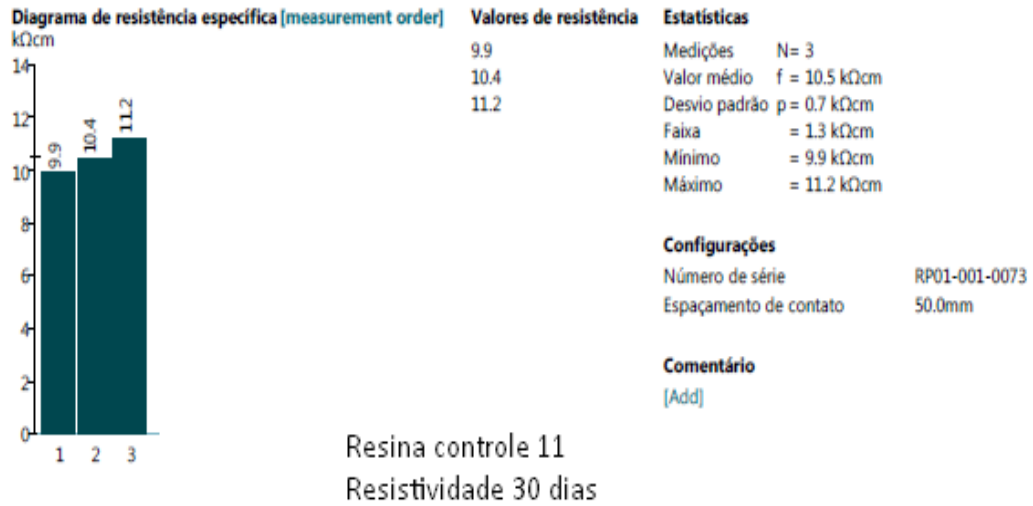


Figura 5.2.3.1.5 - Resistividade corpo prova resina armado 11- controle.

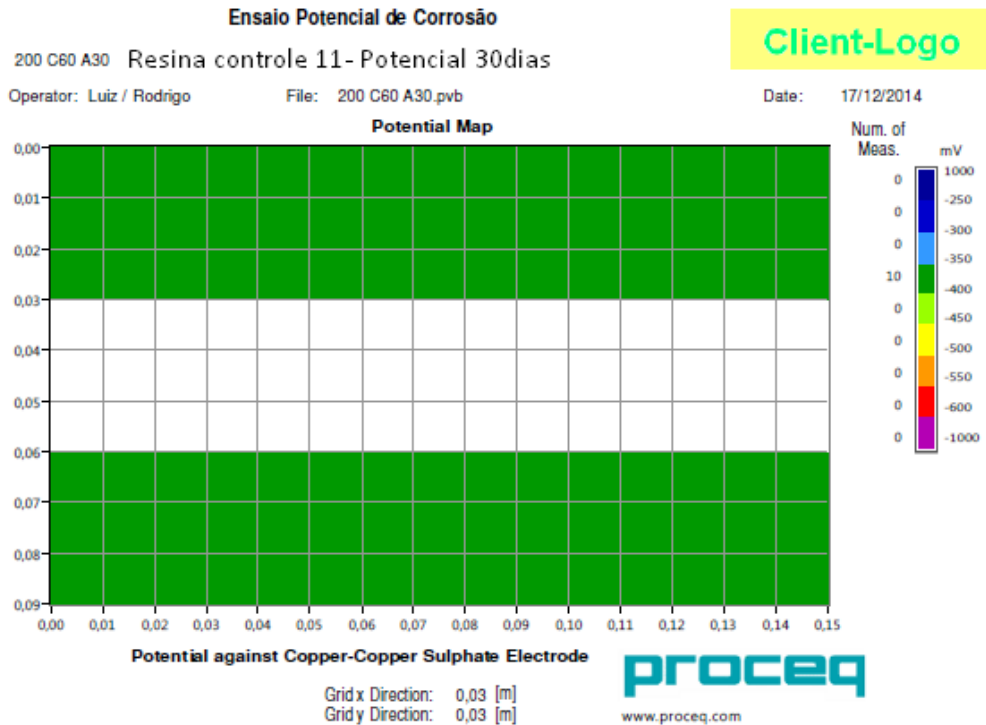


Figura 5.2.3.1.6 - Potencial de corrosão corpo de prova resina armado 11- controle.



Figura 5.2.3.1.7 - Preparação dos corpos de prova para o ensaio de potencial de corrosão.

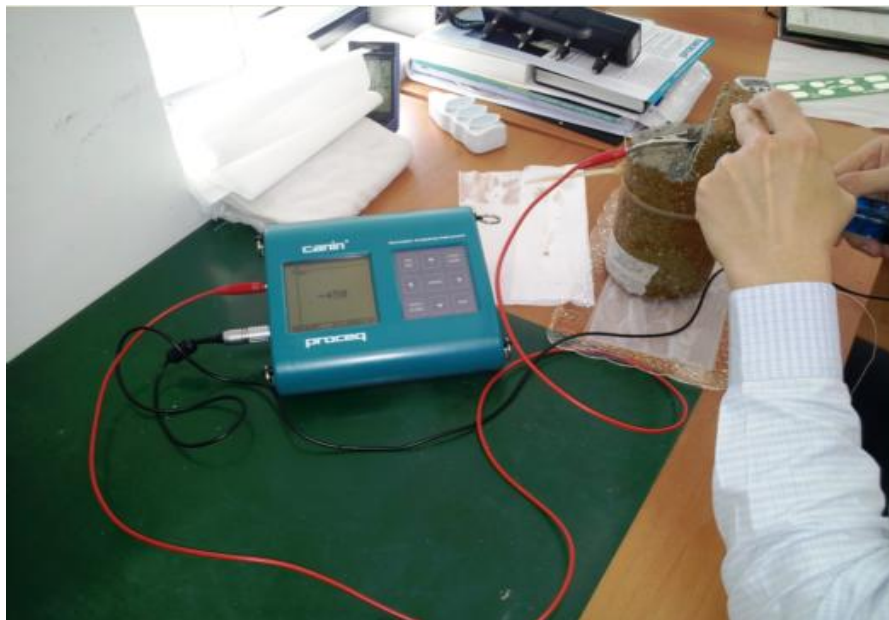


Figura 5.2.3.1.8- Execução do ensaio de potencial de corrosão:

- *Corpo de prova referência armado 10 (atacado)*

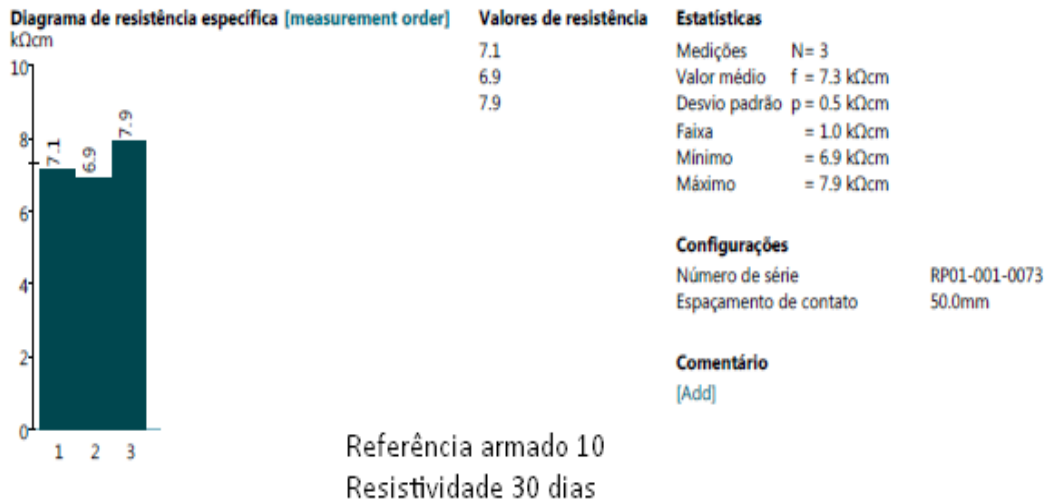


Figura 5.2.3.1.9 - Resistividade corpo de prova referência armado 10 – Atacado 30 dias.

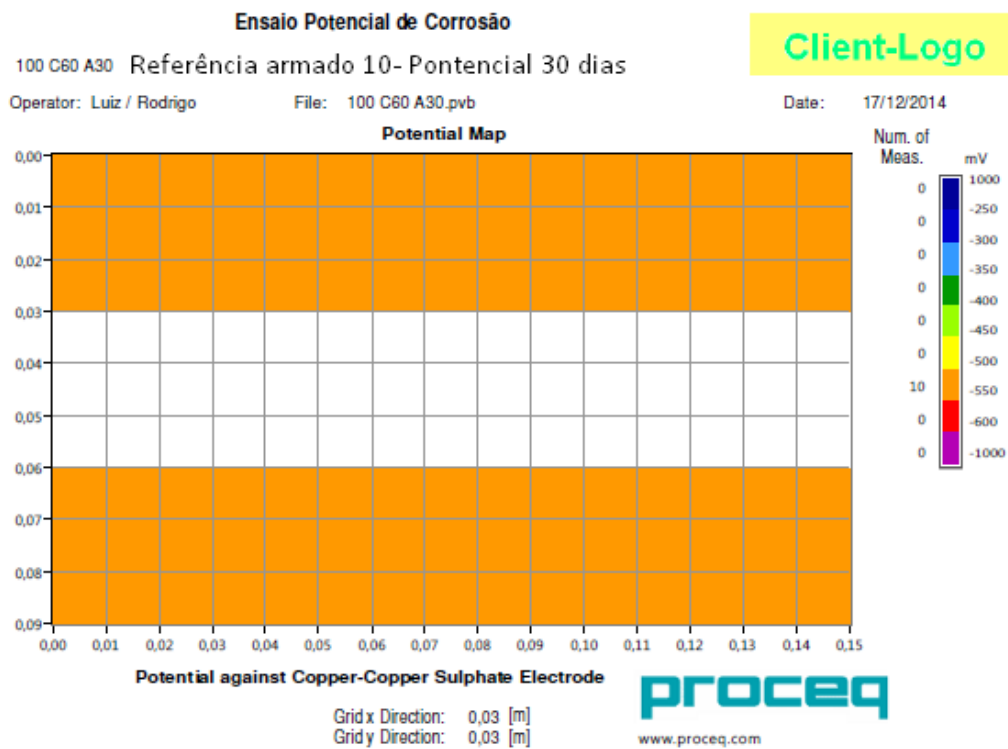


Figura 5.2.3.1.10 - Potencial de corrosão referência armado 10 – Atacado 30 dias.



Figura 5.2.3.1.11 Execução do ensaio de resistividade.

O corpo de prova referência armado 10 após ser submetido a 30 dias de ataque em solução ácida apresentou significativa redução da resistividade. O valor médio encontrado no corpo de prova de controle $10,2\text{K}\Omega\text{cm}$ reduziu para um valor médio $7,3\text{K}\Omega\text{cm}$. A Figura 5.2.3.1.11 mostra a realização de uma das medições do corpo de prova referência armado 10. Já os valores de medida de potencial de corrosão mantiveram-se com os valores de -550mV indicando que a probabilidade do nível de corrosão que poderá ocorrer será severa. Existe uma correlação entre a medida de potencial de corrosão meia-célula tomada na superfície do concreto e a probabilidade de corrosão da superfície da armadura. Assim quanto mais negativo forem os valores de potencial e menor resistividade maior será a probabilidade de corrosão na superfície da armadura. Considerando que o aço já estaria entrando em processo de despassivação. A taxa de corrosão para os valores de resistividade encontrados é classificada como “taxa de corrosão alta”.

- *Corpo de prova resina armado 8 (atacado)*

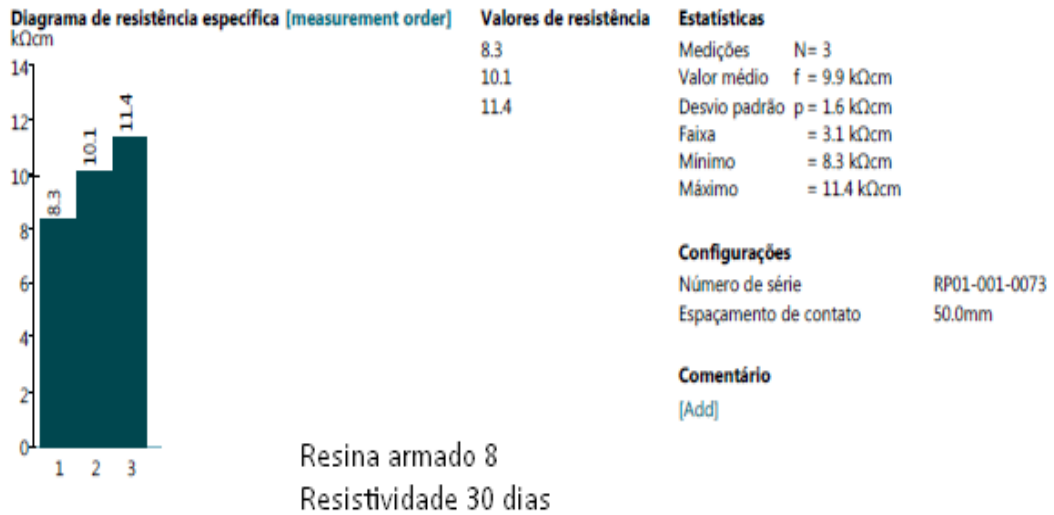


Figura 5.2.3.1.12 - Resistividade corpo de prova resina armado 8 Atacado 30 dias.

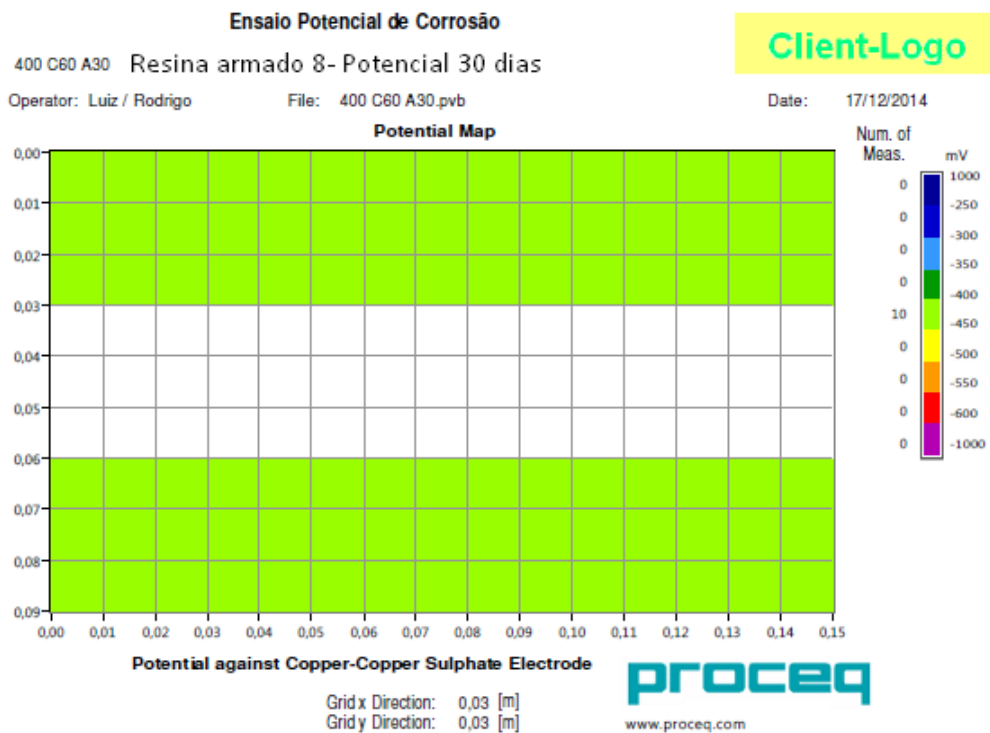


Figura 5.2.3.1.13 - Potencial de corrosão corpo de prova resina armado 8 Atacado 30 dias.

Os valores de resistividade apresentado pelo corpo de prova resina armado 8 após submetido ao ataque em solução ácido por 30 dias , também apresentaram uma redução, porém os valores foram bem inferiores aos valores apresentados pelo corpo de prova referência 10 armado. Os valores médios caíram de 10,5KΩcm para valores médios de 9,9KΩcm. Houve também uma mudança dos valores de potencial de corrosão tomados na superfície do concreto os valores saíram da casa de -400mV para - 450mV. Embora os valores indiquem também uma condição de sujeição do concreto modificado com resina à possibilidade de ocorrência de corrosão, esta seria menos severa do que a observada no concreto de referência.

5.2.3.2 Resistividade e potencial corrosivo das armaduras com 90 dias de ataque

- *Corpo de prova pintado armado 6 (atacado)*

O corpo de prova pintado armado 6, após 90 dias de ataque em solução ácida continuou apresentando resultados bastante satisfatórios. O filme de pintura epoxídica não apresentou sinais de falhas como fissuras, trincas, ou deslocamentos. As medições de resistividade (tomadas apenas como medida de monitoramento, pois não é uma prática recomendada) apresentaram valores médios acima de 216KΩcm classificado como risco de corrosão pequeno. Analisado em conjunto com os valores apresentados pela medida de potencial de corrosão - 400mV verificamos que não houve modificação em relação ao corpo de prova pintado armado 9 controle , mostrando que o revestimento continuava a proteger totalmente o concreto contra a agressão da solução ácida, Figuras 5.2.3.2.1 e 5.2.3.2.2.

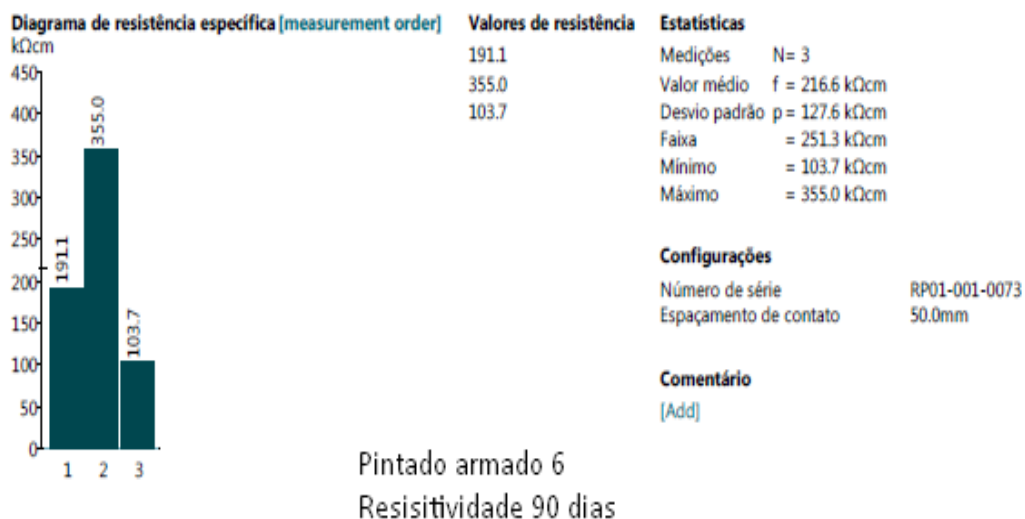


Figura 5.2.3.2.1 - Resistividade corpo de prova pintado armado 6 – Atacado 90 dias.

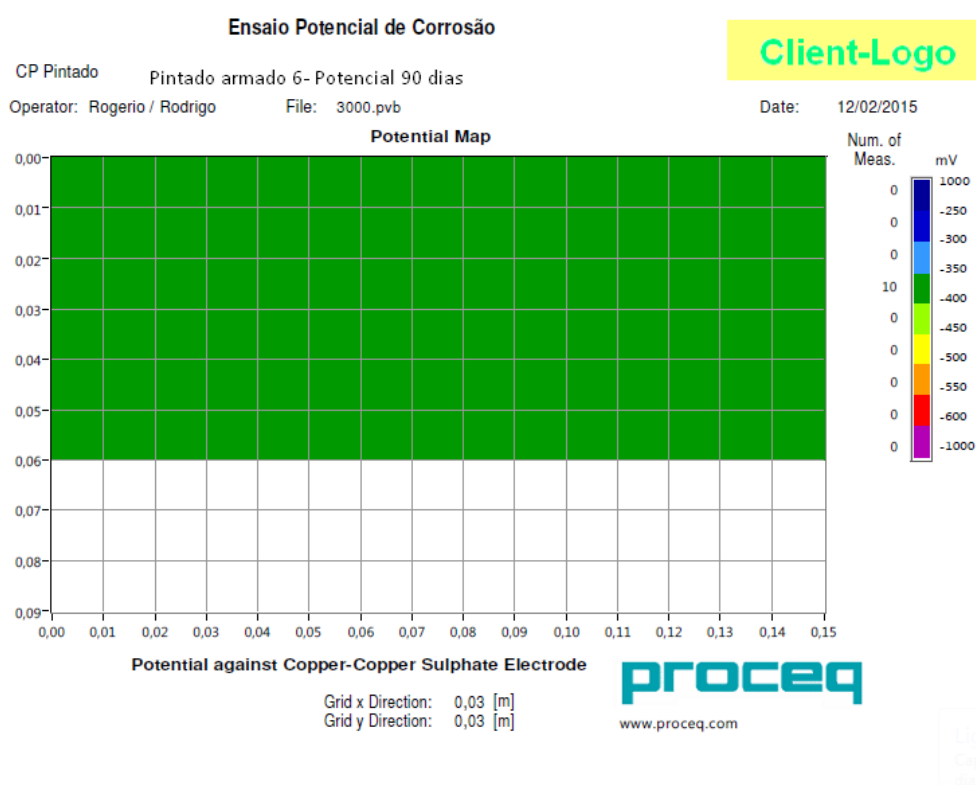


Figura 5.2.3.2.2 - Potencial de corrosão corpo de prova pintado armado 6 – Atacado 90 dias.

As Figuras 5.2.3.2.3 e 5.2.3.2.4 apresentam respectivamente a interface do revestimento em epóxi com o concreto. O filme não sofreu alterações pelo ataque da solução ácida e interface da armadura com o concreto, indicando que não há

indícios de corrosão se instalando na superfície do aço. Embora os valores apresentados no ensaio de potencial de corrosão indiquem a possibilidade de uma taxa de corrosão alta -400mV, este fato é devido à proteção dada pelo filme do revestimento epoxídico que funciona como um “envelopamento do concreto” protegendo o contra o ataque da solução ácida.

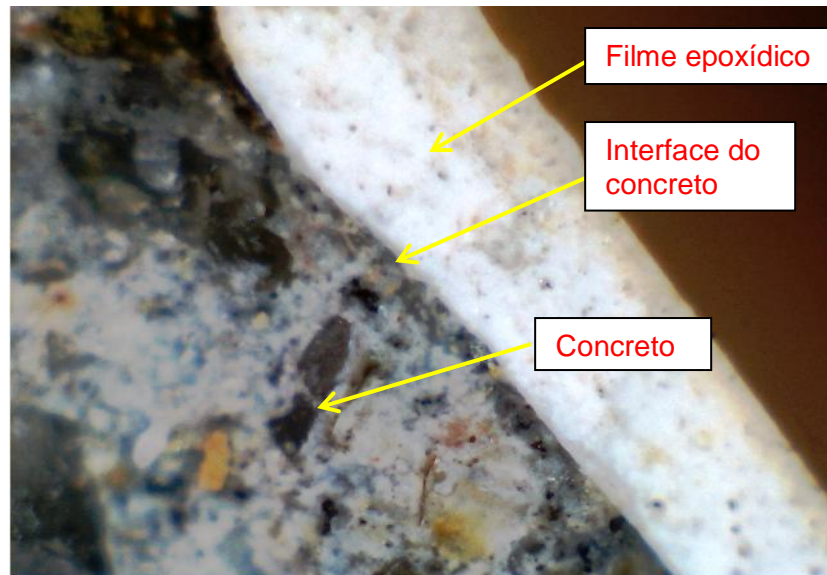


Figura 5.2.3.2.3 - Fragmento do corpo de prova pintado armado 6 .
Ampliação 400X com lupa estereoscópica.

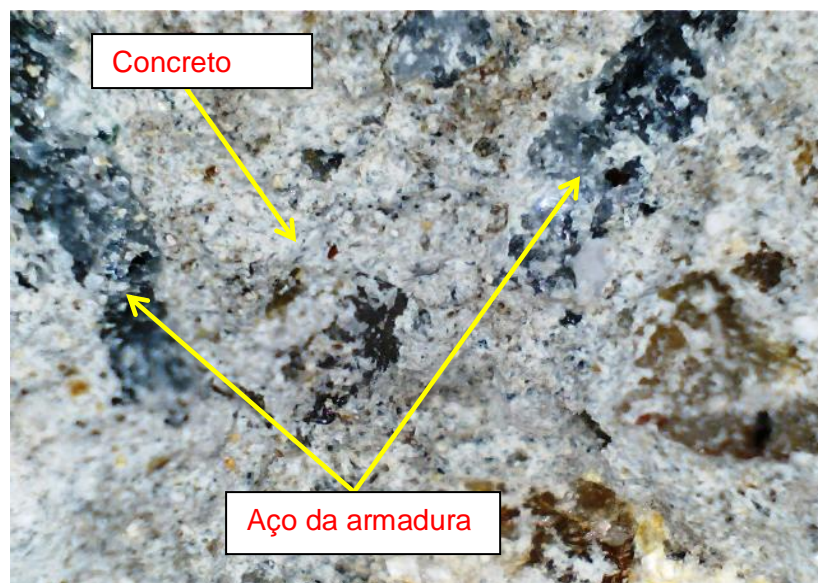


Figura 5.2.3.2.4 - Corpo de prova pintado armado 6. Interface
armadura/ concreto. Ampliação 400X com lupa estereoscópica.

- *Corpo de prova referência armado 3 (atacado)*

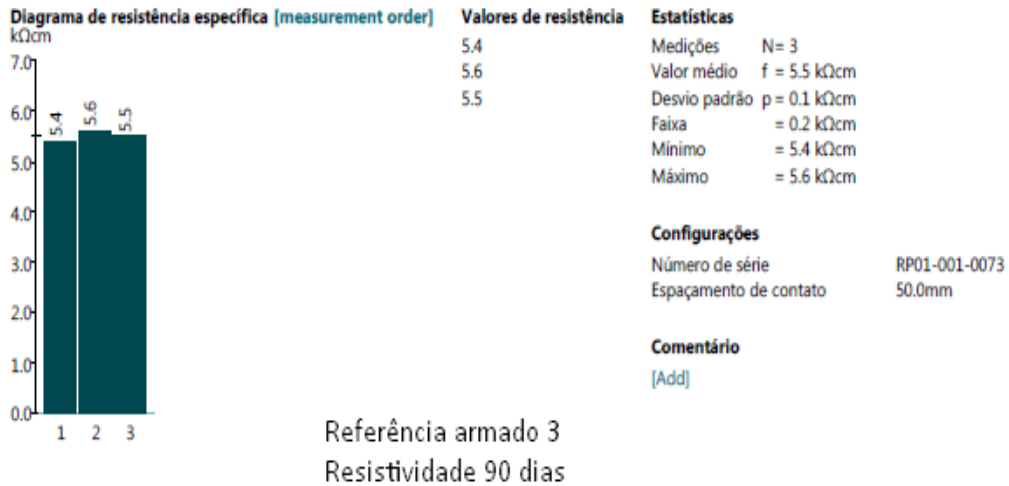


Figura 5.2.3.2.5 - Resistividade corpo de prova referência armado 3 – Atacado 90 dias.

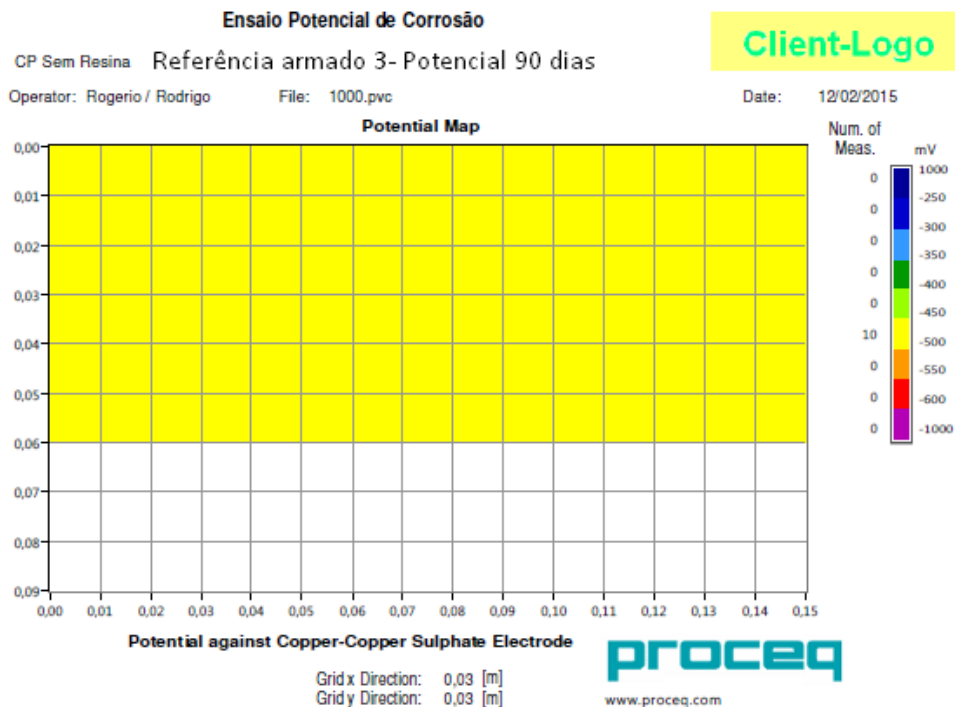


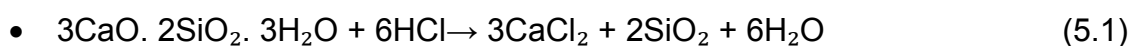
Figura 5.2.3.2.6 - Potencial de corrosão corpo de prova referência armado 3 – Atacado 90 dias.

O corpo de prova referência armado 3 Figuras 5.2.3.2.5 e 5.2.3.2.6, apresentou após 90 de ataque na solução ácida, uma redução de quase 50% de sua resistividade média, em relação ao corpo de prova referência 7 controle passando de uma média 10,2KΩcm para média de 5,5KΩcm. Isto indica que o

risco de corrosão é elevado. Já os valores apresentados pela medida potencial de corrosão tomados na superfície do concreto apresentaram uma pequena alteração passando de -550mV para -500mV indicando uma possibilidade de corrosão severa. O potencial de corrosão nos indica que existe uma diferença de potencial entre a superfície do aço e superfície do concreto, que na presença de um eletrólito permitirá a fluência de uma corrente elétrica. Esta pequena alteração permitiu o aumento da corrente que está fluindo e isto ocorreu, pois os produtos da reação do ácido clorídrico com a matriz cimentícia permitiram a formação de poros diminuindo a resistividade e aumentando a diferença de potencial entre a superfície do aço e a superfície do concreto

O ácido clorídrico é fortemente agressivo ao concreto armado, pois em uma primeira etapa este reage com a matriz cimentícia, e em uma segunda etapa os elementos formados pelas reações químicas envolvidas formam cloretos, que passaram agir despassivando o aço embutido no concreto e provocando o início do processo de corrosão das armaduras. As principais reações do ácido clorídrico com a matriz cimentícia são apresentadas a abaixo:

Reação com CSH- Silicato de cálcio hidratado, formando:

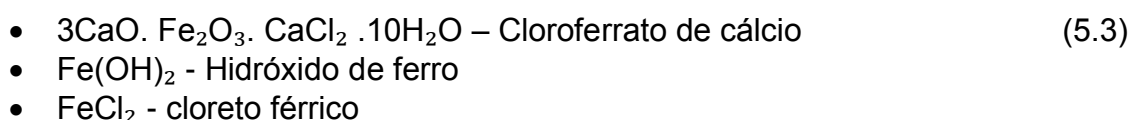


Reações envolvendo cloretos:

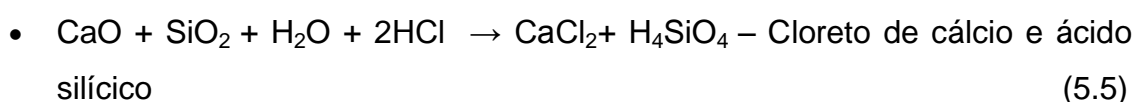
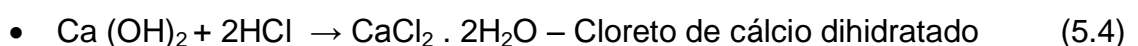
Reação com C3A –Aluminato tricálcico formando:



Reação com C4AF – Ferroaluminato tetracálcico formando:



São formados ainda pela reação do ácido clorídrico



- *Corpo de prova resina armado 4 atacado*)

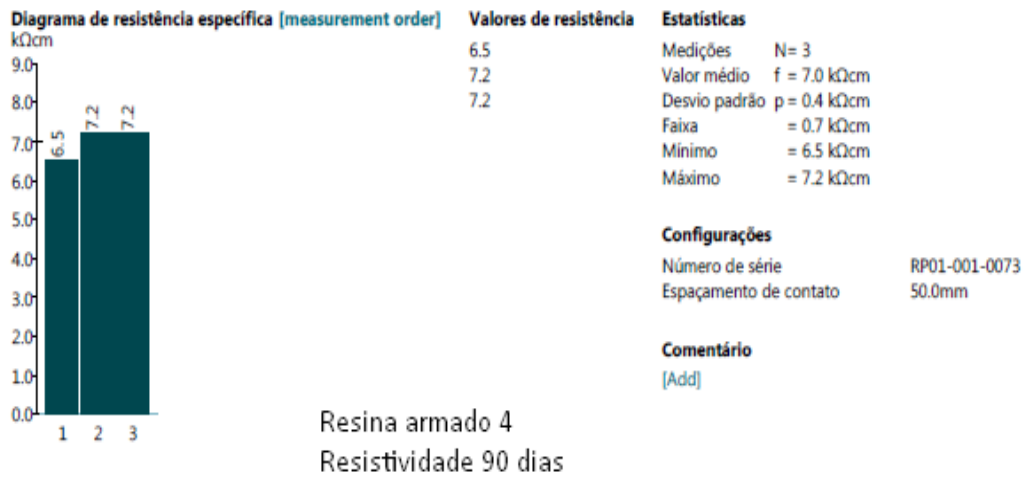


Figura 5.2.3.2.7 - Resistividade corpo de prova resina armado 4 – Atacado 90 dias.

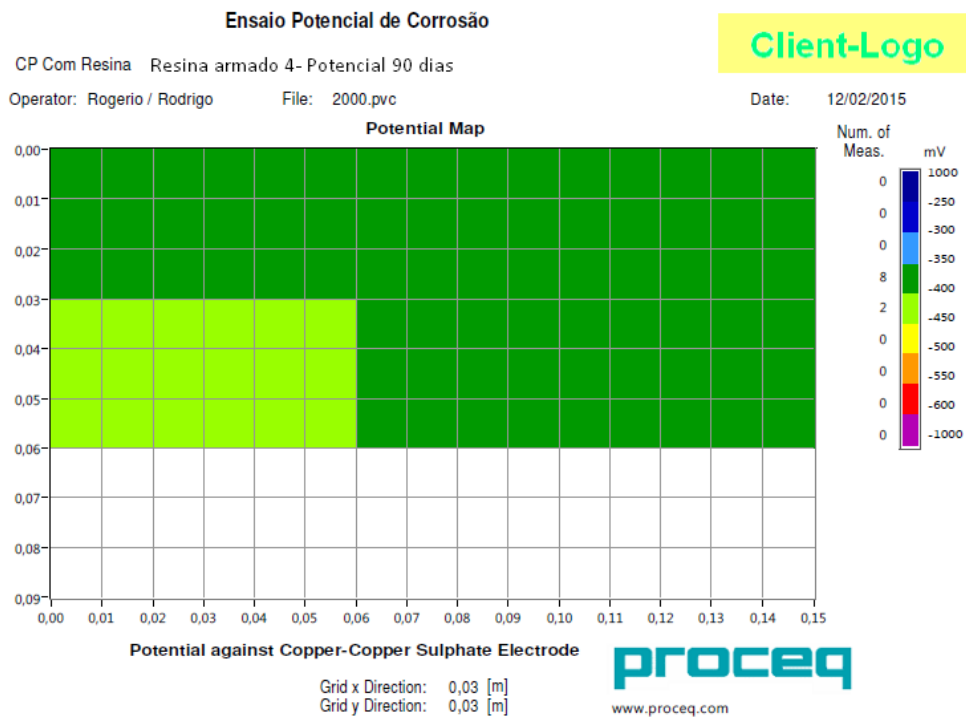


Figura 5.2.3.2.8 - Potencial de corrosão corpo de prova resina armado 4 – Atacado 90 dias .

O corpo de prova resina 4 armado, Figuras 5.2.3.2.7 e 5.2.3.2.8, também sofreu, após 90 dias de ataque em solução ácida, uma considerável redução de sua resistividade passando de uma média 10,5KΩcm para uma média de 7KΩcm. A

redução sofrida foi bem menor que a redução sofrida pelo corpo de prova referência armado 3. Originalmente os valores de resistividade entre os corpos de prova referência 7 controle, sem ataque, e o corpo de prova resina 11 controle, também sem ataque, era de apenas 0,3KΩcm. Entretanto este valor alterou-se consideravelmente após 90 dias. Esta alteração tem como origem a formação de um filme coalescente produzido pela resina epoxídica, que mesmo tendo parte da matriz cimentícia destruída pela reações do ácido clorídrico, que formaram uma rede poros no concreto, este filme impediu a conexão entre estes poros, mantendo a resistividade do concreto mais elevada. Este fato pode ainda ser constatado ao analisarmos as medidas de potencial de corrosão, pois estas se mantiveram em sua maior parte inalteradas em -400mV e com variação em 2 pequenas áreas para -450mV, mantendo também após este período praticamente as mesmas condições de probabilidade e intensidade de corrosão verificado aos 30 dias de ataque.

Após os ensaios de resistividade e de potencial de corrosão foram escolhidos aleatoriamente 3 corpos de prova atacados 90 dias, sendo 1 referência armado, 1 resina armado e 1 pintado armado, que foram submetidos à compressão axial para permitir a abertura dos mesmos como o objetivo de analisar internamente o estava ocorrendo com o concreto e com as armaduras. As análises dos corpos de prova, comprovaram o que havia sido interpretado nos ensaios de resistividade e de potencial de corrosão.

Os corpos de prova foram ensaiados (pontual) com fenolftaleína para verificar se ainda apresentavam alcalinidade na superfície externa que foi exposta ao ácido. Os dos dois corpos de prova resina armado 5 e referência armado 5 apresentaram manchas rosadas na superfície que indícios de presença de alcalinidade, conforme mostra Figura 5.2.3.2.9.



Figura 5.2.3.2.9 - Corpos de prova atacados 90 dias. Ensaio com fenolftaleína . Corpo de prova a direita referência armado 5.
Corpo de prova a esquerda resina armado 5.

Analizando internamente o corpo “resina armado 5” próximo a armadura, verificou-se elevada alcalinidade. Já o corpo de prova “referência armado 5” internamente, também próximo a armadura, apresentou uma coloração mais atenuada, portanto com menor alcalinidade. Figura 5.2.3.2.10

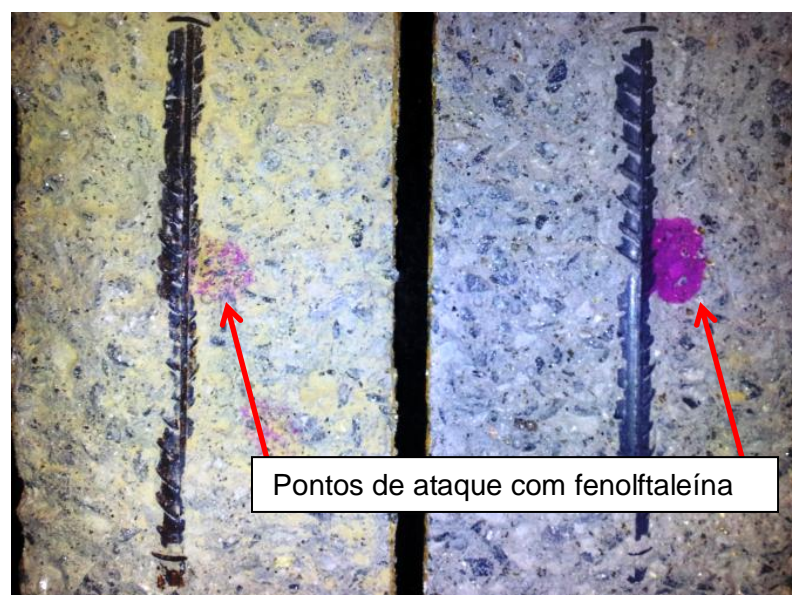


Figura 5.2.3.2.10 - Corpos de prova atacados 90 dias. Ensaio com fenolftaleína. Corpo de prova a direita resina armado 5.
Corpo de prova a esquerda referência armado 5.

Analisando os corpos de prova com lupa estereoscópica com ampliação máxima de 1600X constatamos que o corpo de prova referência 5 armado apresentava uma grande porosidade logo abaixo da superfície externa do concreto indicando que o concreto teria uma baixa resistividade. Esse fato que também já havia sido evidenciado pela medidas de resistividade de $5,5K\Omega\text{cm}$, apresentadas pelo corpo de prova referência armado 3 , aos 90 dias de ataque ácido.

A Figura 5.2.3.2.11 mostra a borda do corpo de prova referência armado 5, a matriz cimentícia foi destruída pelo ácido e o material já estava sendo lixiviado. A Figura 5.2.3.2.12 mostra o concreto logo abaixo da superfície, podemos verificar a existência de uma rede de poros bastante acentuada.

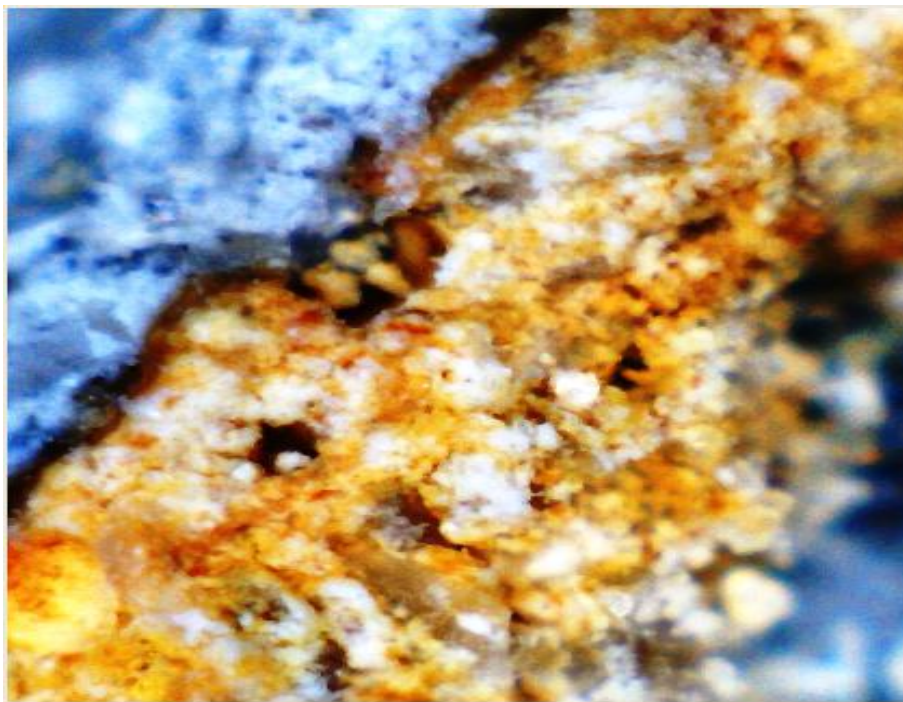


Figura 5.2.3.2.11 - Corpo de prova referência armado 5.
Borda atacada pelo ácido clorídrico.
Ampliação 400X com lupa estereoscópica.

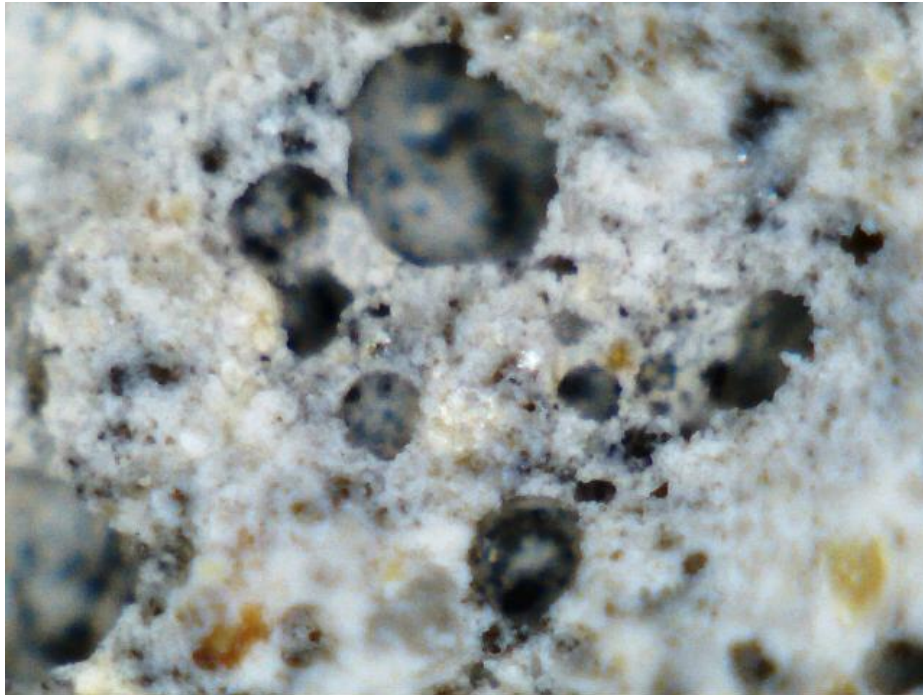


Figura 5.2.3.2.12 - Corpo e prova referência armado 5
rede poros logo abaixo da superfície.
Ampliação 400X com lupa estereoscópica.

Nos ensaios de potencial de corrosão do corpo prova referência armado 3, verificou-se um valor de -550mV , corroborando a possibilidade da ocorrência de um processo de corrosão severa se instalando na superfície do aço, o que de fato veio a ser comprovado. Analisando armadura do corpo de prova referência armado 5, conforme mostra a Figura 5.2.3.2.13, foto feita com lupa estereoscópica ampliada 400X. Verificou-se manchas avermelhadas, que são as formações de hidróxido de ferro $\text{Fe}(\text{OH})_2$.



Figura 5.2.3.2.13 - Corpo de prova referência armado 5.
Armadura já com processo de corrosão instalado.
Ampliação 400X com lupa estereoscópica.

A análise do corpo de prova resina armado 5 com fenolftaleína , após 90 dias de ataque, indicava a presença de alcalinidade próximo à armadura , porém nos ensaios com corpo de prova resina armado 4, encontramos valores de resistividade média de $7K\Omega\text{cm}$, que indicam um risco de corrosão elevado com probabilidade alta de corrosão. O ensaio de potencial de corrosão -400mV também indicava um possível processo de corrosão. A diferença de potencial entretanto não havia se alterado, isto indicava um possível processo de corrosão na superfície do aço , mas neste caso , seria menos intenso que o processo do corpo de prova referência armado 5.

A Figura 5.2.3.2.14 mostra a presença de alcalinidade na superfície interna do concreto próximo a armadura



Figura 5.2.3.2.14 - Corpo de prova resina armado 5.
Concreto apresentando alcalinidade próximo armadura.
Ampliação 400X com lupa estereoscópica.

Embora também o corpo de prova resina armado 5 apresentasse a superfície da borda atacada pelo ácido , a superfície interna se encontrava bastante integra sem a quantidade de poros apresentada pelos corpos de prova de referência e ainda com presença de alcalinidade próximo à borda.

A inspeção da superfície do aço feita com a lupa estereoscópica mostrou que a mesma não apresentava nenhum indício de corrosão instalado, comprovando que as condições de possibilidade de corrosão, indicados no ensaio de potencial de corrosão estavam corretas quando comparadas com os corpos de prova de referência.



Figura 5.2.3.2.15 - Corpo de prova resina armado 5.
Concreto apresentando alcalinidade, próximo à borda atacada.
Ampliação 400X com lupa estereoscópica.

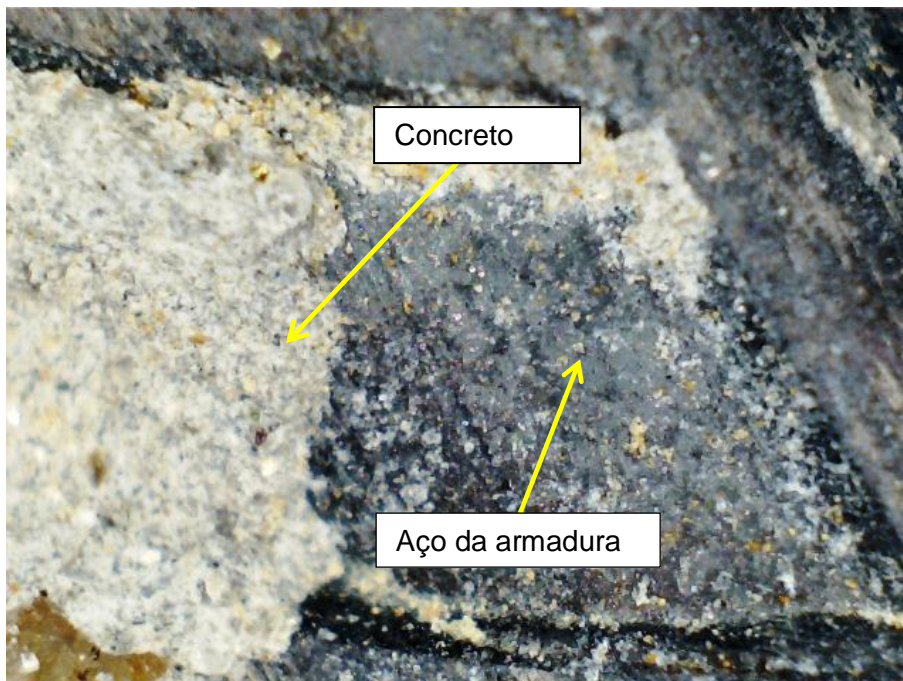


Figura 5.2.3.2.16 - Corpo de prova resina armado 5.
Armadura sem indícios de corrosão instalada.
Ampliação 400X com lupa estereoscópica.

5.2.3.3 Resistividade e potencial corrosivo das armaduras com 150 dias de ataque

- *Corpo de prova pintado armado 7(atacado)*

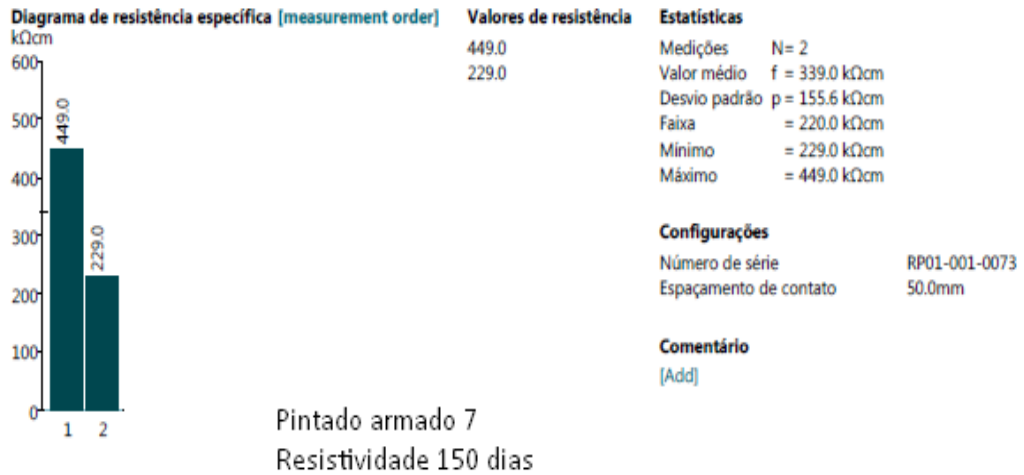


Figura 5.2.3.3.1 Resistividade Corpo de prova pintado armado 7. Atacado 150 dias.

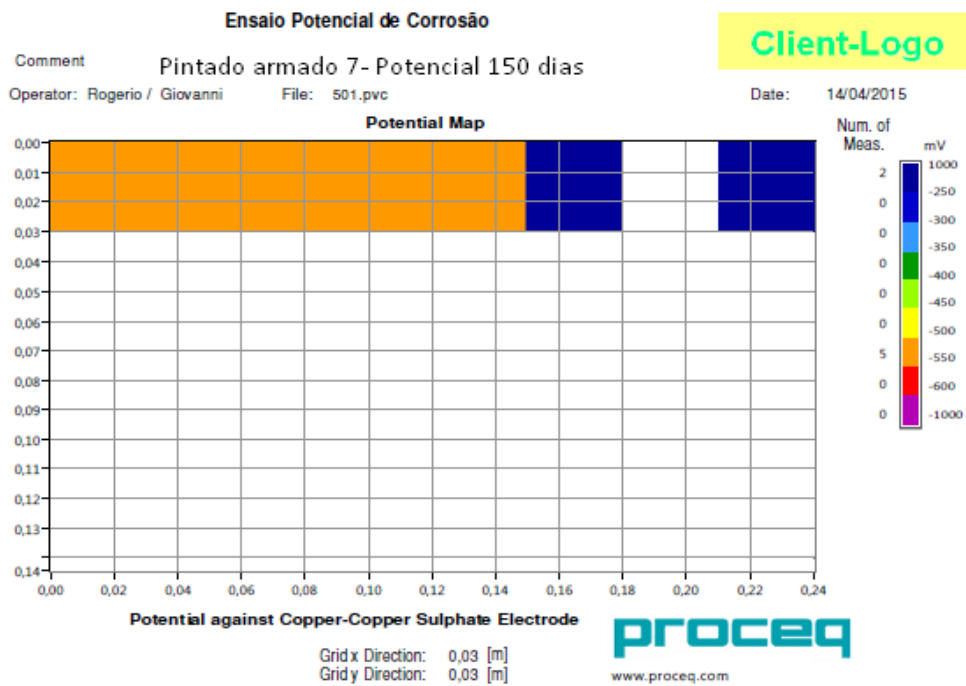


Figura 5.2.3.3.2 Potencial de corrosão corpo de prova pintado armado 7. Atacado 150 dias.

O corpo de prova pintado armado 7, Figuras 5.2.3.3.1 e 5.2.3.3.2 ,após 150 dias de ataque, também não apresentou falha em seu revestimento de pintura epoxidica as medições de resistividade apresentam valores médios acima de 300KΩcm, indicando um risco de corrosão insignificante. A medida de potencial de corrosão quando tomada considerando o revestimento apresenta valores de +1.000mV de potencial de corrosão, indicando também que probabilidade de corrosão na superfície do aço é desprezível. Este condição de proteção total do concreto oferecida pelo revestimento epoxídico superou as expectativas tendo em vista que até presente momento todas as análises das amostras anteriores, indicavam o ótimo desempenho do revestimento, frente ao ataque da solução ácida.

- *Corpo de prova referência armado 9 (atacado)*

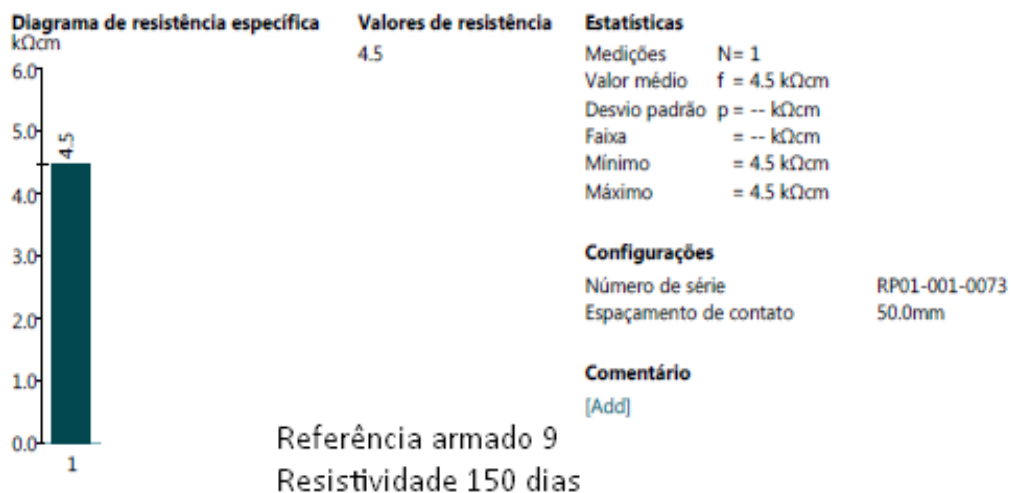


Figura 5.2.3.3.3 - Resistividade corpo de prova referência armado 9 – Atacado 150 dias.

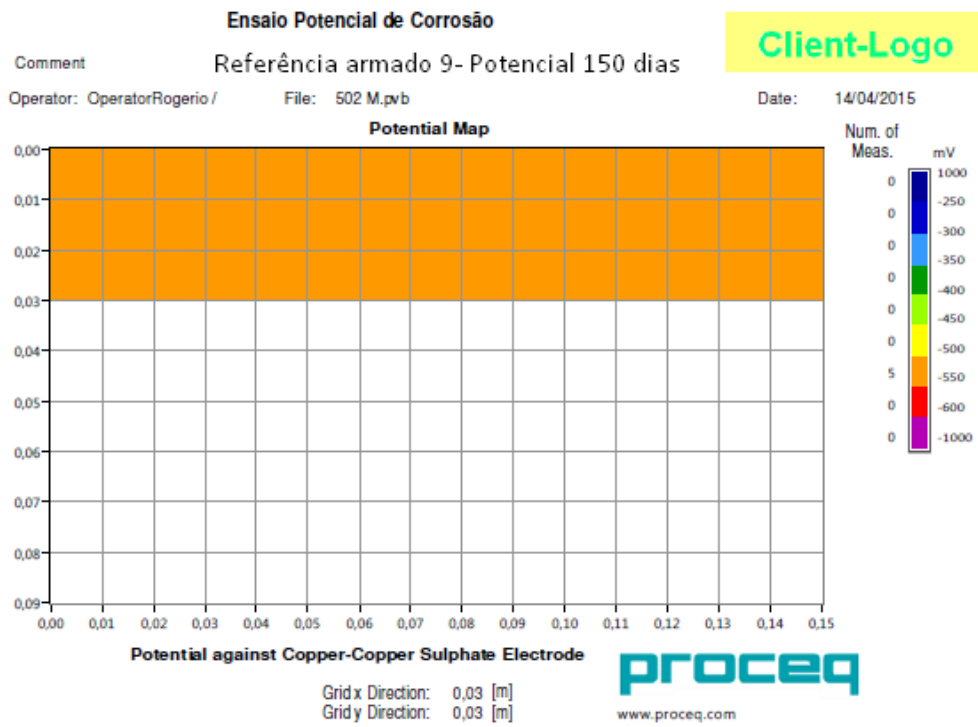


Figura 5.2.3.3.4 - Potencial de corrosão corpo de prova referência armado 9 – Atacado 150 dias.

- *Corpo de prova referência armado 1(atacado)*

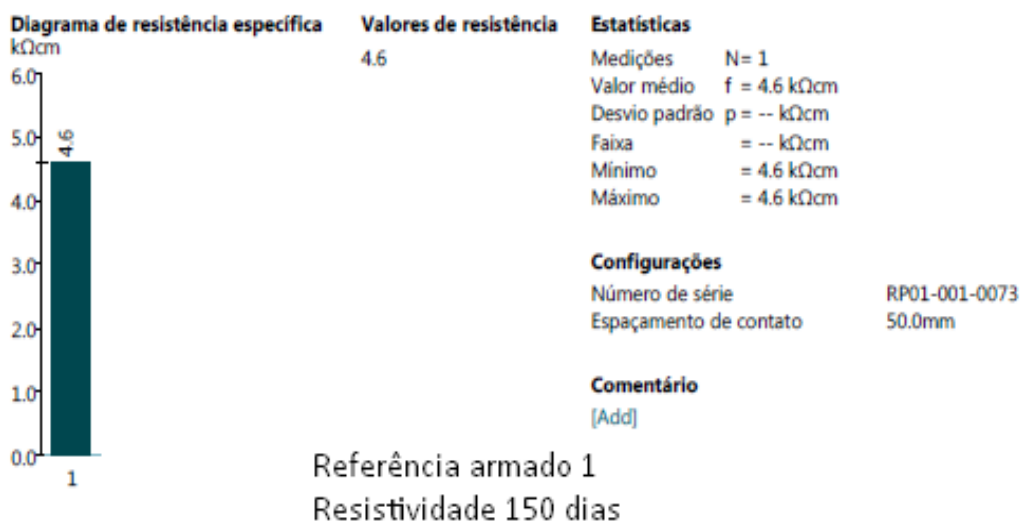


Figura 5.2.3.3.5 - Resistividade corpo de prova referência armado 1 – Atacado 150 dias.

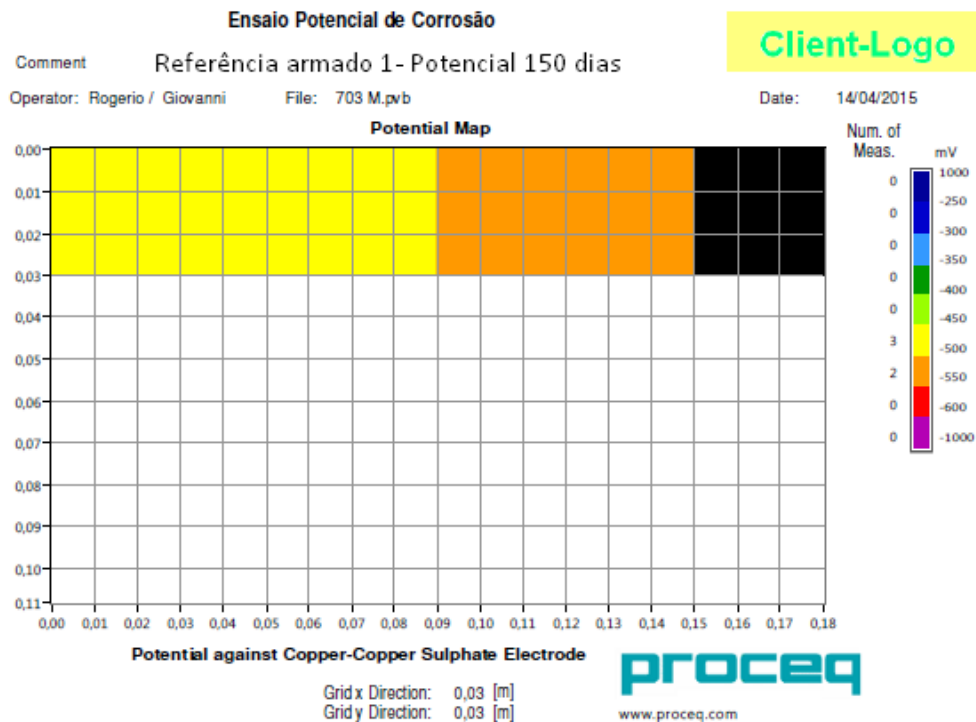


Figura 5.2.3.3.6 - Potencial de corrosão corpo de prova referência armado 1 – Atacado 150 dias.

Os corpos de prova referência armado 9 Figuras 5.2.3.3.3 ,5.2.3.3.4 e referência armado 1 Figuras 5.2.3.3.5 e 5.2.3.3.6, apresentaram após 150 dias de ataque, valores de resistividade médios em torno de 4,5KΩcm inferiores a menos de 50% dos valores iniciais do corpo de prova referência 7 controle . Isto indica que o concreto foi bastante atacado e a matriz cimentícia da superfície do concreto foi bastante destruída gerando uma rede poros muito profunda e interligada. Os valores medidos da diferença de potencial continuam altamente negativos - 450mV e -550mV, também indicam que existe uma corrente fluindo da superfície da armadura para superfície do concreto, o que possibilidade de corrosão na superfície do aço . A taxa de corrosão para esta condição é severa, com grandes indícios de já haver a formação de hidróxido de ferro $Fe(OH)_2$, expansão da armadura e deslocamento do concreto.

- *Corpo de prova resina armado 9 (atacado)*

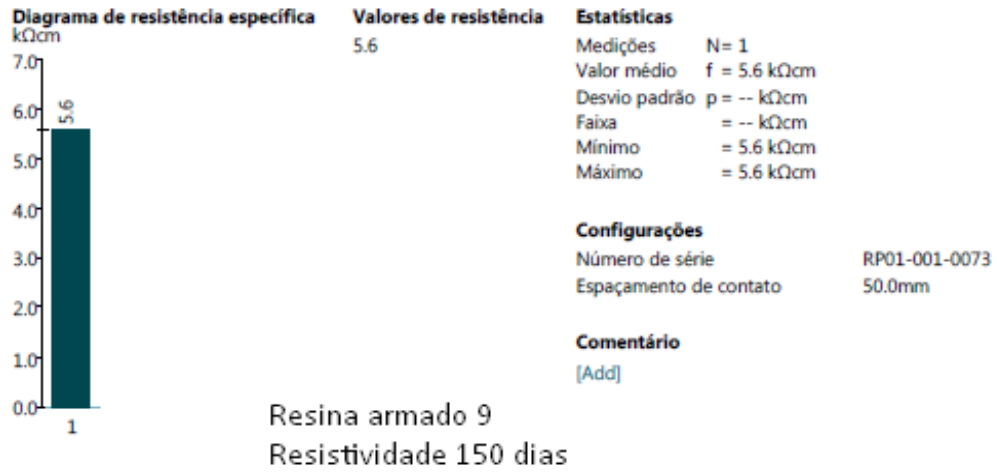


Figura 5.2.3.3.7 - Resistividade corpo de prova resina armado 9 – Atacado 150 dias.

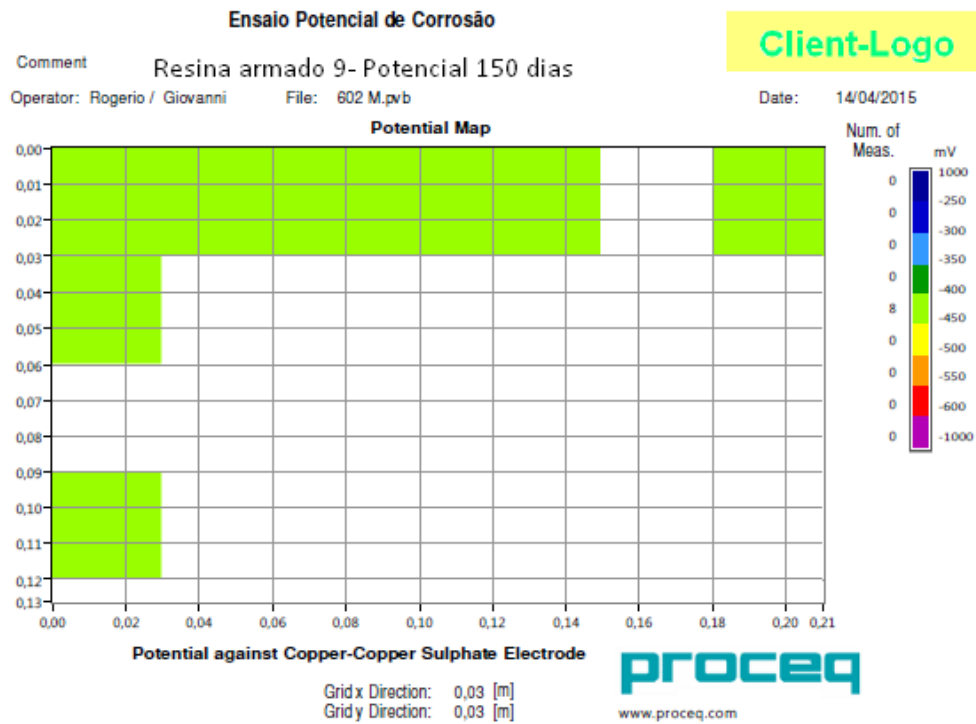


Figura 5.2.3.3.8 - Potencial de corrosão corpo de prova resina armado 9 – Atacado 150 dias.

- *Corpo de prova resina armado 10 (atacado)*

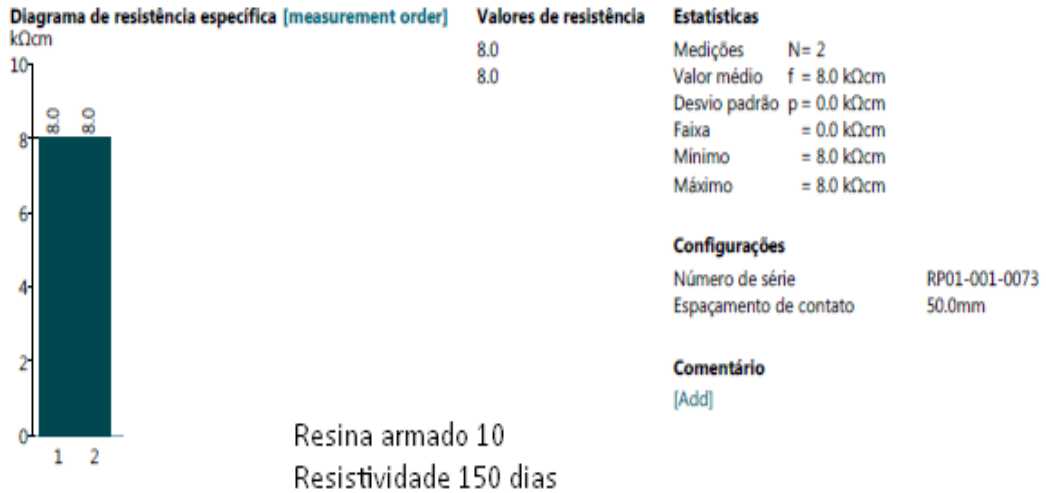


Figura 5.2.3.3.9 - Resistividade corpo de prova resina armado 10 – Atacado 150 dias.

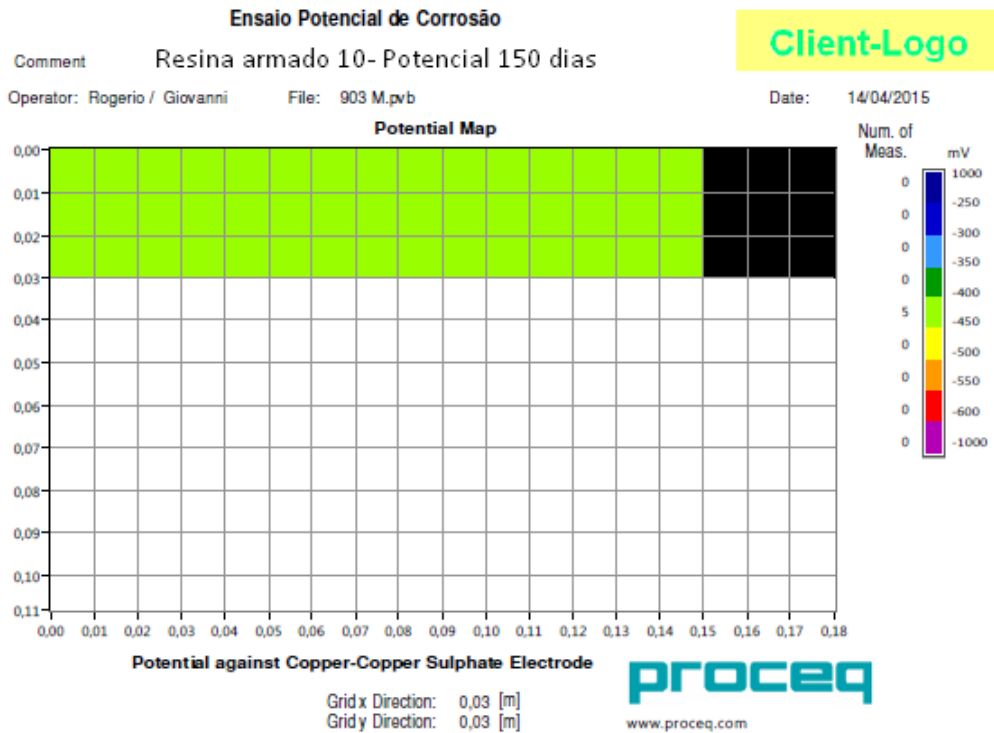


Figura 5.2.3.3.10 - Potencial de corrosão corpo de prova resina armado 10 – Atacado 150 dias.

Os corpos de prova resina armado 9 Figuras 5.2.3.3.7, 5.2.3.3.8 e resina armado 10, Figuras 5.2.3.3.9, 5.2.3.3.10, também sofreram uma grande redução de suas resistividade. O corpo de prova resina armado 9 apresentou uma resistividade de 5,6K Ω cm seguindo uma tendência de queda que já vinha sendo observada para os corpos de prova contendo a resina epoxídica qual seja mantendo uma resistividade cerca de 25% superior aos corpos de prova do concreto referência. Já o corpo de prova resina armado 10 apresentou valores da ordem de 8,0K Ω cm. Uma análise em conjunto com os valores do potencial de corrosão verificou-se que embora o risco de corrosão sinalize como alto, com uma probabilidade de corrosão também alta, os valores de diferença de potencial alteraram pouco indicando que a taxa de corrosão não teve grandes alterações passando de -400mV para -450mV. Diferente dos valores encontrados para os corpos de prova de referência, mas com indicações que macro células poderiam estar em formação.

Complementando as análises procedemos a inspeção utilizando a lupa estereoscópica verificaremos a seguir que pequenos pontos de corrosão já podiam ser encontrados na superfície do aço dos corpos de prova confeccionados com a resina.

Para a investigação e análise das superfícies interna, externa e das armaduras dos corpos de prova, foram novamente escolhidas aleatoriamente 3 amostras. Estes corpos de prova foram abertos por compressão axial. A escolha da abertura dos corpos de prova por compressão axial foi feita para permitir analisar a superfície interna do concreto sem a interferência de ferramentas de corte que poderiam modificar as superfícies a serem analisadas.

A Figura 5.2.3.3.11 mostra os corpos que foram analisados:



Figura 5.2.3.3.11 corpos de prova atacados 150 dias.

Ao comparar visualmente os corpos de prova Figuras 5.2.3.3.11, 5.2.3.3.12, 5.2.3.3.13, é possível verificar que o corpo de prova referência armado 8 apresentava maior desgaste na superfície exterior do que o corpo de prova resina armado 6. Já o corpo de prova pintado armado 4 não apresentava nenhum dano ao revestimento epoxídico bem como à sua estrutura.



Figura 5.2.3.3.12 – Fotografia dos corpos de prova abertos por compressão axial.



Figura 5.2.3.3.13 - Aço das armaduras dos corpos de prova. Atacados 150 dias.

Analisados os corpos de prova selecionados foi possível constatar ainda, à vista desarmada que o corpo de prova referência armado 8 apresentava a armadura com estado bem avançado de corrosão com formação de pequenas placas de hidróxido de ferro, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, em expansão.

Outra observação que pode-se fazer é que o concreto de referência e o concreto pintado (que é o mesmo de referência) apresentam uma cor ligeiramente mais escura que o concreto modificado com a resina. Esta pequena variação na cor já havia sido observada quando confeccionamos os corpos de prova dos traços experimentais, tal fato deve ser atribuído à resina que assume uma cor ligeiramente a branca após a mistura e indução.

Foi feita uma inspeção detalhada do corpo de prova pintado armado 4, e não foram detectados danos no revestimento epoxídico, todo o filme encontrava-se íntegro e sem sinais de desgaste devido ao ataque da solução ácida.

Os ensaios de resistividade e potencial de corrosão indicavam risco de corrosão desprezível e uma probabilidade de corrosão baixa, fato que foi confirmado com o auxílio da lupa estereoscópica.

Internamente o concreto encontrava-se íntegro e apresentando porosidade típica do concreto com fator de a/c elevado, como já era esperado, pois optou-se por este procedimento para melhor observar o comportamento do concreto modificado com a resina epóxi. O aço da armadura não apresentava nenhum sinal de corrosão se instalando, conforme mostra as Figuras 5.2.3.3.14 e 5.2.3.3.15.



Figura 5.2.3.3.14- Seção do aço da armadura.

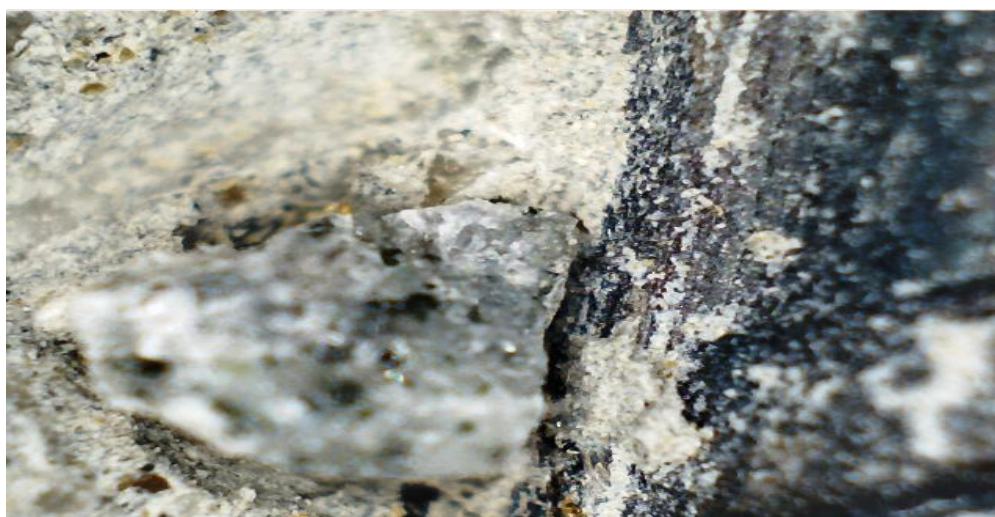


Figura 5.2.3.3.15- Interface aço com concreto
Ampliação 800X com lupa estereoscópica.

A Figura 5.2.3.3.16 mostra fragmento do corpo de prova contendo parte filme epoxídico que após 150 dias de ataque encontra-se totalmente íntegro, podemos verificar a existência e poros logo abaixo da película de tinta.

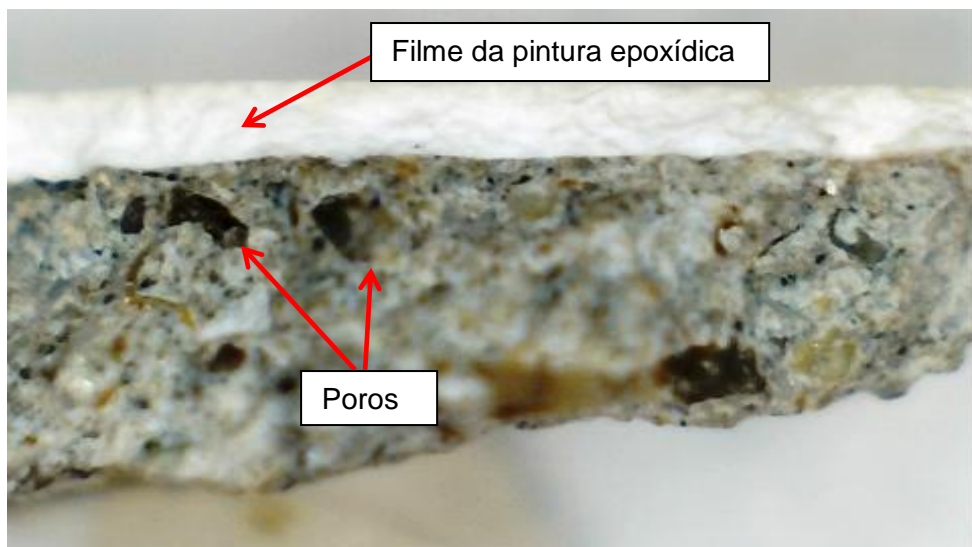


Figura 5.2.3.3.16 - Fragmento do corpo de prova pintado armado 4, Filme de pintura epóxi. Ampliação 200X com lupa estereoscópica

Os ensaios indicavam risco e probabilidade de corrosão elevados com uma taxa de corrosão severa. As análises do corpo de prova referência armado 8 após 150 dias, utilizando a lupa estereoscópica reforçaram as previsões dos ensaios de resistividade e de potencial de corrosão registrados para os corpos de prova, referência armado 1 e referência armado 9, aos 150 dias de ataque em solução ácida. À vista desarmada as previsões já se confirmaram, pois a armadura já se encontrava com bastante corrosão instalada ao longo de todo o corpo, Figura 5.2.3.3.17 e 5.2.3.3.18. Com auxílio da lupa verificou-se que o concreto próximo a interface com a armadura apresentava um grande número de poros interconectados e próximo a estas zonas a corrosão já se encontrava em estado avançado. A Figura 5.2.3.3.19, mostra o concreto poroso na interface com aço da armadura.



Figura - 5.2.3.3.17 – Armadura retirada do corpo de prova referência armado 8 após 150 dias de ataque.



Figura- 5.2.3.3.18- Seção da armadura do corpo de prova referência armado 8 após 150 dias de ataque.



Figura 5.2.3.3.19 - Interface do concreto com aço da armadura. Rede poros interconectados, corpo de prova referência armado 8. Atacado 150 dias
Ampliação 800X com lupa estereoscópica.

Também é possível observar a corrosão por “pitting” instalando-se em alguns pontos na superfície do aço. Este tipo de corrosão ocorre quando no aço já despassivado há a formação de regiões anódicas e catódicas, (macro células) como mostrado nas Figuras 5.2.3.3.20 e 5.2.3.3.21.

Repetindo o que foi anteriormente citado, Mehta (2014) afirma que, quando grandes quantidades de cloreto estão presentes, o concreto tende a manter mais umidade, o que também aumenta a probabilidade de corrosão do aço, através da redução da resistividade elétrica do concreto. Quando a passividade do aço embutido no concreto é destruída, é a resistividade elétrica e a disponibilidade de oxigênio que controlam a taxa de corrosão.

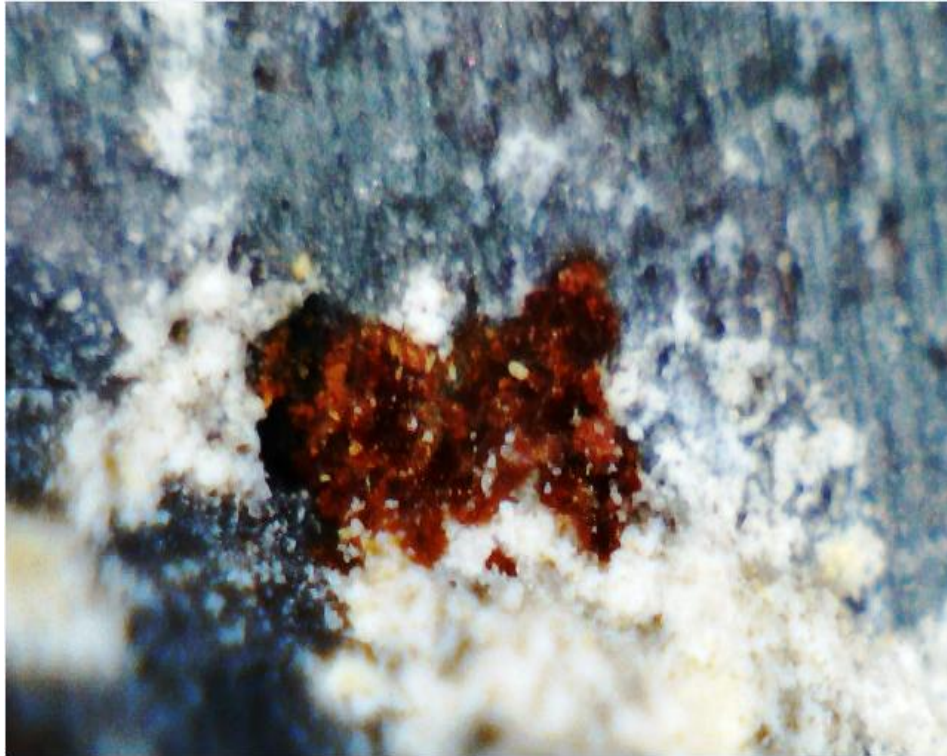


Figura 5.2.3.3.20 - Corrosão por pitting instalada na superfície do aço. Ampliação 400X com lupa estereoscópica.

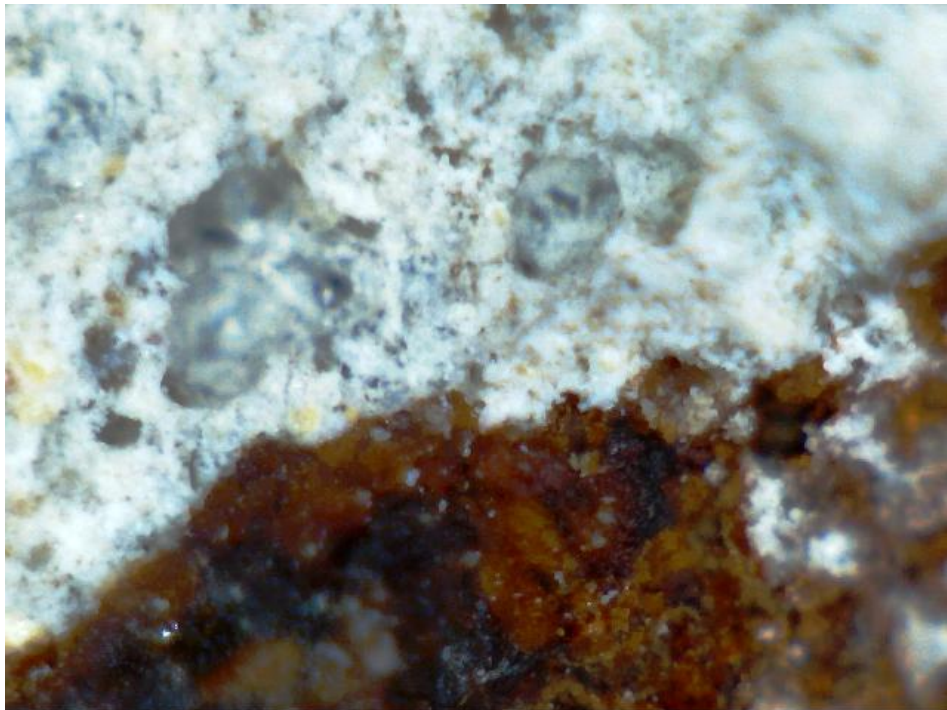


Figura 5.2.3.3.21 Corrosão por pitting instalada na superfície do aço. Ampliação 800X com lupa estereoscópica.

Os corpos de prova resina armado 9 e resina armado 10, após 150 dias de ataque indicavam pelos ensaios de resistividade e potencial de corrosão que os mesmos apresentavam um risco de corrosão elevado, probabilidade de corrosão também alta com taxa de corrosão alta. As medições do potencial de corrosão indicavam um pequeno aumento (negativamente) -400mV para -450mV, da diferença de potencial entre a superfície do aço e superfície do concreto corpo de prova resina armado 10. Este tipo de leitura permite considerar que macro células estejam em formação com zonas anódicas e zonas catódicas, causando corrosão em pontos localizados, pittings.

Ao analisar o corpo de prova resina armado 6 com auxílio da lupa comprovou-se que realmente já haviam pontos isolados de corrosão por pitting, instaladas, demonstrando também existência de zonas anódicas e catódicas típicas da corrosão por ataque de cloretos. A corrosão, no entanto estava restrita a pequenos pontos, o aço da armadura de modo geral apresentava-se ainda bastante íntegro. Este fato deve ser atribuído à formação de um filme coalescente característico da resina epóxi, que consegue envolver os componentes do concreto. Embora o ácido tenha reagido em parte com a matriz cimentícia formando poros, no concreto modificado com a resina, os poros formados foram em menor quantidade, mais isolados e não conseguiram se conectar devido a este filme que impedia que solução se distribuisse de forma homogênea através destes poros que se formaram.

A Figura 5.2.3.3.22 - Mostra o concreto com porosidade isolada provocada pelo ácido, sem contudo formar uma rede interconectada.

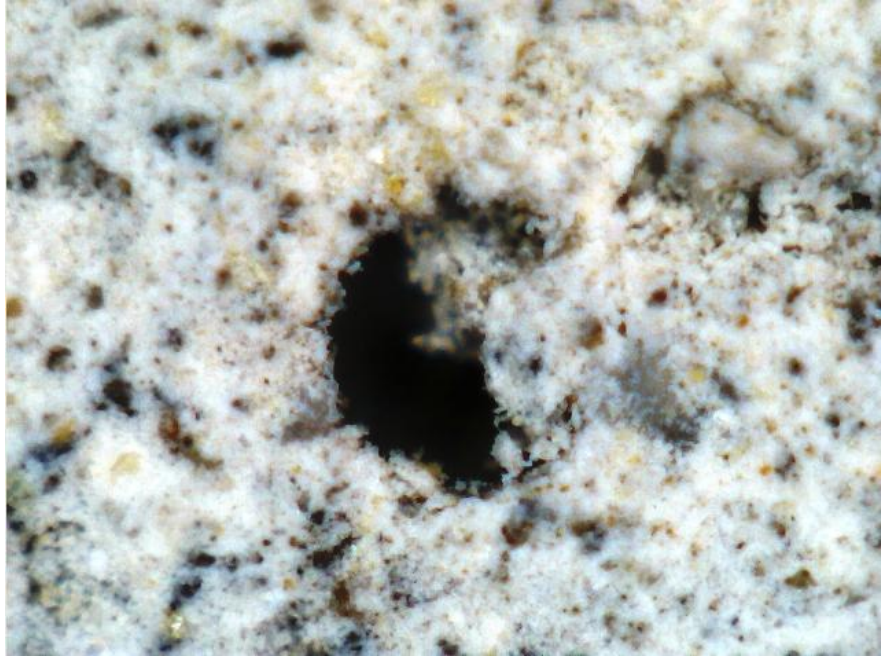


Figura 5.2.3.3.22 - Corpo de prova resina armado 6 - poro –
Ampliação 800X com lupa estereoscópica.

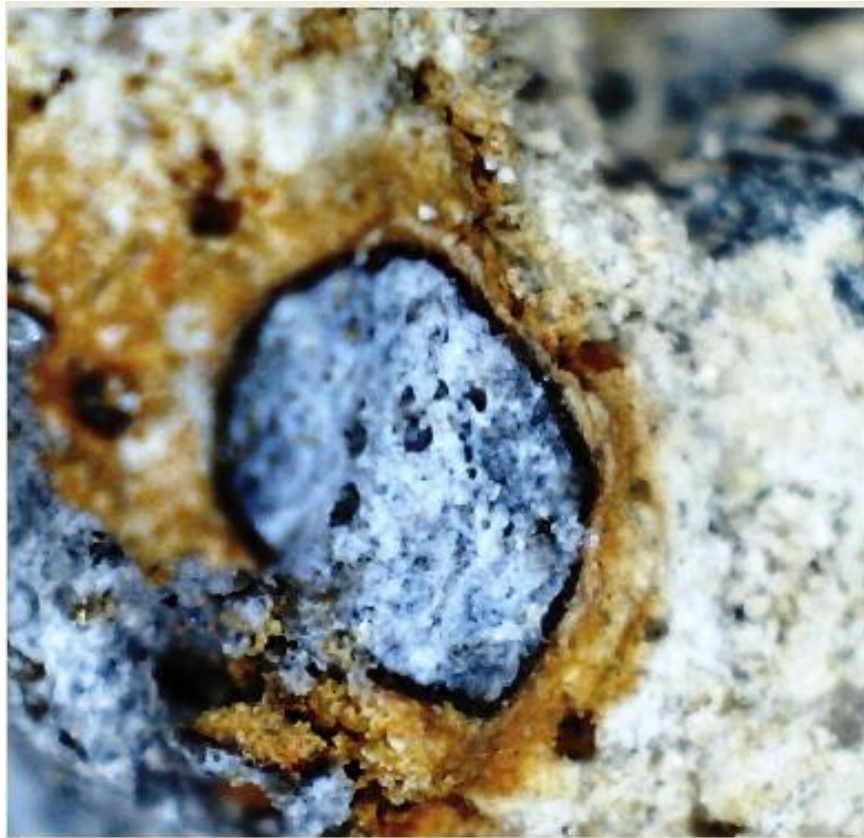


Figura 5.2.3.3.23 - Corpo de prova resina armado 6 .
Ataque ácido próximo à borda.
Ampliação 800X com lupa estereoscópica.

A Figura 5.2.3.3.23 mostra uma região próxima à borda atacada, podemos observar que o ácido consegue atacar bastante a superfície do concreto decompondo a matriz cimentícia, porém, em uma pequena zona que acreditamos ter concentrado uma maior quantidade de resina epoxídica, o ácido não conseguiu romper a barreira e reagir com a matriz cimentícia devido a proteção da resina epóxi.

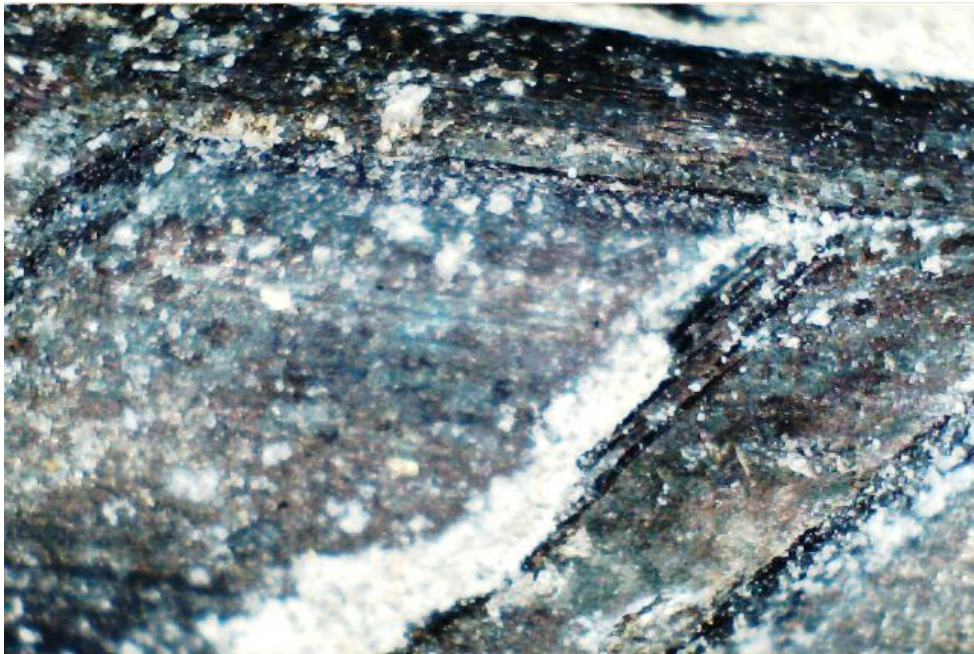


Figura 5.2.3.3.24 - Aço da armadura do corpo de prova resina armado 6 – Atacado 150 dias. Ampliação 200X com lupa estereoscópica.

O aço da armadura do corpo de prova resina armado 6, apresentava de forma geral um bom aspecto sem sinais de corrosão generalizada, conforme mostra a Figura 5.2.3.3.24 acima. Os pontos de corrosão encontrados eram de pequenas dimensões, distribuídos espaçados por cerca de 30 mm um do outro, demonstrando como já mencionado anteriormente a formação de zonas anódicas e catódicas, macro células, com corrosão por pitting já em processo de instalação.

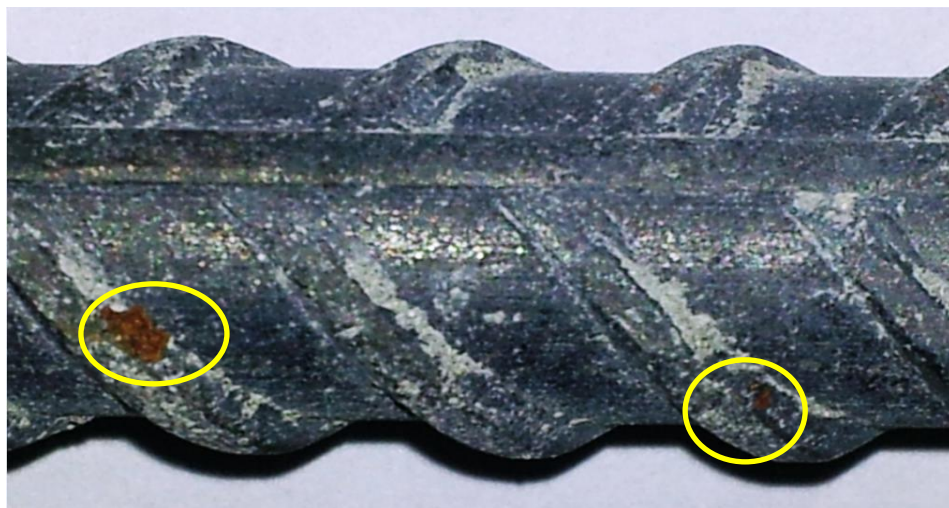


Figura 5.2.3.3.25 - Corrosão por pitting. Corpo de prova resina armado 6 – Atacado 150 dias.

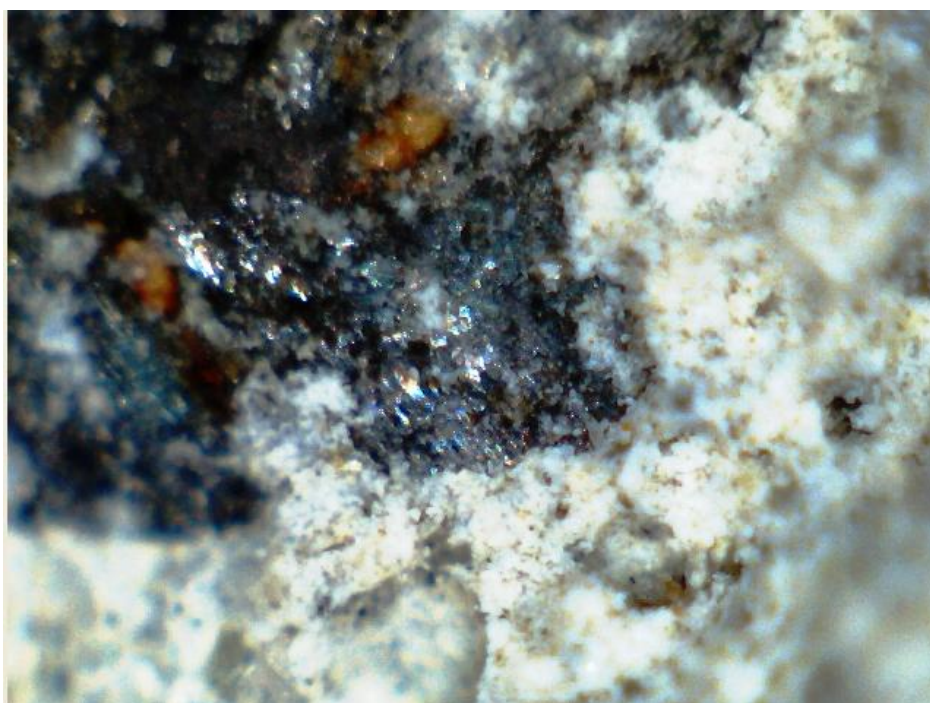


Figura 5.2.3.3.26 - Corrosão por pitting Corpo de prova resina armado 6- Atacado 150 dias. Ampliação 800X com lupa estereoscópica.

As Figuras 5.2.3.3.25 e 5.2.3.3.26 mostram a corrosão por pitting instalando-se na superfície do aço, podemos notar também que nesta região o concreto apresenta porosidade com a rede já interconectando-se, o que possibilitou o início de corrosão neste ponto.

6. CONCLUSÕES

O concreto modificado com resina epóxi mostrou um bom desempenho com relação à proteção frente ao ataque por cloretos, também o concreto protegido com a pintura a base de epóxi novolac mostrou excepcional desempenho frente ao ataque ácido.

Os corpos de prova confeccionados com concreto de referência apresentaram uma performance inferior aos concretos modificados com a adição da resina epóxi, quando submetidos à solução de ataque com ácido clorídrico.

Inicialmente, deve-se lembrar que ambos os concretos foram confeccionados com o mesmo traço, com exceção do acréscimo da resina epóxi, e com uma relação a/c elevada (0,56) para melhor observar o comportamento da resina, em um concreto mais frágil.

As análises de velocidade do pulso ultrassônico demonstraram entretanto que os concretos embora tivessem velocidades do pulso ultrassônico diferentes, mais lentos nos concretos com resina, estes poderiam ser classificados como concretos de boa qualidade segundo os critérios de (Whitehurt 1966)³ como já mencionado anteriormente, com velocidades médias de 3.747m/s para os concretos com resina e 4.220m/s para os concretos de referência. Esta diferença de velocidade deve-se a fato da resina ser um polímero e propagar a onda ultrassônica com menor eficiência que o concreto.

As análises de porosidade iniciais mostraram que ambos os concretos possuíam índices de vazios similares, sendo que o concreto com resina absorveu uma quantidade de água ligeiramente inferior que o concreto referência já demonstrando uma melhor performance.

Após 150 dias de ataque na solução ácida foi observado que os corpos de prova do concreto de referência apresentaram uma perda de massa e índice de

porosidade bem maior que os concretos com resina. Isto acontece devido ao fato do concreto de referência apresentar índice de porosidade maior que o concreto com resina, porque como o concreto de referência foi confeccionado com uma matriz cimentícia composta com “filler” calcário existe uma maior concentração de carbonato de cálcio CaCO_3 que é naturalmente consumida para tentar neutralizar a ação do ácido clorídrico .

Estas reações formam o cloreto de cálcio CaCl_2 que altamente solúvel em água, acelerando assim o processo de degradação do concreto , principalmente nas faces expostas ao ataque ácido. No processo de neutralizar a ação do ácido a matriz cimentícia produz o cloreto de cálcio CaCl_2 e cloreto de cálcio dihidratado $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e o ácido silícico H_4SiO_4 . Estas reações geram uma maior concentração de cloretos que irão provocar a despassivação do aço embutido no concreto e conseqüentemente iniciar os processo de corrosão da armadura.

Por outro lado ao incorporar a resina epóxi, como uma segunda matriz aglutinante, verificou –se que esta ajuda a diminuir sensivelmente as reações que aconteceram no concreto de referência, pela formação de uma película coalescente que protege e isola a matriz cimentícia composta com filler calcário , bem como os agregados do compósito. Esta película formada diminui a intensidade e até mesmo impede estas reações de acontecerem.

Diminuídas de intensidade ou impedidas de acontecer estas reações ,passa-se a ter um concreto com menor perda de massa e conseqüentemente menor porosidade.

Com poros menores e sem uma interconexão entre eles para formar uma rede, a capilaridade do concreto será bem menor. Vale lembrar que um dos mecanismos de penetração de cloretos no concreto é pela capilaridade da rede poros.

As análises dos ensaios de resistividade e potencial corrosão do concreto modificado com a resina, mantendo a tendência, apresentaram sempre melhores resultados que o concreto de referência, comprovando também a eficácia da resina epóxi neste quesito. Obviamente, quando tem-se um concreto com menor

porosidade, tamanho de poros menores e sem interconexão, os resultados de ensaios de resistividade e potencial de corrosão têm que ser obrigatoriamente melhores, pois estes ensaios são altamente dependentes destas características do concreto.

Analisando os resultados dos corpos de prova pintados ficou comprovado a eficiência do revestimento composto pelo selador epóxi e o acabamento em epóxi novolac. O revestimento não apresentou falhas aparentes durante todo o processo de experimentação e ao final dos 150 dias a película do revestimento estava totalmente íntegra.

Nos ensaios de resistividade e potencial de corrosão dos corpos de prova pintados, embora não recomendados pelas normas adotadas, pois o revestimento é um composto de polímeros que naturalmente é material isolante elétrico, comprovou-se que o revestimento oferece total proteção ao concreto.

Assim em trabalhos de revestimento de tanques, galerias ou outros que o concreto trabalhará submerso este revestimento é altamente recomendável.

Os concretos com resina podem ainda ter sua performance melhorada se a adição da resina epóxi em maior quantidade em relação ao peso do cimento. Júpiter *et al* (2010)³ demonstraram em estudo realizado que a medida que a porcentagem de resina aumenta, até um máximo de 50%, melhoram as características de resistência do concreto naquele caso, à água marinha. Este aumento pode ser devido ao cimento e a película de resina que ficam floculando de forma contínua e ao mesmo tempo, durante o processo de hidratação. No mesmo estudo, afirmam ainda que adições de resina até 10% não apresentam modificações significativas na resistência do concreto a compressão.

Concluiu-se que o uso de resina epóxi como material de adição para modificar concretos com o intuito de oferecer proteção contra a penetração de cloretos é eviável. A utilização em conjunto com outros materiais como cinzas volantes, e sílica ativa, bem como a substituição do cimento com “filler” por outro com menor disponibilidade de carbonato de cálcio CaCl_2 , podem aumentar ainda mais a

performance do concreto. O concreto com resina apresentam ainda com condição desfavorável, plasticidade comprometida, que pode ser um problema para concretagem de peças com geometria mais complicada ou com maior densidade de armaduras.

Assim o concreto modificado e tratado com resinas epóxi poderá contribuir para uma melhor durabilidade e permanência das estruturas de concreto armado em serviço, prolongar a vida útil das mesmas, quando levamos em consideração os conceitos de durabilidade estabelecidos pela NBR 6118 -2014. Oferece também conforme a mesma norma proteção das estruturas contra a despassivação do aço por ação de cloretos.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES

O concreto modificado com resina epóxi mostrou um desempenho adequado com relação à proteção frente ao ataque por cloretos, também o concreto protegido com a pintura a base de epóxi novolac mostrou excepcional desempenho frente ao ataque ácido.

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se:

- Confeccionar novos corpos de prova com o aumento da adição da resina epoxídica e substituir o cimento , para avaliar o comportamento do módulo de elasticidade e resistência à compressão, com estas novas dosagens, realizar novos ensaios de resistividade e potencial de corrosão das armaduras.
- Com relação à proteção externa com pintura com tinta epoxídica, avaliar a vida útil do revestimento e ainda aplicação de uma nova camada de revestimento visando à proteção contra raios ultravioleta uma vez que os mesmos degradam as pinturas à base de epóxi.

8. BIBLIOGRAFIA

1. AASHTO TP.95 Concrete Surface Resistivity .
2. ABNT NBR 6118 Projetos De Estruturas De Concreto Procedimento.
3. ASTM C 876 – 91 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.
4. Concrete Microstructure Properties And Materials. P.Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro 4th Edition 2014.
5. Concrete Technology M. Neville and J.J. Brooks 2nd Edition
6. Corrosion of Steel In Concrete – Understanding, Investigation, Repair John P. Broomfield 2nd Edition 2002.
7. Durability of concrete structures – Investigation, Repair, Protection Geoff Mays 1st Edition 2003.
8. Epoxy Handbook Nils Malgreen AB – Production Curt Augustsson 3rd Edition 2004.
9. IAEA – International Atomic Energy Agency Training Course series N° 17 2002
10. Material degradation and related managerial issues at nuclear power plants IAEA – International Atomic Energy Agency – 2005
11. NDTCE' 09 - Nondestructive Testing In Civil Engineering -2009 Guidebook On Non-Destructive Testing Of Concrete Structure Half-Cell Potential Test From Up-Side To Lower-Side Reinforced Concrete Slabs Comparative Study
12. Proceq – Canim Manual de Operações - 2012
13. Proceq – Resipod Manual de Operações - 2012
14. RILEM TC 154 EMC Half-cell potential measurements – Potential mapping on reinforced concrete structures.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT MB2611. **Argamassa E Concreto Endurecidos: Determinação Da Absorção De Água Por Imersão - Índice De Vazios E Massa Específica.** ABNT 2005.
- ABNT NBR 6118 -2014 **Projeto E Execução De Obras De Concreto Armado.** Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT NBR 7480 “**Aço Destinado A Armaduras De Concreto Armado Especificação**” ABNT 2007.
- ABNT NBR 8802: **Concreto Endurecido – Determinação Da Velocidade De Propagação De Onda Ultrassônica.** ABNT 2013.
- ACI COMMITTEE 222. ACI 222R-89: **Corrosion Of Metals In Concrete.** In: Manual of concrete practice. American Concrete Institute., Detroit: ACI Committee 222, v.1, 1990.
- ACI COMMITTEE 548. **ACI Materials Journal** V.91 N°5 September/October 1994 ACI Monograph No. 2, ACT, Detroit, MI (1966).
- AGGARWAL L.K.; THAPLIYAL P.C.; KARADE S.R. **Properties Of Polymer-Modified Mortars Using Epoxy And Acrylic Emulsions.** Construction and Building Materials v.21 pages 379–383 . 2005.
- AGGARWAL. K. THAPLIYAL P. C. KARADA S. R. , **Construction. Building Material.** v. 21, pages. 379-383 , 2007.
- ASTM C876-91. **Standard Test Method For Half-Cell Potentials Of Uncoated Reinforcing Steel In Concrete.** ASTM C876, 2009 USA.
- ASTM D1000 – 10. **Standard Test Methods For Pressure-Sensitive Adhesive-Coated Tapes Used For Electrical And Electronic Applications.** ASTM 2010
- AUGUSTSSON C. **NM Epoxy Handbook.** 3ª Edition, 2004.
- BĂRBUȚĂ M.; HARJA M. **Experimental Study On The Characteristics Of Polymer Concrete With Epoxy Resin.** Buletinul Institutului Politehnic DIN IAȘI Publicat De Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Din Iași Tomul LIV (LVIII), Fasc. 1, 2008.
- BERTOLINI L.; ELSENER B.; PEDEFERRI P.; POLDER R.(1), **Corrosion Of Steel In Concrete,** pages 3 a 5 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Wiley. 2004.

BERTOLINI L.; ELSENER B.; PEDEFERRI P.; POLDER R.(2), **Corrosion Of Steel In Concrete**, pages V (1) WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Wiley. 2004.

BERTOLINI L.; ELSENER B.; PEDEFERRI P.; POLDER R.(3), **Corrosion Of Steel In Concrete**, pages 28 a 36. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Wiley. 2004.

BERTOLINI L.; ELSENER B.; PEDEFERRI P.; POLDER R.(4), **Corrosion Of Steel In Concrete**, pages V (1) WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Wiley. 2004.

BERTOLINI L.; ELSENER B.; PEDEFERRI P.; POLDER R.(5), **Corrosion Of Steel In Concrete**, pages 28 a 36 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Wiley. 2004.

BERTOLINI L.; ELSENER B.; PEDEFERRI P.; POLDER R.(6), **Corrosion Of Steel In Concrete**, page 6 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Wiley. 2004.

BERTOLINI L.; ELSENER B.; PEDEFERRI P.; POLDER R.(7), **Corrosion Of Steel In Concrete**, page 10 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Wiley. 2004.

BERTOLINI L.; ELSENER B.; PEDEFERRI P.; POLDER R.(8), **Corrosion Of Steel In Concrete**, pages 277 a 283. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Wiley. 2004.

BROOMFIELD J.P. **Resistivity Measurements**. Corrosion Of Steel In Concrete- Understanding ,Investigation And Repair. Pages 63- 77. 2nd Edition 2007

CALÇADA, L. M. L. **Estudo da Eficácia do Ensaio de Migração em Condições de Fluxo Não Estacionário na Previsão da Penetração de Cloretos em Concreto**. 2004. 213p. Tese Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CARINO N. J. **Non Destructive Techniques To Investigate Corrosion Status In Concrete Structures**. Journal Of Performance On Constructed Facilities. August 1999- Pages. 96 A 106.

CEMENT CONCRETE & AGGREGATES AUSTRALIA (1). **Chloride Resistance Of Concrete**. Centre for Built Infrastructure Research, University of Technology, Sydney, Australia, June 2009.

CEMENT CONCRETE & AGGREGATES AUSTRALIA (2). **Chloride Resistance Of Concrete**. Centre for Built Infrastructure Research, University of Technology, Sydney, Australia, June 2009.

CEUKELAIRE L. DE. **The Effects Of Hydrochloric Acid On Mortar**. Cement And Concrete Research. Vol. 22. pages. 903-914, 1992 USA.

DOTTO, M. R. J. **Boletim Técnico Cimento Itambé**. Agosto de 2012.

FIGUEIREDO, E. J. P. **Avaliação Do Desempenho De Revestimentos Para Proteção Da Armadura Contra A Corrosão Através De Técnicas Eletroquímicas - Contribuição Ao Estudo De Reparo De Estruturas De Concreto Armado**. Tese Doutorado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

FIGUEIREDO E. P. **Efeitos Da Carbonatação E De Cloretos No Concreto**. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, IBRACON, Cap., 27, pag. 829-855. 2005.

FOWLER D.W. **Building Digest, CBD 242**. Ottawa, 1985.

FOWLER D.W. **Cement and Concrete Composite**.(1) v.21, pages 449-452,1999.

FOWLER D.W. **Construction Building Material**.(2) v.13, pages. 253-262, 1999.

FOWLER D.W. **Future Trends In Polymer Concrete. Polymers In Concrete: Advances And Applications, SP-116**. American Concrete Institute, Detroit, pages.129-143. 1989.

GNECCO, C. **Pintura De Manutenção Industrial (1)**. Publicação IPT n. 1558, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - São Paulo- Apostila Técnica SW 2014

GNECCO, C. **Pintura De Manutenção Industrial (2)**. Publicação IPT n. 1558, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - São Paulo- Apostila Técnica SW 2014.

GOWRIPALAN N.; WAINWRIGHT P. J.; CABRERA J. G. AND CUSENS A. R. **Effect Of Curing On Concrete Durability With Particular Reference To Curing Membranes**. Final Report to the Science and Engineering Research Council, UK, Sept 1989.

GUIMARÃES, A. T. C. **Vida Útil De Estruturas De Concreto Armado Em Ambientes Marítimos**. Tese Doutorado em Engenharia Civil. Pag. 267.- Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

HADDAD, MUSTAFA U.; FOWLER, DAVID W.; e PAUL, DONALD R. **Factors Affecting The Curing And Strength Of Polymer Concrete**, ACI JOURNAL, Proceedings. v. 80, n. 5, pages. 396-402. Sept.-Oct 1983

IAEA (1). **Guidebook On Non-Destructive Testing Of Concrete Structure** . Training Course Series n°17. IAEA International Atomic Energy Agency . Vienna 2002.

IAEA (2). **Guidebook On Non-Destructive Testing Of Concrete Structure** . Training Course Series n°17. IAEA International Atomic Energy Agency . Vienna 2002.

IAEA (3). **Guidebook On Non-Destructive Testing Of Concrete Structure** . Training Course Series n°17. IAEA International Atomic Energy Agency . Vienna 2002.

IAEA (4). **Guidebook On Non-Destructive Testing Of Concrete Structure** . Training Course Series n°17. IAEA International Atomic Energy Agency . Vienna 2002.

ISO 12944 PAINTS & VARNISHES. **Corrosion Protection Of Steel Structures By Protective Paint Systems (Parts 1-8)**. ISO 1998.

JONES R.; FACAOANU I. **Recommendations For Testing Concrete By The Ultrasonic Pulse Method**. Materials and Structures Research and Testing, Paris 2 (19) (1969) 275.

JÚPITER T.; RASHIDI A. HJ (1). **Effect of Seawater on the properties of Epoxy Modified concrete**. UNIMINAS e-Journal of Civil Engineering . V.1 Issue 2 April 2010.

JÚPITER T.; RASHIDI A. HJ (2). **Effect of Seawater on the properties of Epoxy Modified concrete**. UNIMINAS e-Journal of Civil Engineering . V.1 Issue 2 April 2010.

JÚPITER T.; RASHIDI A. HJ (3). **Effect Of Seawater On The Properties Of Epoxy Modified Concrete**. UNIMINAS e-Journal of Civil Engineering . V.1 Issue 2 April 2010

KHATRI R. P.; HIRSCHAUSEN D. AND SIRIVIVATNANON V. **Broadening The Use Of Fly Ash Concretes Within Current Specifications**. CSIRO Report BRE045, 1998.

MEHTA P. K. **Durability of Concrete Exposed to Marine Environment – A Fresh Look**. Second Int. Conf. on Concrete in Marine Environment, SP-109, St. Andrews by-the-Sea, Canada, 1988.

MEHTA P. K.; MONTEIRO P. J. M.(1); **Concrete, Microstructure, Properties and Materials**. Fourth Edition, 2014 page.113

MEHTA P. K.; MONTEIRO P. J. M.(2); **Concrete, Microstructure, Properties and Materials**. Fourth Edition, 2014 page.167.

MEHTA P. K.; MONTEIRO P. J. M.(3); **Concrete, Microstructure, Properties and Materials**. Fourth Edition, 2014 page.167.

MEHTA P. K.; MONTEIRO P.J.M.(4); **Concrete Micoestructure Properpies And Materials** – Fourth Edition, 2014 Pages. 393 A 398.

MIRZA J.; MIRZA M.S.; LAPOINTE R. **Laboratory And Field Performance Of Polymer-Modified Cement-Based Repair Mortars In Cold Climates** Construction Building Material, v.,16, pages. 365-374, 2002.

NACE No. 6. **Surface Preparation of Concrete.** National Association of Corrosion Engineers.

NEPOMUCENO A. A. **Mecanismo de Transporte de Fluidos no Concreto.** Concreto: Ensino, Pesquisas e Realizações. Geraldo Isaia (Ed.). São Paulo: IBRACON, 2005.

NEVILLE A. M.; J.J. BROOKS(1). **Corrosão da Armadura** Tecnologia do Concreto 2ª Edição Bookman 2013 .pag. 95.

NEVILLE A. M.; J.J. BROOKS(2). **Corrosão da Armadura** Tecnologia do Concreto 2ª Edição Bookman 2013 .pag. 268 -277.

NEVILLE A. M.; J.J. BROOKS(3). **Corrosão da Armadura** Tecnologia do Concreto 2ª Edição Bookman 2013 .pag. 256.

NEVILLE A. M.; J.J. BROOKS(4). **Corrosão da Armadura** Tecnologia do Concreto 2ª Edição Bookman 2013 .pag. 268 -277.

NEVILLE A. M.; J.J. BROOKS 5). **Ensaio De Velocidade De Propagação Da Onda Ultrassônica.** Tecnologia do Concreto 2ª Edição Bookman 2013 .pag. 314 -317

NEVILLE A. M.; J.J. BROOKS(6). **Corrosão da Armadura** Tecnologia do Concreto 2ª Edição Bookman 2013 .pag. 256 -268.

NEVILLE, A.; **Chloride Attack of Reinforced Concrete.** Materials and Structure March 1995 – 28 – Pages. 63-70.

OELSNER W.; BERTHOLD F.; GUTH. **The IR Drop – Well-Known But Often Underestimated In Electrochemical Polarization Measurements And Corrosion Testing.** Materials and Corrosion, V.57, No. 6, pages 455-466. U., 2006

OHAMA, Y. **Recent Status Of Concrete Polymer In Japan.** In: International Congress on Polymer in Concrete. Moscow, Proceedings. Moscow: V. V. Paturoev and R. L. Serykh, 1992. 769p. pages. 26-42;

POPOVIC S. **Strength Losses Of Polymer Modified Concrete Under Wet Conditions.** In: David WF, editor. Polymer Modified Concrete, ACI SP-99. pages.165-89. 1987.

POUR-GHAZ M.; ISGOR O. B.; GHODS, P.(1) **Quantitative Interpretation of Half-Cell Potential Measurements in Concrete Structures** ASCE Materials Journal, V. 21, No. 9, pages. 467-475). 2009.

POUR-GHAZ M.; ISGOR O. B.; GHODS, P.(2) **Quantitative Interpretation of Half-Cell Potential Measurements in Concrete Structures** ASCE Materials Journal, V. 21, No. 9, pages. 467-475). 2009.

PROCEQ. **Canin Manual de Operação**. Proceq 2013.

PROCEQ. **Resipod Manual de Operação**. Proseq 2013.

RASIAH RAVINDRARAJAH S. **Acids Attack On Silica Fume High-Strength Concrete**.

RILEM TC 154-EMC ELECTROCHEMICAL TECHNIQUES FOR MEASURING METALLIC CORROSION. **Recommendations Half-Cell Potential Measurements – Potential Mapping On Reinforced Concrete Structures – 2003** São Paulo, 1988.

SIAD, H.A.H; MESBAH, H.K., BERNARD, S.K., MOULI, M. **Effect Of Mineral Admixture On Resistance To Sulphuric And Hydrochloric Acid Attacks In Self-Compacting Concrete**. National Research Council Canada, NRC Research Press, Canadian Journal of Civil Engineering, 2010, 37(3): 441-449, 10.1139/L09-157.

SSPC-SP 13. **Surface Preparation Of Concrete**. Steel Structures Painting Council.

STEINBERG, M. **Concrete Polymer Materials And Its Worldwide Development**. In: International Symposium on Polymers in Concrete. Atlantic City. Proceedings. Detroit American Concrete Institute, 1973. pages. 123-137, (ACI. SP, 40).

TEZUKA, Y. **Concreto De Cimento E Polímero**. pages. 23- 26 . ABCP.

VIPULANANDAN C.; PAUL E. **Performance Of Epoxy And Polyester Polymer Concrete**. ACI Materials Journal, V. 87, No.3, May-June 1990 .

WENNER F. **A Method Of Measuring Earth Resistivity** - Bull Of Bureau Of Standards 12 (4) pages 469 -478. 1915.

WHITEHURST E.A(1) (2). **Sonoscope Tests Concrete Structures**, ACI J. Procedure. **47** (6) (1951) 433.

WHITEHURST E.A. (1). **Evaluation Of Concrete Properties From Sonic Tests**, Use of Sonoscope for Measuring Setting Time of Concrete. Procedure. ASTM **51** (1951) 1166

10- RELAÇÃO DE ANEXOS

ANEXO 1 BOLETIM DE CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO CP II-F-32



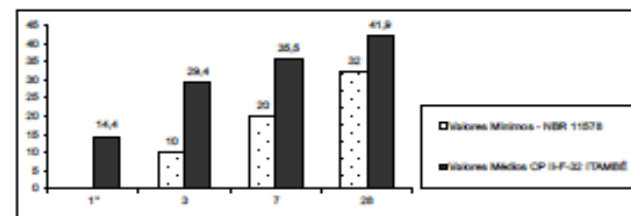
TIPO / CLASSE : **CP II-F-32**

RELATÓRIO DE ENSAIOS DE CIMENTO

PERÍODO : **set/14**
 MISSÃO : **31/10/14**

Data	Químicos										Físicos										
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Perda Fogo	CaO Livre	Recid. Insol.	Equiv. Alcal.	Exp. Quente	Tempo de Pega		Cons. Normal	Blaine	# 200	# 325	Resistência à Compressão			
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	mm	h : min	h : min	%	cm ² /tg	%	%	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
02	4,26	18,33	2,54	80,69	5,06	2,75	4,72	0,70	1,22	0,82	0,50	03:15	04:00	26,6	3.100	2,70	13,90	12,2	29,8	36,0	42,0
04	4,25	18,25	2,59	80,98	5,12	2,81	4,54	1,01	1,25	0,82	0,00	03:30	04:00	26,1	3.120	3,30	14,20	12,8	28,3	34,7	41,7
08	4,30	18,07	2,51	80,44	4,95	2,84	4,82	0,81	1,09	0,80	0,50	03:40	04:15	26,4	3.150	2,70	14,10	14,8	29,2	36,2	42,3
10	4,22	17,94	2,59	80,40	4,83	2,74	5,28	0,70	1,10	0,81	0,00	03:35	04:00	26,5	3.110	2,90	13,10	15,1	29,2	34,3	42,1
12	4,29	18,15	2,64	80,88	4,82	2,80	4,90	0,87	1,11	0,81	0,50	03:25	04:00	26,8	3.110	3,10	13,50	15,1	29,3	34,8	41,3
16	4,48	18,50	2,83	81,24	4,83	2,77	4,87	0,90	1,15	0,83	0,50	03:20	04:00	26,1	3.120	3,10	14,30	14,4	29,1	36,4	41,9
18	4,35	18,28	2,80	80,88	4,35	2,77	4,74	0,73	1,33	0,80	0,50	03:35	04:00	26,6	3.080	3,30	15,00	14,4	29,7	35,3	41,4
22	4,47	18,82	2,87	80,90	4,30	3,02	4,72	0,73	1,81	0,88	0,00	03:25	04:00	26,3	3.080	3,20	14,60	13,9	29,2	34,7	41,3
24	4,20	18,03	2,61	81,28	4,44	2,70	4,66	0,70	0,71	0,59	1,00	03:15	04:00	25,7	3.180	3,40	14,70	15,6	30,8	36,7	42,1
26	4,32	18,12	2,58	80,52	4,54	2,74	4,88	0,73	1,06	0,81	0,50	03:15	04:00	26,2	3.120	3,40	14,40	15,1	30,7	36,0	42,6
30	4,35	18,25	2,54	80,92	4,81	2,82	4,50	0,48	0,86	0,82	0,50	03:20	04:00	26,4	3.150	3,80	14,90	15,1	28,3	35,0	41,5
Média	4,32	18,26	2,68	80,74	4,73	2,78	4,78	0,78	1,16	0,82	0,41	03:26	04:01	26,3	3.113	3,17	14,26	14,4	29,4	35,5	41,8
Sd	0,08	0,24	0,06	0,40	0,28	0,10	0,21	0,14	0,28	0,02	0,30	00:09	00:06	0,3	48,28	0,33	0,68	1,1	0,8	0,8	0,4
Min	4,20	17,94	2,61	80,44	4,30	2,82	4,60	0,48	0,71	0,59	0,00	03:16	04:00	25,7	3.000	2,70	13,10	12,2	28,3	34,3	41,3
Max	4,48	18,82	2,87	81,28	6,12	3,02	6,28	1,01	1,81	0,88	1,00	03:40	04:16	26,8	3.180	3,80	16,00	16,8	30,8	36,7	42,8

Obs.: A Norma da ABNT não prevê a determinação da Resistência à Compressão a um dia para o CP II-F-32.
 A massa específica média do CP II-F-32 ITAMBÉ é 3,11 g/cm³ (NBR NM 23).
 As datas do relatório se referem ao dia de expedição do cimento.



ANEXO 2 BOLETIM TECNICO DE CARACTERIZAÇÃO DA RESINA EPOXI

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

Advanced Materials

Araldite® PY 33757

CONSTRUCTION INDUSTRY SYSTEMS
SOLVENT-FREE COATINGS

DATA SHEET

Emulsifiable, crystallization-resistant epoxy resin

Applications In combination with virtually any water-dilutable hardeners as a cross-linking agent, Araldite® PY 33757 (though preferably in emulsified form as Araldite® PY 33757-67) is an appropriate epoxy resin component for adhesives or surface technologies which can be diluted with water, or an appropriate reactive component in epoxy cement mortars.

Properties Excellent compatibility with virtually all water-based hardeners. The final properties of such systems are particularly dependent on the hardeners and additives chosen.
The resin is formulated according the FDA regulation 21 CFR 175.300 for coatings with food contact. It also complies with European legislation concerning coatings in contact with food and drinking water.

Key data	Typical key data		
	Aspect (visual)	slightly turbid liquid	
	Colour (Gardner, ISO 4630)	≤ 2	
	Epoxy index (ISO 3001)	5.50 - 5.80	[Eq/kg]
	Epoxy equivalent (ISO 3001)	172 - 182	[g/Eq]
	Viscosity at 25 °C (Rotary viscosity, ISO 3219)	6200 - 7200	[mPa s]
	Medium epoxy equivalent (ISO 3001)	177	[g/eq]
	Density at 20 °C (ISO 1675)	1.17	[g/cm ³]
	Flash point (Pensky Martens, ISO 2719)	> 180	[°C]
	As-supplied form	liquid	
	Odour	none	
	Shelf life (at storage temperature between 2 - 40 °C) (see expiry date on original container)	several years	
	Hazardous decomposition products (when disposed of in fire)	carbon monoxide, carbon dioxide, nitrogen oxides and other toxic gases and vapours	
	Disposal	regular procedures approved by local authorities	

Typical key data are spot checked; the values are typical for the product and are indicated for information only. The values are not guaranteed.

ANEXO 2 BOLETIM TÉCNICO DE CARACTERIZAÇÃO DA RESINA EPÓXI

Storage	Araldite® PY 33757 should be stored in a dry place, preferably in the sealed original container, at temperatures between 2 and 40 °C. The product should not be stored exposed to direct sunlight.
Handling precautions	Mandatory and recommended industrial hygiene procedures should be followed whenever our products are being handled and processed. For additional information please consult the corresponding product safety data sheets and the brochure "Hygienic precautions for handling plastics products".
Note	Araldite® is a registered trademark of Huntsman LLC or an affiliate thereof.

Huntsman Advanced Materials

(Switzerland) GmbH
Klybeckstrasse 200
4057 Basel
Switzerland
Tel +41 (0)61 299 1111

Huntsman Advanced Materials

(India) Pvt. Ltd
5th Floor, Bldg. No. 10
Solitaire Corporate Park
167, Guru Hargovindji Marg, Chakal
Andheri (East)
Mumbai - 400 093
India
Tel +91 22 4095 1556 - 60

Huntsman Advanced Materials

(Hong Kong) Ltd
Suites 3 - 12, Level 41
Langham Place
8 Argyle Street
Kowloon
Hong Kong
Tel +852 2148 8800

Huntsman Advanced Materials

Americas Inc.
10003 Woodloch Forest Dr.
The Woodlands
Texas 77380
Tel: +1 281 719-6000

www.huntsman.com/advanced_materials

Huntsman Advanced Materials warrants only that its products meet the specifications agreed with the buyer. Typical properties, where stated, are to be considered as representative of current production and should not be treated as specifications.

The manufacture of materials is the subject of granted patents and patent applications; freedom to operate patented processes is not implied by this publication.

While all the information and recommendations in this publication are, to the best of our knowledge, information and belief, accurate at the date of publication, NOTHING HEREIN IS TO BE CONSTRUED AS A WARRANTY, EXPRESS OR OTHERWISE. IN ALL CASES, IT IS THE RESPONSIBILITY OF THE USER TO DETERMINE THE APPLICABILITY OF SUCH INFORMATION AND RECOMMENDATIONS AND THE SUITABILITY OF ANY PRODUCT FOR ITS OWN PARTICULAR PURPOSE.

The behaviour of the products referred to in this publication in manufacturing processes and their suitability in any given end-use environment are dependent upon various conditions such as chemical compatibility, temperature, and other variables, which are not known to Huntsman Advanced Materials. It is the responsibility of the user to evaluate the manufacturing circumstances and the final product under actual end-use requirements and to adequately advise and warn purchasers and users thereof.

Products may be toxic and require special precautions in handling. The user should obtain Safety Data Sheets from Huntsman Advanced Materials containing detailed information on toxicity, together with proper shipping, handling and storage procedures, and should comply with all applicable safety and environmental standards.

Hazards, toxicity and behaviour of the products may differ when used with other materials and are dependent on manufacturing circumstances or other processes. Such hazards, toxicity and behaviour should be determined by the user and made known to handlers, processors and end users.

Except where explicitly agreed otherwise, the sale of products referred to in this publication is subject to the general terms and conditions of sale of Huntsman Advanced Materials LLC or of its affiliated companies including without limitation, Huntsman Advanced Materials (Europe) BVBA, Huntsman Advanced Materials Americas Inc., and Huntsman Advanced Materials (Hong Kong) Ltd.

Huntsman Advanced Materials is an international business unit of Huntsman Corporation. Huntsman Advanced Materials trades through Huntsman affiliated companies in different countries including but not limited to Huntsman Advanced Materials LLC in the USA and Huntsman Advanced Materials (Europe) BVBA in Europe.

Araldite® and Aradur® are registered trademark of Huntsman Corporation or an affiliate thereof.

Copyright © 2010 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.



Tintas **SUMARÉ**®

NOVA-PLATE UHS ULTRA HIGH SOLIDS EPOXY

Comp. A – 139.036 / 139.037

Comp. B – 139.937

Comp. B – 139.936 (para cura rápida)

INFORMAÇÕES SOBRE O PRODUTO		10/2001																																																								
DESCRIÇÃO DO PRODUTO		USOS RECOMENDADOS																																																								
<p>NOVA-PLATE UHS é uma tinta epóxi novolac de alta espessura, novolac curada com amina, sem solventes. É uma tinta low VOC, que tem excelentes propriedades de retenção nas bordas, por isto propicia proteção superior à das tintas epóxi convencionais. Pode ser utilizado como primer e acabamento, na pintura interna de tanques. Pode ser aplicada com pistola sem ar. Disponível com endurecedor para cura a temperaturas entre 2°C e 26°C.</p>		<p>Para a pintura de aço carbono jateado, na pintura interna de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ballast tanques (tanques de lastro) - tanques de armazenamento de óleo - tanques de combustíveis refinados - áreas de contenção. <p>Também pode ser utilizado na proteção anticorrosiva de componentes expostos em áreas muito agressivas de ambientes industriais ou marítimos.</p>																																																								
CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO																																																										
<p>Aspecto : Brilhante</p> <p>Cores : Branca ou cinza</p> <p>Sólidos por peso da mistura : 98% ± 2</p> <p>Sólidos por volume da mistura : 98% ± 2</p> <p>VOC (Método EPA 24) : 27 g/L</p> <p>Espessura seca recomendada por demão : 150 a 200 micrometros.</p> <p>Rendimento teórico por galão : 23,5 m² na espessura seca de 150 micrometros.</p> <p><i>Importante: O rendimento teórico é calculado com base nos sólidos por volume e não inclui perdas devidas à rugosidade ou porosidade da superfície, geometria das peças, métodos de aplicação, técnica do aplicador, irregularidades de superfícies, perdas de material durante a preparação, respingos, diluição em excesso, condições climáticas e espessura excessiva do filme aplicado.</i></p> <p>Peso aproximado por galão : Componente A 4,133 kg Componente B 0,677 kg</p> <p>Vida útil da mistura : 40 minutos a 25°C. <u>Observação:</u> A temperatura mais alta reduz a vida útil da mistura.</p> <p>Vida útil em estoque : Componente A 12 meses Componente B 12 meses</p> <p>Condições de armazenagem : Conservar o material em lata fechada e ao abrigo das intempéries, e de umidade, sob temperaturas que não ultrapassem 40°C.</p> <p>Proporção de mistura em volume : 4 partes de A para 1 parte de B</p> <p>Diluyente recomendado : DILUENTE 76</p> <p>Proporção de diluição : Se necessário até 5 %, em volume. <u>Nota :</u> A quantidade de diluyente pode variar dependendo das condições do ambiente durante a aplicação e do equipamento usado.</p>		<p>Tempo de secagem com endurecedor NORMAL :</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>13 °C</td> <td>25°C</td> <td>37°C</td> </tr> <tr> <td>Ao toque :</td> <td>15 horas</td> <td>4 horas</td> <td>2 horas</td> </tr> <tr> <td>Ao manuseio :</td> <td>36 horas</td> <td>14 horas</td> <td>6 horas</td> </tr> <tr> <td>Cura final :</td> <td>7 dias</td> <td>5 dias</td> <td>5 dias</td> </tr> </table> <p>Tempo de secagem com endurecedor PARA CURA RÁPIDA :</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>13 °C</td> <td>25°C</td> <td>32°C</td> </tr> <tr> <td>Ao toque :</td> <td>9 horas</td> <td>3 horas</td> <td>1 ½ hora</td> </tr> <tr> <td>Ao manuseio :</td> <td>24 horas</td> <td>12 horas</td> <td>4 ½ horas</td> </tr> <tr> <td>Cura final :</td> <td>7 dias</td> <td>5 dias</td> <td>5 dias</td> </tr> </table> <p>Os tempos de secagem dependem das temperaturas ambiente e da superfície, da umidade relativa do ar e da espessura do filme. Em condições diferentes da normalidade, recomendamos consultar a Assistência Técnica da Sumaré.</p> <p>Intervalo entre demãos : Quando necessário aplicar uma segunda demão ou para aplicação da demão subsequente do produto recomendado no esquema de pintura, devem ser observados os intervalos entre demãos mínimo e máximo indicados abaixo.</p> <p>Com endurecedor NORMAL :</p> <table border="1"> <tr> <td>Temperatura</td> <td>Mínimo</td> <td>Máximo</td> </tr> <tr> <td>13°C</td> <td>36 horas</td> <td>21 dias</td> </tr> <tr> <td>25°C</td> <td>14 horas</td> <td>21 dias</td> </tr> <tr> <td>32°C</td> <td>6 horas</td> <td>14 dias</td> </tr> </table> <p>Com endurecedor PARA CURA RÁPIDA :</p> <table border="1"> <tr> <td>Temperatura</td> <td>Mínimo</td> <td>Máximo</td> </tr> <tr> <td>13°C</td> <td>24 horas</td> <td>24 dias</td> </tr> <tr> <td>25°C</td> <td>15 horas</td> <td>21 dias</td> </tr> <tr> <td>37°C</td> <td>4 ½ horas</td> <td>5 dias</td> </tr> </table> <p>Se for ultrapassado o limite máximo indicado para aplicação da demão subsequente, é necessário lixar a superfície ou aplicar o PREPARADOR DE SUPERFÍCIE Nº 903 para se obter aderência satisfatória entre as camadas.</p> <p>Resistência ao calor seco : Temperatura máxima de 120°C. <i>Nota: Revestimentos orgânicos podem sofrer alteração de cor quando expostos ao calor, em temperaturas superiores a 60° C.</i></p> <p>Resistência ao intemperismo : <i>Como qualquer tinta epóxi, NOVA-PLATE UHS sofre amarelamento e calcinação quando exposta à radiação ultravioleta do sol.</i></p>		13 °C	25°C	37°C	Ao toque :	15 horas	4 horas	2 horas	Ao manuseio :	36 horas	14 horas	6 horas	Cura final :	7 dias	5 dias	5 dias		13 °C	25°C	32°C	Ao toque :	9 horas	3 horas	1 ½ hora	Ao manuseio :	24 horas	12 horas	4 ½ horas	Cura final :	7 dias	5 dias	5 dias	Temperatura	Mínimo	Máximo	13°C	36 horas	21 dias	25°C	14 horas	21 dias	32°C	6 horas	14 dias	Temperatura	Mínimo	Máximo	13°C	24 horas	24 dias	25°C	15 horas	21 dias	37°C	4 ½ horas	5 dias
	13 °C	25°C	37°C																																																							
Ao toque :	15 horas	4 horas	2 horas																																																							
Ao manuseio :	36 horas	14 horas	6 horas																																																							
Cura final :	7 dias	5 dias	5 dias																																																							
	13 °C	25°C	32°C																																																							
Ao toque :	9 horas	3 horas	1 ½ hora																																																							
Ao manuseio :	24 horas	12 horas	4 ½ horas																																																							
Cura final :	7 dias	5 dias	5 dias																																																							
Temperatura	Mínimo	Máximo																																																								
13°C	36 horas	21 dias																																																								
25°C	14 horas	21 dias																																																								
32°C	6 horas	14 dias																																																								
Temperatura	Mínimo	Máximo																																																								
13°C	24 horas	24 dias																																																								
25°C	15 horas	21 dias																																																								
37°C	4 ½ horas	5 dias																																																								

NOVA-PLATE UHS ULTRA HIGH SOLIDS EPOXY

Comp. A – 139.036 / 139.037

Comp. B – 139.937

Comp. B – 139.936 (para cura rápida)

INFORMAÇÕES SOBRE O PRODUTO		10/2001
<p style="text-align: center;">PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE</p> <p>A superfície deverá estar íntegra e em condições perfeitas. É necessária a remoção completa de óleos, pós, graxas, sujeiras, ferrugens soltas e materiais estranhos, para assegurar a aderência satisfatória.</p> <p>Para remover a oleosidade da superfície use solução de SUMACLEAN WB ou panos limpos embebidos em DILUENTE 905.</p> <p>O preparo de superfície mínimo necessário é Jato Abrasivo ao Metal Branco - Norma SSPC-SP 8 Padrão visual Sa3 SIS 05 59 00-67 Perfil de rugosidade: 50 a 75 micrometros</p>	<p style="text-align: center;">CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO</p> <p>Temperatura da superfície : mínima 4°C máxima 50°C</p> <p>A temperatura da superfície deverá estar no mínimo 3°C acima da temperatura do ponto de orvalho.</p> <p>Temperatura da tinta : mínima 4°C máxima 35°C</p> <p>Umidade relativa do ar : 10% a 85%.</p>	
<p style="text-align: center;">EQUIPAMENTOS PARA A APLICAÇÃO</p> <p>Os dados abaixo servem como guia. Podem ser utilizados equipamentos similares.</p> <p>Mudanças nas pressões e nos tamanhos dos bicos podem ser necessárias para melhorar as características da pulverização.</p> <p>Antes da aplicação esteja seguro de que os equipamentos e respectivos componentes estejam limpos e nas melhores condições. Purgue a linha de ar comprimido para evitar contaminação da tinta.</p> <p>Pistola <i>airless</i> : Pressão 6000 psi Mangueira 1/4" de diâmetro interno Bico 0,019" a 0,021" Filtro malha 30 Diluição não necessária.</p> <p>Pistola <i>convencional</i> : Pistola JGA 502/3 Devilbiss Bico de fluido EX Capa de ar 704 Pressão de atomização 60 a 65 psi Pressão no tanque 10 a 20 psi Diluição 10%, em volume</p> <p>Trincha : Usar trincha com 75 a 100 mm de largura para superfícies maiores e com 25 a 38 mm para parafusos, porcas, cordões de solda e retoques.</p> <p>Rolo : Usar rolos de lã de carneiro ou de lã sintética.</p> <p>Limpeza dos equipamentos : Utilizar DILUENTE 76.</p>	<p style="text-align: center;">INSTRUÇÕES PARA A APLICAÇÃO</p> <p>Mistura: Agite o conteúdo de cada um dos componentes, vigorosamente, se possível com agitador mecânico. Assegure-se de que nenhum pigmento fique retido no fundo da lata.</p> <p>Adicione o componente B ao componente A, respeitando a relação de mistura. Misture vigorosamente, se possível com agitador mecânico.</p> <p>Adicione o diluente somente depois que a mistura dos dois componentes estiver completa.</p> <p>Aplicação : Reforce todos os cantos vivos, fendas e cordões de soldas, com trincha, para evitar falhas prematuras nestas áreas.</p> <p>Quando aplicar por pulverização, faça uma sobreposição de 50% de cada passe da pistola, para evitar que fiquem áreas descobertas e desprotegidas, terminando com repasse cruzado.</p> <p>Excessiva diluição da tinta pode afetar a formação e o aspecto do filme e dificultar a obtenção da espessura especificada.</p> <p>Não aplique a tinta após o tempo de vida útil da mistura.</p>	
INSTRUÇÕES PARA DESCARTE DAS EMBALAGENS		
<p>Descontamine a embalagem vazia, lavando-a com o mesmo solvente utilizado na limpeza dos equipamentos. Após a descontaminação, envie para reciclagem.</p>		

ANEXO 4 BOLETIM TÉCNICO DE CARACTERIZAÇÃO DO SELADOR EPÓXI



Tintas **SUMARÉ**®

SHER-TILE CLEAR HS BR

Comp. A - 133.908 / 133.929

Comp. B - 133.909

INFORMAÇÕES SOBRE O PRODUTO		Revisada em 11/2001																																
<p>DESCRIÇÃO DO PRODUTO</p> <p>SHER-TILE CLEAR HS BR é um verniz epóxi modificado, bicomponente, sem solventes.</p> <p>É um verniz que propicia aderência de pinturas sobre azulejos, principalmente quando se deseja aplicar massa epóxi para o nivelamento dos rejuntas, com o objetivo de evitar o desenvolvimento de bactérias.</p> <p>Também pode ser usado para selar superfícies de concreto, rebocos em alvenaria, cimento amianto ou madeira</p> <p>Permite a aplicação em ambientes internos, sem a interrupção do processo produtivo, por não conter solventes em sua formulação.</p> <p>É compatível com acabamentos epóxi, epóxi betuminosos, poliuretanos ou fenólicos modificados.</p>	<p>USOS RECOMENDADOS</p> <p>Como verniz de aderência sobre paredes de concreto ou azulejos.</p> <p>Como verniz selador em:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Partes internas de tanques de concreto • Paredes de concreto ou de alvenaria pintadas com sistemas epóxi ou epóxi/poliuretanos • Estruturas ou pipe racks de concreto • Pisos de concreto • Telhas de concreto pré moldado <p>Como camada de acabamento, aplicada em duas demãos, sobre pisos pintados com tinta epóxi de alta espessura, para tornar a superfície mais lisa e brilhante.</p>																																	
CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO																																		
<p>Aspecto : Brilhante</p> <p>Cor : Vermelha transparente ou incolor</p> <p>Sólidos por peso da mistura : 90% ± 1</p> <p>Sólidos por volume da mistura : 98 % ± 2</p> <p>VOC (Método EPA 24) : 11 g/L</p> <p>Espessura seca recomendada por demão : 50 micrometros.</p> <p>Rendimento teórico por galão : 70,6 m² na espessura seca recomendada.</p> <p><i>Importante: O rendimento teórico é calculado com base nos sólidos por volume e não inclui perdas devidas à rugosidade ou porosidade da superfície, geometria das peças, métodos de aplicação, técnica do aplicador, irregularidades de superfícies, perdas de material durante a preparação, respingos, diluição em excesso, condições climáticas e espessura excessiva do filme aplicado.</i></p> <p>Peso aproximado por galão :</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>Componente A</td> <td>4,150 kg</td> </tr> <tr> <td>Componente B</td> <td>3,660 kg</td> </tr> </table> <p>Vida útil da mistura : 30 minutos a 25°C</p> <p><i>Importante : Por se tratar de um verniz epóxi sem solvente, a reação de endurecimento é rápida. Deve-se misturar apenas o necessário para utilização dentro do tempo de vida útil. A temperatura mais elevada reduz o tempo de vida útil da mistura.</i></p> <p>Vida útil em estoque :</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>Componente A</td> <td>24 meses</td> </tr> <tr> <td>Componente B</td> <td>24 meses</td> </tr> </table> <p>Condições de armazenagem : Conservar o material em lata fechada e ao abrigo das intempéries, e de umidade, sob temperaturas que não ultrapassem 40°C.</p> <p>Proporção de mistura : 1 parte de A <u>para</u> 1 parte de B</p>	Componente A	4,150 kg	Componente B	3,660 kg	Componente A	24 meses	Componente B	24 meses	<p>Diluição: SHER-TILE CLEAR HS BR não necessita de diluição. É fornecido em viscosidade pronta para o uso.</p> <p>Se for necessário diluir, utilizar o DILUENTE 908.</p> <p>Tempo de secagem:</p> <table style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>16°C</th> <th>25°C</th> <th>32°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ao manuseio :</td> <td>8 horas</td> <td>6 horas</td> <td>4 horas</td> </tr> <tr> <td>Cura final :</td> <td>7 dias</td> <td>5 dias</td> <td>4 dias</td> </tr> </tbody> </table> <p>Os tempos de secagem dependem das temperaturas ambiente e da superfície, da umidade relativa do ar e da espessura do filme. Em condições diferentes da normalidade, recomendamos consultar a Assistência Técnica da Sumaré.</p> <p>Intervalo entre demãos :</p> <p>Quando necessário aplicar uma segunda demão ou para aplicação da demão subsequente do produto recomendado no esquema de pintura, devem ser observados os intervalos entre demãos mínimo e máximo indicados abaixo.</p> <table style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Temperatura</th> <th>Mínimo</th> <th>Máximo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16°C</td> <td>8 horas</td> <td>36 horas</td> </tr> <tr> <td>25°C</td> <td>6 horas</td> <td>24 horas</td> </tr> <tr> <td>32°C</td> <td>4 horas</td> <td>18 horas</td> </tr> </tbody> </table> <p>Se for ultrapassado o limite máximo indicado para aplicação da demão subsequente, é necessário lixar a superfície ou aplicar o PREPARADOR DE SUPERFÍCIE Nº 903 para se obter aderência satisfatória entre as camadas.</p> <p>Resistência ao calor seco :</p> <p>Temperatura máxima de 120°C.</p> <p>Resistência ao intemperismo :</p> <p>Como qualquer tinta epóxi, SHER-TILE CLEAR HS BR sofre calcinação quando exposto à radiação ultravioleta do sol.</p>			16°C	25°C	32°C	Ao manuseio :	8 horas	6 horas	4 horas	Cura final :	7 dias	5 dias	4 dias	Temperatura	Mínimo	Máximo	16°C	8 horas	36 horas	25°C	6 horas	24 horas	32°C	4 horas	18 horas
Componente A	4,150 kg																																	
Componente B	3,660 kg																																	
Componente A	24 meses																																	
Componente B	24 meses																																	
	16°C	25°C	32°C																															
Ao manuseio :	8 horas	6 horas	4 horas																															
Cura final :	7 dias	5 dias	4 dias																															
Temperatura	Mínimo	Máximo																																
16°C	8 horas	36 horas																																
25°C	6 horas	24 horas																																
32°C	4 horas	18 horas																																



Tintas **SUMARÉ**®

SHER-TILE CLEAR HS BR

Comp. A - 133.908 / 133.929

Comp. B - 133.909

INFORMAÇÕES SOBRE O PRODUTO		Revisada em 11/2001
<p>PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE</p> <p>A superfície deverá estar íntegra e em condições perfeitas. É necessária a remoção completa de óleos, pós, graxas, sujeiras e materiais estranhos, para assegurar aderência satisfatória.</p> <p>Paredes de azulejos: Lavar a superfície com solução de SUMACLEAN WB</p> <p>Concreto: Lavar com ácido diluído, hidrojato ou jato abrasivo para eliminar a nata do cal, partículas soltas, rebarbas, deixando uma superfície de rugosidade uniforme. Consultar o BGA - Boletim Geral de Aplicação, da Sumaré.</p>	<p>CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO</p> <p>Temperatura da superfície : mínima 5°C máxima 50°C</p> <p>A temperatura da superfície deverá estar no mínimo 3°C acima da temperatura do ponto de orvalho.</p> <p>Temperatura do verniz : mínima 5°C máxima 35°C</p> <p>Umidade relativa do ar : 10% a 85%.</p>	
<p>EQUIPAMENTOS PARA A APLICAÇÃO</p> <p>Os dados abaixo servem como guia. Podem ser utilizados equipamentos similares. Mudanças nas pressões e nos tamanhos dos bicos podem ser necessárias para melhorar as características da pulverização. Antes da aplicação esteja seguro de que os equipamentos e respectivos componentes estejam limpos e nas melhores condições. Purgue a linha de ar comprimido para evitar contaminação do verniz.</p> <p>Pistola airless : Pressão 1800-2000 psi Mangueira ¼" de diâmetro interno Bico 0,015" a 0,019" Filtro malha 30 Diluição Não necessário.</p> <p>Pistola convencional : Pistola JGA 502/3 Devilbiss Bico de fluido FX Capa de ar 704 Pressão de atomização 50 psi Pressão no tanque 30 psi Diluição Se necessário, diluir com até 10%, em volume</p> <p>Trincha : Usar trincha com 75 a 100 mm de largura para superfícies maiores e com 25 a 38 mm para retoques.</p> <p>Rolo : Usar rolos de lã de carneiro ou de lã sintética.</p> <p>Limpeza dos equipamentos : Utilizar DILUENTE 908.</p>	<p>INSTRUÇÕES PARA A APLICAÇÃO</p> <p>Mistura: Agite o conteúdo de cada um dos componentes, vigorosamente, se possível com agitador mecânico.</p> <p>Adicione o componente B ao componente A, respeitando a relação de mistura. Misture vigorosamente, se possível com agitador mecânico. Apesar da facilidade de mistura, devido à baixa viscosidade, recomendamos o mesmo cuidado tomado na mistura das tintas epóxi.</p> <p>Se usar Diluente, adicione-o somente depois que a mistura dos dois componentes estiver completa.</p> <p>Aplicação : Quando aplicar por pulverização, faça uma sobreposição de 50% de cada passe da pistola, para evitar que fiquem áreas descobertas e desprotegidas, terminando com repasse cruzado.</p> <p>Excessiva diluição do material pode afetar a formação do filme, o aspecto e a aderência.</p> <p>Não aplique o material após o tempo de vida útil da mistura.</p>	
INSTRUÇÕES PARA DESCARTE DAS EMBALAGENS		
<p>Descontamine a embalagem vazia, lavando-a com o mesmo solvente utilizado na limpeza dos equipamentos. Após a descontaminação, envie para reciclagem.</p>		
<p><i>As informações técnicas contidas nesta ficha decorrem de dados compilados para sua ajuda e orientação, e são baseadas em nossa experiência e conhecimento. Tendo em vista, porém que fatores como preparação de superfície e aplicação nem sempre estão sob nosso controle e subordinam-se à obediência rigorosa das especificações estabelecidas, eximimo-nos de qualquer responsabilidade relativa a rendimento, desempenho ou danos de qualquer natureza.</i></p>		

ANEXO 5 BOLETIM TECNICO DE CARACTERIZAÇÃO DA MASSA EPÓXI



Tintas **SUMADUR**®

SUMADUR 1370 MASSA EPÓXI

Comp. A - 199.021/022/023

Comp. B - 199.921/922/923

INFORMAÇÕES SOBRE O PRODUTO		Revisada em 11/2001
<p align="center">DESCRIÇÃO DO PRODUTO</p> <p>SUMADUR 1370 MASSA EPÓXI é uma massa epóxi, bicomponente, sem solventes, curada com poliamida.</p> <p>Aderem sobre qualquer superfície limpa, seca ou úmida, incluindo alumínio, aço galvanizado, concreto, ou sobre superfícies pintadas com primers epóxis. Também pode ser aplicada abaixo da água e cura tão quanto ao ar.</p> <p>Por não ter solventes pode ser aplicada em ambientes internos, sem interrupção do processo de produção.</p> <p>Após a cura, forma uma película extremamente dura, de alta resistência à abrasão e ao impacto, que retarda substancialmente a erosão e a corrosão.</p>	<p align="center">USOS RECOMENDADOS</p> <p>Em superfícies de aço carbono :</p> <ul style="list-style-type: none"> • No preenchimento de frestas entre duas superfícies de aço carbono fixas e sem dilatação ou contração • Na proteção de porcas e parafusos em bases de estruturas ou de outras superfícies fixas • Sobre primer epóxi <p>Em pisos :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Na recomposição de rejuntas de cerâmicas antiácidas 	
CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO		
<p>Acabamento : Semifosco Cor : Creme, verde ou preta</p> <p>Sólidos por peso da mistura : 100%</p> <p>Sólidos por volume da mistura : 100%</p> <p>VOC (Método EPA 24) : 0 g/L</p> <p>Espessura seca recomendada por demão : Pode ser aplicada em espessuras de 125 micrometros até 50 mm, sem problema de cura. Deve ser aplicada em uma única camada</p> <p>Rendimento teórico por galão : 3,6 m² na espessura de 1 mm.</p> <p><i>Importante: Na aplicação de massas é muito grande a variação de espessura. É importante considerar a espessura para cada caso específico no cálculo do rendimento.</i></p> <p>Peso aproximado por galão :</p> <p style="padding-left: 20px;">Componente A 6,540 kg</p> <p style="padding-left: 20px;">Componente B 6,200 kg</p> <p>Vida útil da mistura : 30 minutos a 25°C.</p> <p>A temperatura mais elevada reduz a vida útil da mistura.</p> <p><u>Observação</u> : Deve ser misturada apenas a quantidade de massa que seja possível aplicar no tempo de vida útil.</p> <p>Vida útil em estoque :</p> <p style="padding-left: 20px;">Componente A 12 meses</p> <p style="padding-left: 20px;">Componente B 12 meses</p> <p>Condições de armazenagem : Conservar o material em lata fechada e ao abrigo das intempéries, e de umidade, sob temperaturas que não ultrapassem 40°C.</p>	<p>Proporção de mistura em volume : 1 parte de A para 1 parte de B</p> <p>Diluição : Não é recomendada nenhuma diluição para a sua aplicação.</p> <p>Tempo de cura ao ar ou na água a 25°C :</p> <p>O endurecimento tem início após 2 horas. A dureza total é alcançada em 8 a 8 horas. A cura é mais lenta a baixas temperaturas.</p> <p>A massa não alcançará a cura apropriada em temperaturas inferiores a 10°C.</p> <p>Pintura :</p> <p>SUMADUR 1370 MASSA EPÓXI pode receber pintura de tintas epoxídicas ou poliuretanos. Para isto será necessário lixamento superficial.</p> <p><i>Observação</i> : A massa é dura e de difícil lixamento, principalmente após 24 horas.</p> <p>Resistência ao calor seco :</p> <p>Temperatura máxima de 120°C.</p>	



Tintas **SUMARE**[®]

SUMADUR 1370 MASSA EPÓXI

Comp. A - 199.021/022/023

Comp. B - 199.921/922/923

INFORMAÇÕES SOBRE O PRODUTO		Revisada em 11/2001
PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE	CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO	
PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE A superfície deverá estar íntegra e em condições perfeitas. É necessária a remoção completa de óleos, pós, graxas, sujeiras e materiais estranhos, para assegurar aderência satisfatória. Para remover a oleosidade da superfície use solução de SUMACLEAN WB ou panos limpos embebidos em DILUENTE 905. Aço carbono : Aplicar sobre o primer recomendado no sistema de pintura. Concreto : Aplicar diretamente sobre a superfície.	Temperatura da superfície : mínima 5°C máxima 50°C Temperatura do material : mínima 5°C máxima 35°C Umidade relativa do ar : 10% a 85%.	
INSTRUÇÕES PARA A APLICAÇÃO		
PREPARAÇÃO E MISTURA SUMADUR 1370 MASSA EPÓXI pode ser preparada através de mistura manual. Mantenha as mãos e o material umedecidos durante a mistura. Apanhe uma quantidade de um dos componentes com uma mão. Com a outra mão apanhe uma quantidade igual do outro componente. Misture bem os dois componentes com as mãos, até obter uma cor homogênea em que não seja possível notar a cor de nenhum dos dois componentes em separado. Aplique imediatamente após a mistura.		
INSTRUÇÕES PARA DESCARTE DAS EMBALAGENS Descontamine a embalagem vazia, lavando-a com o mesmo solvente utilizado na limpeza dos equipamentos. Após a descontaminação, envie para reciclagem.		
<i>As informações técnicas contidas nesta ficha decorrem de dados compilados para sua ajuda e orientação, e são baseadas em nossa experiência e conhecimento. Tendo em vista, porém que fatores como preparação de superfície e aplicação nem sempre estão sob nosso controle e subordinam-se à obediência rigorosa das especificações estabelecidas, eximimo-nos de qualquer responsabilidade relativa a rendimento, desempenho ou danos de qualquer natureza.</i>		

FISPQ

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

Data de Revisão: 11/2011

1. Identificação do produto e da Empresa

Nome: ACIDO CLORIDRICO

DINÂMICA QUÍMICA CONTEMPORÂNEA LTDA

Rua Gema nº 314 Bairro: Vila Campanário, CEP 09930 – 290 – Diadema - SP - Brasil

Tel (0xx11) 4091-7300 / E-Mail: dinamica@dinamicaquimica.com.br

2. Composição e informações sobre os Ingredientes

Substância:	ACIDO CLORIDRICO	Fórmula molecular:	H Cl
Nº CAS:	[7647-01-0]	Peso molecular:	36,46
Classificação:	CORROSIVO	Concentração:	Mín. 37%
Sinônimos:	ÁCIDO MURIÁTICO 1		

3. Identificação de perigos

Periculosidade: Irritante a pele e olhos, podendo provocar queimaduras graves, também irritante as vias respiratórias, vapor extremamente irritante.

4. Medidas de primeiros-socorros

Em caso de contato com a pele, lavar com água em abundância e quando em contato com os olhos lavar com soro glicosado ou água em abundância. Em caso de ingestão (de grandes quantidades) procurar um médico, se possível mostrando o rótulo.

5. Medidas de combate a incêndio

Não aplicável. Substância não inflamável.

6. Medidas de controle para derramamento ou vazamento

Em caso de vazamento não permitir que o mesmo escoe para veios d'água. Usar perlita ou material inerte para represar o líquido vertido. Aplicar bicarbonato após a remoção do excesso ou no resíduo derramado para neutralizar.

7. Manuseio e Armazenamento

O manuseio e a armazenagem da substância devem se dar em condições adequadas. É necessário a utilização de luvas de borracha em PVC ou látex e óculos de proteção durante o manuseio.

Local de armazenagem: Ventilado

Temperatura de armazenagem: MENOR QUE 30°C

8. Controle de exposição e proteção individual

A existência de exaustores ou outra forma de renovação do ar ambiente é recomendável. A proteção para as mãos deve ser feita com luvas de borracha em PVC ou látex. A proteção ocular e máscara de respiração de autônoma também são necessárias. Roupas normais em tecidos sintéticos ou algodão podem ser usadas na composição de indumentária, quando do manuseio da substância.

9. Propriedades físico-químicas

A substância química ácido clorídrico é um ácido inorgânico. É solúvel em água, álcool etílico, benzeno líquido fumegante, transparente, ligeiramente amarelado.

HCl PM. 36,46. Ensaio 36,5 38,0% Densidade 1,181 Cor (APHA) 10 Resíduo após ignição Máx. 0,0005% Bromo (Br) Máx. 0,005% Sulfato (SO₄) Máx. 0,0001% Sulfito (SO₃) Máx. 0,0001% Substâncias Orgânicas Máx. 0,0005% Cloro Livre (Cl) Máx. 0,0001% Amônio (NH₄) Máx.0,0003% Arsênico (As) Máx. 0,000001%

Densidade:	1,18	Ponto fulgor:	NA °C	Ponto fusão:	-26°C °C	Ponto ebulição:	108,58 °C	Índice refração:	1,3287 (18 °C)
-------------------	------	----------------------	-------	---------------------	----------	------------------------	-----------	-------------------------	----------------

10. Estabilidade e reatividade

A substância é de estabilidade moderada em condições normais (ambientais), não requerendo maiores cuidados além dos já mencionados nas seções anteriores, com relação a sua ação. É substância reativa e incompatível com álcalis em geral.

Diâmetro nominal (DN) (mm)	Massa nominal (Kg/m)	Ensaio de tração (valores mínimos)				Diâmetro do pino para dobramento a 180° (mm)
		Tolerância Massa Linear (%)	Resistência característica de escoamento (fy) (MPa)	Limite de resistência (MPa)	Alongamento em 10%	
6,3	0,245	± 7	500	1,08 x fy	8%	3 x DN
8,0	0,395					
10,0	0,617	± 6				
12,5	0,963					
16,0	1,578	± 5				6 x DN
20,0	2,466					
25,0	3,853	± 4				
32,0	6,313					
40,0	9,865					

(*) Mediante consulta prévia, poderão ser atendidos com comprimentos especiais.

(**) O vergalhão Gerdau GG 50 em barra é soldável a partir da bitola 8 mm.

(***) O Vergalhão Gerdau GG 50 em rolo é soldável em todas as bitolas sob consulta.

Along min em 10 ø	Diam pino dobra 180° (mm)	Diâmetro nominal (mm)	Lim resist (MPa)	Massa nominal (kg/m)	Resist escoam (MPa)
8 %	4 x Dn	6,3	1,10 Fy	0,245	500
8 %	4 x Dn	8,0	1,10 Fy	0,395	500
8 %	4 x Dn	10,0	1,10 Fy	0,617	500
8 %	4 x Dn	12,5	1,10 Fy	0,963	500
8 %	4 x Dn	16,0	1,10 Fy	1,578	500
8 %	6 x Dn	20,0	1,10 Fy	2,466	500
8 %	6 x Dn	25,0	1,10 Fy	3,853	500
8 %	8 x Dn	32,0	1,10 Fy	6,313	500
8 %	8 x Dn	40,0	1,10 Fy	9,865	500

Especificações técnicas do GG-50

Along min em 10 ø	Diam pino dobra 180° (mm)	Diâmetro nominal (mm)	Lim resist (MPa)	Massa nominal (kg/m)	Resist escoam (MPa)
8 %	4 x Dn	6,3	1,10 Fy	0,245	500
8 %	4 x Dn	8,0	1,10 Fy	0,395	500
8 %	4 x Dn	10,0	1,10 Fy	0,617	500
8 %	4 x Dn	12,5	1,10 Fy	0,963	500
8 %	4 x Dn	16,0	1,10 Fy	1,578	500
8 %	6 x Dn	20,0	1,10 Fy	2,466	500
8 %	6 x Dn	25,0	1,10 Fy	3,853	500
8 %	8 x Dn	32,0	1,10 Fy	6,313	500
8 %	8 x Dn	40,0	1,10 Fy	9,865	500