

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

ARGENTINA

DOCTORADO EN INGENIERÍA

MENCIÓN MATERIALES

FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA

**Recuperación de estructuras de hormigón armado
por remoción sólo de la capa afectada del
recubrimiento de la armadura.**

M.Sc. Eng^o JOSÉ EMIDIO ALEXANDRINO BEZERRA

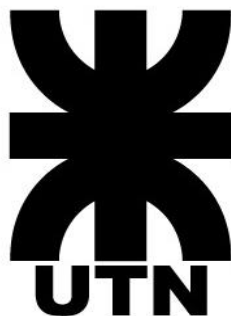
Orientador:

Prof. Dr. ANTÔNIO EDUARDO BEZERRA CABRAL

Co-orientador:

Prof. Esp. Ing. ANGEL OSHIRO

Para optar pelo título de:
Doctor en Ingeniería, mención Materiales
Resoluciones CONEAU 1181 - 11 Carrera 4486, Categoría A



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

ARGENTINA

DOCTORADO EN INGENIERÍA

MENCIÓN MATERIALES

FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA

Tribunal nombrado por la Comisión de Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional, en el día 09 de diciembre de 2022 mediante Resolución N° 1084/2021 del Consejo Superior.

Realizado e lacto de defensa y lectura de tesis en el día 23 de agosto de 2022 en la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional.

Jurado: Dr. Alexandre Bertini

Jurado: Dr^a Graciela Maldonado

Jurado: Dr. Oscar Cabrera

Don Quixote de la Mancha por Miguel de Cervantes

Composición Mitch Leigh y Joe Darion.

Soñar, lo imposible soñar

Vencer al invicto rival

Sufrir el dolor insufrible

Morir por un noble ideal

Saber enmendar el error

Amar con pureza y bondad

Creer en un sueño imposible

Con fe una estrella alcanzar

Ese es mi afán, y lo he de lograr

No importa el esfuerzo, no importa el lugar

Saldré a combatir y mi lena será

'Defender la virtud, aunque deba el infierno pisar'

Porque sé que si logro ser fiel

A tan noble ideal

Dormiré mi alma en paz al llegar

El instante final

Luchar por un mundo mejor

Perseguir lo mejor que hay en ti

Llegar donde nadie ha llegado

Y soñar

Lo imposible soñar

DEDICACIÓN

A mi padre, Alcides (en menoriano), mi madre Valdenice (en menoriano), mis hermanos Maria Zélia, Aquiles, Cleide, Francisco Alcides, Glauce (*in menorian*), Paulo Roberto y Sergio Luis.

A mi esposa Nivania

A mis hijos Alex, Michele, Gisele, Sabrina, Eny, Nice y Alisson

A mis nietos Gisela, Enrico, Guilherme, Sofia e Ingrid

Para mis amigos.

A mis maestros.

AGRADECIMIENTOS

ADIÓS,

Unifor como su lema "enseñar y aprender" por su excelente ambiente de trabajo, apoyo, laboratorios, equipos y para amigos, colegas y estudiantes,

A Raúl del Laboratorio de Materiales de Construcción Unifor y Wellington del Laboratorio de Química Tecnológica, sin los cuales hubiera sido imposible realizar los ensayos,

A la Universidad Federal de Ceará, por los mismos motivos, y a Manoel del Laboratorio Profesor Afrodízio Pamplona,

A mis compañeros de doctorado, Tiago, Georgia y Calina,

A mis profesores Carlos Giudice, Guadalupe Canosa, Maria Josefina Posetiere, Vilma Rosato, Vicente Dressino, Alexandre Bertini y Mônica Tassigny, y a los profesores de PROFORVIN Darío Caresani, Susana Marchisio, Lúcia Catalán y Paula Del Río. A mi profesor de español, Marcos Isidro.

A mis Directores Prof. Dr. Antônio Eduardo Cabral de UFC y el Prof. inglés Ángel Oshiro (*In memoriam!*) por las enseñanzas, análisis, correcciones, guía y atención,

A la Universidad Tecnológica Nacional por haberme dado la extraordinaria oportunidad de contar con la guía de sus profesores y disfrutar de sus instalaciones.

Muchas gracias a la Nación Argentina por su generosidad y por el cariño como siempre me ha tratado su gente.

RESUMEN

En general, se recomienda que cuando se recuperen estructuras de hormigón armado con corrosión del refuerzo, se elimine todo el hormigón carbonatado o contaminado con cloruros que esté en contacto con la barra de acero oxidada. Esta tesis defiende la necesidad de una evaluación preliminar de la probabilidad de colapso de la estructura por remoción excesiva en la sección resistente. Enfatiza la importancia de cumplir con las normas relevantes para el diseño, dimensionamiento y verificación de la resistencia de las estructuras como una cuestión prioritaria. Destaca las dificultades técnicas y económicas de apuntalar la estructura de un edificio ocupado. Diferencia la recuperación de losas, vigas y pilares en vista de la diferenciación de las zonas de tracción y compresión resultante de la acción de los esfuerzos en cada uno de estos elementos estructurales. Señala la conveniencia de utilizar inhibidores de corrosión anódicos o catódicos para interrumpir o ralentizar el proceso corrosivo para prolongar la vida útil de la estructura.

Inicialmente, se presenta el mecanismo de corrosión en el refuerzo, los métodos y estándares técnicos para las reparaciones estructurales y luego se establecen las propiedades físicas de los materiales que se utilizaron a través de investigaciones de laboratorio, incluyendo la resistencia a la difusión de cloruros.

Se demostró que la remoción excesiva de concreto en elementos estructurales puede generar altos riesgos, por encima de los valores permitidos por las normas brasileñas de diseño de concreto NBR 6118: 14. De ahí, se enfatiza la importancia de se mantener el equilibrio de fuerzas para la preservación de la estructura.

Para analizar las diferencias entre las dos formas de remoción de concreto, parcial y total, se investigó la corrosión en el refuerzo por inducción de cloruros en probetas de concreto, mortero polimérico y graute, con dos barras de acero CA 60, 5 mm de diámetro en estado natural sin pintura protectora, con pintura protectora a base de zinc y a base de nitrito. Fueron sometidos a ciclos de secado y humectación en horno por 5 días y en una solución de NaCl al 3,5% por 2 días. Fueron medidos los potenciales de corrosión con dispositivo equipado con voltímetro y semicelda de Cu / CuSO₄. Así, se encontró que la corrosión se mitiga con el uso de estos inhibidores y que la recuperación

parcial puede ser adoptada para prolongar la vida útil de una estructura con menores riesgos y costos y, que la combinación de inhibidores a base de nitritos con recubrimiento del refuerzo con graute es la más duradera.

Concluye sugiriendo que se adopte un nuevo paradigma para guiar el trabajo de restauración de estructuras de hormigón armado donde el mantenimiento de la seguridad estructural sea más importante que la eliminación total de contaminantes en el hormigón. Concluye también, que los inhibidores de corrosión pueden controlar la acción de los agentes agresivos residuales en las reparaciones parciales, permitiendo extender la vida útil de la estructura por un tiempo razonable con menores costos y riesgos.

RESUMO

Em geral, é recomendado que na recuperação de estruturas de concreto armado com corrosão da armadura, todo concreto carbonatado ou contaminado por cloretos em contato com a barra de aço enferrujada seja removido. Esta tese defende a necessidade de uma avaliação preliminar da probabilidade de colapso da estrutura por remoção excessiva na seção resistente. Ressalta a importância do cumprimento prioritário das normas pertinentes ao projeto, dimensionamento e verificação de resistência das estruturas. Destaca as dificuldades técnicas e econômicas de escorar a estrutura de um edifício ocupado. Diferencia a recuperação de lajes, vigas e pilares tendo em vista a diferenciação das zonas de tração e compressão resultantes da ação dos esforços em cada um desses elementos estruturais. Indica a conveniência do uso de inibidores de corrosão anódicos ou catódicos para interromper ou retardar o processo corrosivo para prolongar a vida útil da estrutura.

Inicialmente, são apresentados o mecanismo de corrosão em armaduras, os métodos e normas técnicas para reparos estruturais, e em seguida são estabelecidas as propriedades físicas dos materiais utilizados através de investigações laboratoriais, incluindo resistência à difusão de cloretos.

Demonstra que a remoção excessiva de concreto em elementos estruturais pode gerar riscos elevados, acima dos valores permitidos pelas normas brasileiras de projeto de

concreto, NBR 6118:14. Daí a importância da manutenção do equilíbrio de forças para preservação da estrutura.

Para analisar as diferenças entre as duas formas de remoção do concreto, parcial e total, a corrosão na armadura por indução de cloreto foi investigada em corpos de prova de concreto, argamassa polimérica e graute, com duas barras de aço CA 60, 5 mm de diâmetro em seu estado natural sem pintura protetora, com pintura protetora à base de zinco e nitrito. Foram submetidos à ciclos de secagem e umedecimento em forno por 5 dias e em solução de NaCl 3,5% por 2 dias. Os potenciais de corrosão foram medidos com um dispositivo equipado com um voltímetro e uma meia-célula Cu/CuSO₄. Assim, verificou-se que a corrosão é mitigada com o uso desses inibidores e que a recuperação parcial pode ser adotada para prolongar a vida útil de uma estrutura com menores riscos e custos, e que a combinação de inibidores à base de nitrito e o recobrimento da armadura com graute é a mais durável.

Conclui sugerindo que um novo paradigma seja adotado para orientar os trabalhos de recuperação de estruturas de concreto armado, onde a manutenção da segurança estrutural seja mais importante do que a remoção completa dos contaminantes do concreto. Conclui também que os inibidores de corrosão podem controlar a ação de agentes agressivos residuais em reparos parciais, permitindo que a vida útil da estrutura seja estendida por um tempo razoável com menores custos e riscos.

ABSTRACT

In general, it is recommended that in the recovery of reinforced concrete structures with corrosion of the reinforcement, all carbonated or chloride contaminated concrete in contact with the rusty steel bar is removed. This thesis defends the need for a preliminary assessment of the probability of structure collapse due to excessive removal in the resistant section. It emphasizes the importance of priority compliance with the rules relevant to the design, dimensioning and verification of resistance of structures. It highlights the technical and economic difficulties of shoring up the structure of an occupied building. It differentiates the recovery of slabs, beams and pillars in view of the differentiation of traction and compression zones resulting from the action of efforts in

each of these structural elements. Indicates the desirability of using anodic or cathodic corrosion inhibitors to stop or slow down the corrosive process to prolong the life of the structure.

Initially, the corrosion mechanism in reinforcements, the methods and technical standards for structural repairs presented, and then the physical properties of the materials used established through laboratory investigations, including resistance to chloride diffusion.

It demonstrates that the excessive removal of concrete in structural elements can generate high risks, above the values allowed by the Brazilian norms of concrete design, NBR 6118:14. Hence the importance of maintaining the balance of forces to preserve the structure.

To analyze the differences between the two forms of concrete removal, partial and total, the corrosion in the reinforcement by chloride induction investigated in specimens of concrete, polymeric mortar and grout, with two steel bars CA 60, 5 mm of diameter in its natural state without protective paint, with protective paint based on zinc and nitrite. They submitted to cycles of drying and moistening in an oven for 5 days and in a 3.5% NaCl solution for 2 days. Corrosion potentials measured with a device equipped with a voltmeter and a Cu/CuSO₄ half-cell. Thus, it was verified that corrosion is mitigated with the use of these inhibitors and that partial recovery can be adopted to prolong the useful life of a structure with lower risks and costs, and that the combination of nitrite-based inhibitors and coating of Grouted reinforcement is the most durable.

It concludes by suggesting that a new paradigm to be adopted to guide the restoration work of reinforced concrete structures, where the maintenance of structural safety is more important than the complete removal of contaminants from the concrete. It also concludes that corrosion inhibitors can control the action of residual aggressive agents in partial repairs, allowing the life of the structure extended for a reasonable time with lower costs and risks.

LISTA DE FIGURAS E FOTOS

Número	Titulo	pg
1.2.1	Conceito de vida útil das estruturas	20
1.2.2	Desempenho de uma estrutura com o tiempo	22
2.4.1	Diagrama de Pourbaix para o Ferro a 25º C	43
2.5.1	Variação da profundidade da carbonatação	44
2.7.1	Pilha de corrosão na armadura do concreto	53
2.7.2	Corrosão na armadura do concreto por macro pilha	54
2.7.3	Corrosão na armadura do concreto	56
2.7.4	Esquema do processo de corrosão eletroquímica	57
3.1.1	Relação da norma EM NP 1504 – 1 com outras normas externas.	65
3.1.2	Corrosão em pilares	73
3.1.3	Opções de corte de concreto em reparações estruturais	75
3.1.4	Ataque da posição frontal em relação com a armadura. Adaptado de Bertolini	76
4.2.1	Laje demolida depois do incêndio	86
4.2.2	Depósito de agua elevado	87
4.2.3	Abertura em laje por golpe de aríete.	87
4.3.1	Regiões de vigas onde se pode cortar temporariamente o concreto	88
4.3.2	Remoção de concreto em viga para passar tubos	89
4.3.3	Viga de varanda de uma casa de praia, com tubos de pvc	89
4.4.1	Pilar de seção reangular	90
4.4.2	pilar de seção circular	90
4.4.3	Opções para renovar concreto contaminado de pilares	91
4.4.4	Quatro situações para uma coluna sob a mesma carga	93
4.4.5	Pilar no pavimento térreo de um edificio	93
4.4.6	Edificio em Questão	93
5.1.1	Diagrama de fluxo de fluxo da metodologia da pesquisa da Tese.	97
5.1.2	Investigação para caracterizar as propriedades dos materiais	98
5.1.3	Avaliação dos reparos totais.	98
5.1.4	Avaliação dos reparos parciais	99

5.1.5	Desenhos dos corpos de prova prismáticos com barras de aço, reparos e pintura	99
5.2.3.1	Areia (Frações passantes nas peneiras)	104
5.2.3.2	Corpos de prova. Detalhes do ensaios de imersão	109
5.2.3.3	Corpos de prova. Detalhes do ensaios de imersão	109
5.2.3.4	Ensaio de absorção por imersão	110
5.2.3.5	Ensaio de absorção por imersão	110
5.2.3.6	Rompimento de corpos de prova de concreto	110
5.2.3.7	Rompimento de corpos de prova de concreto	110
5.2.3.8	Ensaio de resistividade	111
5.2.3.9	Ensaio de difusão de cloretos na UFC	116
5.3.1	Corpos de prova para reparo total	121
5.3.2	Corpos de prova para reparo parcial	121
5.3.2.1	Limpeza e passagem de barras de aço	122
5.3.2.2	Formas para corpos de prova prismáticas	123
5.3.2.3	Corpos de prova moldadas com concreto, argamassa e graute.	123
5.3.2.4	Medição do potencial de corrosão com Canin+	125
5.3.2.5	Sequência de ensaios de corrosão induzida por cloretos	126
5.3.2.6	Pesagem de barras de aço para avaliar a perda de massa.	127
5.3.2.7	Pintura de barras com inibidor	127
6.2.2.1	Sistemas de reparação	135
6.4.1	Barras de aço aderidas aos reparos	142
6.4.2	Barras de aço sem proteção e com nitrito	142
6.4.3	Barras de aço após ensaios de corrosão	143

LISTA DE GRÁFICOS

Número	Título	
5.2.3.1	Gráfico da curva granulométrica da areia	105
5.2.3.2	Gráfico da curva granulométrica da brita	107
6.1.1	Gráfico da monitoração dos potenciais de corrosão por Cascudo	129

6.2.1.1	Gráfico da corrosão induzida em argamassa polimérica, graute e concreto armado até o 12º ciclo. Reparo total (RT)	131
6.2.1.2	Gráfico da corrosão induzida no concreto armado até o 12º ciclo (RT)	132
6.2.1.3	Gráfico da corrosão induzida na argamassa polimérica até o 12º ciclo (RT)	133
6.2.1.4	Gráfico da corrosão induzida no graute até o 12º ciclo (RT)	134
6.2.2.1	Gráfico de corrosão induzida em concreto reparado com argamassa polimérica até 12º ciclo. Reparo parcial (RP)	136
6.2.2.2	Gráfico de corrosão induzida em concreto reparado com graute até 12º ciclo. (RP).	138
6.3.1	Relação de tempos até o início da corrosão no aço	140
6.4.1	Gráfico da porcentagem de perda de massa em barras de ferro	144

LISTA DE TABELAS

Número	Título	pg
2.3.1	Classe de agresividade ambiental NBR 6118:14	33
2.3.2	Correspondencia entre as classes de agressividade ambiental e a cobertura nominal para $D_c = 10$ mm	34
2.3.3	Correspondencia entre a agresividade ambiental e a qualidade do concreto.	35
2.3.4	Classes de exposição gerais que produzem corrosão de armadura	36
2.3.5	Requisitos de resistência e durabilidade segundo a norma CIRSOC 201 – 2005.	38
2.3.6	Classificação de concreto com base no coeficiente de difusão de cloreto	39
2.3.7	Classificação de concreto com base no coeficiente de carbonatação	40
2.3.8	Classificação do concreto de cobertura	40
2.3.9	Especificação do ICR – Índice de Qualificação do Recobrimento	41
3.1.1	Matriz de GUT adaptada de Kepner e Tregoe	70
5.2.1	Quadro com materiais utilizados na Pesquisa.	100
5.2.1.1	Dados técnicos do MasterEnaco S 170 BASF, 2017.	101
5.2.2.1	Dados técnicos do Super Graute Quartozolit.	102
5.2.3.1	Propriedades físicas do agregado fino	105
5.2.3.2	Propriedades físicas do agregado graúdo (brita zero)	106
5.2.3.3	Composição do cimento usado na pesquisa	109
5.2.3.4	Resistividade x Risco de corrosão.	111
5.2.3.5	Velocidade de pulso ultrassônico e a qualidade do concreto, BS EN 1254-4/04.	112
5.2.3.6	Resumo das características dos materiais usados.	113
5.2.3.7	Coeficientes de difusão e tempo de penetração de cloretos	117
5.2.3.8	Dados técnicos do aço CA 60	118
5.3.1	Potencial x Probabilidade de corrosão	120
5.3.1.1.	Reparo total - materiais	121
5.3.2.1.	Reparo parcial - materiais	122
5.3.2.2	Magnitudes típicas de potenciais de corrosão em concreto	125
6.3.1	Tempo para o potencial de corrosão atingir o limite de -350 mV	139
6.4.1	Avaliação da perda de massa em barras de ferro	143

SIMBOLOGIA E DENOMINAÇÕES

Química do cimento

CaO - Óxido de cálcio

SiO₂ - Óxido de silício

Fe₂O₃ - Óxido de ferro

CaSO₄ - Sulfato de Cálcio

Ca(OH)₂ - Hidróxido de cálcio

CO₂ - Dióxido de carbono

Centros de investigação

CICTERRA - Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. UNC – CONICET.

CINTEMAC - Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad.
UTN.

CIRSOC - Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las

CITeQ - Centro de Investigación y Tecnología Química. UTN – CONICET

FRC - Facultad Regional Córdoba

UFC - Universidade Federal do Ceará / Brasil

UNIFOR - Universidade de Fortaleza /Brasil

UTN - Universidad Tecnológica Nacional.

Normalização

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ALCONPAT – Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y
Recuperación de la Construcción.

ASTM – American Society for Testing and Materials

CBPAT – Congresso Brasileiro de Patologias da Construção

CINPAR – Congresso Internacional de Patologias e Recuperação das Construções

IRAM – Instituto Argentino de Normalización y Certificación

NBR – Norma Brasileira.

ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA.....	
AGRADECIMENTOS.....	
RESUMEN.....	
RESUMO.....	
ABSTRACT.....	
ÍNDICE TEMÁTICO	
LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE TABELAS.....	
SIMBOLOGIA E DENOMINAÇÕES.....	

ÍNDICE TEMÁTICO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	18
1.1. Introdução.....	18
1.2. Vida útil e durabilidade.....	Erro! Indicador não definido.
1.3. Justificativa	24
1.4. Objetivo geral.....	26
1.5. Objetivos específicos	26
1.6. A originalidade do tema.....	26
1.7. Limitações do trabalho	27
1.8. Estrutura do trabalho	27
2. A CORROSÃO NO AÇO NO CONCRETO ARMADO	29
2.1. Introdução.....	29
2.2. A influência do meio ambiente.....	32
2.3. Proteção física do aço	33
2.4. Proteção química do aço	41
2.5. Carbonatação do concreto	43
2.6. Ação dos cloretos no concreto	46
2.7. Corrosão no concreto armado.....	51
2.8. Inibidores de corrosão	59
2.9. Considerações.....	63

3.	RECUPERAÇÃO HABITUAL E NORMATIZADA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	64
3.1.	Introdução.....	64
3.2.	Metodologia básica de recuperação estrutural	77
4.	CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDUÇÃO DA SEÇÃO RESISTENTE EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO	80
4.1.	Introdução.....	80
4.2.	Corte de concreto em lajes.....	85
4.3.	Corte de concreto em vigas	87
4.4.	Corte de concreto em pilares	90
5.	MATERIAIS E MÉTODOS DA PESQUISA.....	96
5.1	Introdução.....	96
5.2.	Materiais	100
5.2.1	Argamassa polimérica	100
5.2.2.	Graute à base de cimento	102
5.2.3.	Concreto.....	103
5.2.4.	Aço CA 60	117
5.2.5.	Inibidor de corrosão catódico à base de zinco.	118
5.2.6.	Inibidor anódico	119
5.3	Corrosão na armadura do concreto acelerada por indução de cloretos. 119	
Reparo total.....	Erro! Indicador não definido.	
Reparo parcial		122
5.3.1.	Preparação de corpo de prova prismáticos.....	122
Ensaio acelerado de corrosão induzida por cloretos.....		124
Medição da corrosão induzida		124
6.	RESULTADOS DE TESTES DE CORROSÃO INDUZIDA POR CLORETO EM REPAROS ESTRUTURAIS.	128
6.1.	Introdução.....	128
6.2.	Resultados dos potenciais de corrosão da pesquisa	129
6.2.1.	Resultados em Reparos Totais com concreto, argamassa polimérica e graute. O aço sem proteção.	130
6.2.2.	Resultados em Reparos Totais em concreto armado, estando o aço sem proteção, com inibidor à base de nitrito e com inibidor à base de zinco.....	132

6.2.2.2. Resultados em Reparos Totais com argamassa polimérica, com aço não protegido, com inibidor à base de nitrito e com inibidor à base de zinco.	132
6.2.2.3. Resultados em Reparos Totais com graute e o aço sem proteção, com inibidor à base de nitrito e inibidor à base de zinco.	133
6.2.3. Resultado em Reparos Parciais.....	135
6.2.3.1. Resultados em Reparo Parcial em concreto armado com argamassa polimérica e aço não protegido e protegido com inibidor à base de nitrito ou zinco.	136
6.2.3.2. Resultados de Reparos Parciais em concreto armado com graute e aço sem proteção e protegido com inibidor à base de nitrito ou zinco.	137
6.2.4. Resumo de tempos para corroer e apresentação de ganhos e perdas em reparos totais e parciais.....	139
6.3. A perda de massa em barras de aço devido ao ataque de cloretos.....	141
7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	145
7.1. Introducción.....	145
7.2. Conclusiones de la investigación	146
7.3. Consideraciones finales	146
7.4. Futuras lineas de investigación	149
8. REFERENCIAS	150

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Introdução

As primeiras cidades podem ter surgido há seis mil anos na África e na Ásia às margens dos grandes rios Tigre, Eufrates, Nilo e Indo e desde então a humanidade vem migrando do campo para as aglomerações urbanas, já que o homem é uma espécie gregária.

Esse processo de urbanização se acelerou desde a Primeira Revolução Industrial. No século XVII, segundo vários autores, apenas 3% da população vivia em cidades, no século XIX durante a Segunda Revolução Industrial já eram 15% e hoje, mais de 50% vivem em comunidades urbanas.

Para abrigar tanta gente, as cidades tiveram uma forte verticalização até o início do século XX e continuam a fazê-lo até hoje. Por esta razão, o número de edifícios residenciais e comerciais é grande e tende a aumentar em quantidade e altura. A maioria destes edifícios tem a sua estrutura em concreto armado.

O concreto começou a ser utilizado como material de construção no início do século XX, contribuindo muito para a crescente verticalização das cidades, e desde então a estrutura de concreto armado tornou-se a principal opção para a construção de edifícios e obras de arte, como viadutos e pontes.

Para a construção destas edificações, o concreto armado e o concreto protendido são os materiais mais utilizados devido às suas múltiplas qualidades, como resistência mecânica e ao fogo, boa relação custo/benefício, facilidade de fabricação e durabilidade razoáveis e uma aparência cada vez mais valorizada.

Nesse sentido, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, na supracitada NBR 5674 (ABNT, 2012) esclarece que as edificações, além de serem o suporte físico para o desempenho direto ou indireto de todas as atividades produtivas, também possuem valor. No entanto, as edificações possuem uma característica muito importante: são construídas para atender seus usuários por muitos anos, e durante esse período de serviço devem ter condições adequadas para seu uso e devem resistir aos agentes ambientais e ao uso.

Até os anos setenta do século passado acreditava-se que o concreto armado era eterno e imutável e muitas estruturas eram feitas de concreto aparente, por grandes arquitetos como Frank Lloyd Wright, Le Corbusier, Oscar Niemeyer. Para ISAÍÁ (2005, p. 13) a importância do concreto é tal que "Na sociedade atual não é possível imaginar nenhuma atividade humana em que o concreto não esteja presente".

Mas, a partir da década de 1980, começaram a surgir problemas relacionados à fissuração do concreto e à corrosão das armaduras.

Desde então, inúmeros estudos foram realizados e continuam a ser realizados para compreender, prevenir e reparar o concreto armado, garantir a durabilidade e prolongar a vida útil das estruturas.

No entanto, o concreto armado não está imune a falhas de projeto e de execução e sofrem desgastes por ação de agentes internos e externos e, dentre as mais variadas manifestações patológicas que podem ocorrer, destaca-se a corrosão das armaduras, cujas principais causas são a carbonatação do concreto em geral e o ataque ao aço de reforço por cloreto quando os edifícios estão localizados em locais com atmosferas agressivas.

É natural que, com o passar do tempo, apareçam manifestações patológicas que, de acordo com a norma NBR 5674 (ABNT, 2012), impõe custos anuais de manutenção predial que variam entre 1% e 2% do custo inicial, podendo atingir valores significativos durante a vida útil programada. Mas, como destaca ANDRADE (2005), principalmente a partir de meados do século XX, notou-se um grande aumento do desgaste das estruturas de concreto armado, resultando em enormes custos de reparo.

1.2. Vida útil e durabilidade

A durabilidade pode ser entendida como a capacidade de uma estrutura ou de seus componentes atender, com manutenção planejada, os requisitos de desempenho do projeto por um determinado período de tempo sob a influência de ações ambientais, ou como resultado do processo natural de envelhecimento. (Instituto Americano do Concreto. ACI 201.2R, 2008).

Certamente, a durabilidade está relacionada à interação entre a estrutura de concreto, o meio ambiente e as condições de uso e manutenção. Não é considerada uma propriedade específica da estrutura, da armadura ou do concreto, ou seja, uma mesma estrutura pode ter comportamentos diferentes ao longo do tempo. (Medeiros; Andrade e Helene 2011).

Pode-se dizer que a vida útil deve ser sempre analisada sob um ponto de vista amplo que envolve projeto, execução, materiais, uso, operação e manutenção sob uma abordagem de desempenho, qualidade e sustentabilidade. (Medeiros et al, 2011).

A vida útil de uma estrutura de concreto armado já foi definida como o tempo contado desde sua conclusão até a despassivação da armadura, ou até o aparecimento de manchas ou fissuras no revestimento e, por fim, até o colapso. Saliente-se que, existe a vida útil do projeto, a vida útil e a vida final ou total. (Figura 1.2.1).

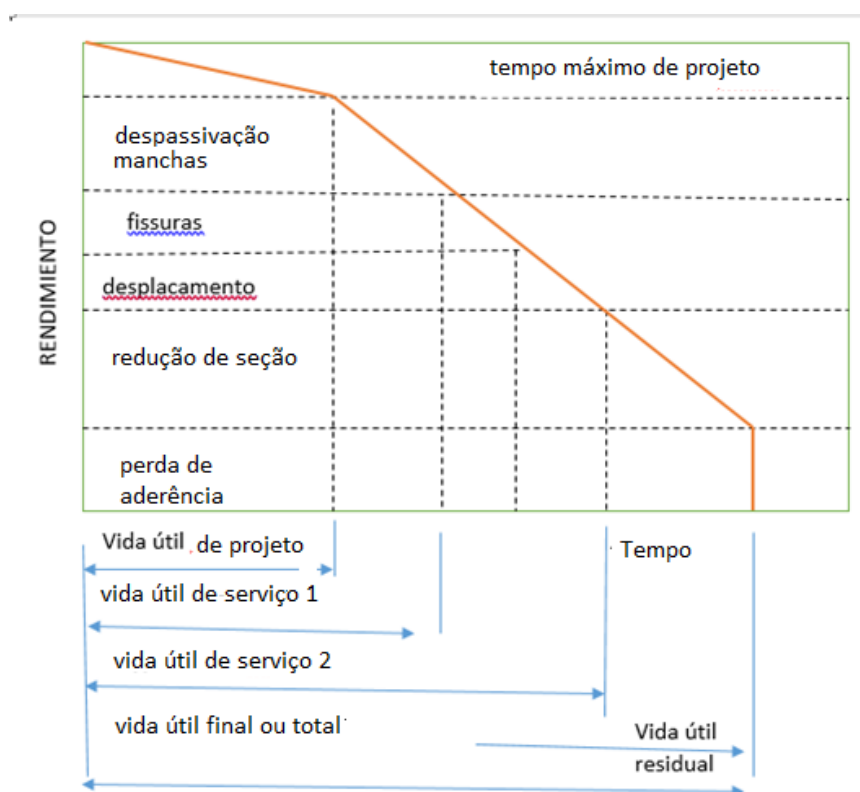


Figura 1.2.1. Conceito de vida útil de estruturas de concreto tomando como referência o fenômeno da corrosão das armaduras. (Helene, 2014)

Helene (2014, p. 10) explica isto:

Nesta modelagem (Figura 1.2,1) também foi introduzido o conceito de vida útil residual, que corresponde ao período de tempo em que a estrutura ainda poderá desempenhar suas funções, contado neste caso a partir da data, qualquer que seja, de uma vistoria. Esta inspeção e o diagnóstico correspondente podem ser realizados em qualquer momento da vida usando a estrutura. O prazo, neste caso, pode ser o limite do projeto, o limite das condições de serviço ou o limite de ruptura, dando origem a três vidas úteis residuais; uma mais curta contava para a despassivação da armadura, outra até o aparecimento de manchas, fissuras ou desprendimento do concreto e outra longa contava até a perda de resistência do componente estrutural ou seu eventual colapso.

A NBR 6118, (ABNT, 2014), define a vida útil, como o período de tempo em que as características das estruturas de concreto são mantidas. Para que isso ocorra, devem ser atendidos os requisitos de uso e manutenção recomendados, bem como a realização de reparos decorrentes de danos acidentais. Dessa forma, a vida útil pode ser vista como uma característica temporária, que consiste em calcular a duração estimada de uma determinada estrutura. A norma em sua seção 6.2.2, determina que a vida útil do projeto deve ser de no mínimo 50 anos, desde que atendidos os requisitos de durabilidade da seção 6.1.

A durabilidade do concreto é um dos temas de estudo e pesquisa que mais tem preocupado muitos pesquisadores e instituições, sendo que a maioria dos códigos normativos tem alguma ordem nesse sentido, como o Euro Código 2 -ENV 206 e o CEB/88 - Código Modelo FIP 90; nos Estados Unidos da América, o ACI Committee 201, no Japão, JSCE 27, no BRASIL a ABNT e na Argentina o CIRSOC 201.

A vida útil da estrutura também é definida com base no projeto desde que bem construída, utilizada de forma adequada e mantida de forma preventiva e correta. Nestas condições, pode funcionar satisfatoriamente por um período mais longo do que o previsto, mesmo que as recuperações o exijam.

Souza e Ripper (1998) afirmam que "O fato de uma estrutura em um determinado momento não apresentar desempenho satisfatório não significa que esteja necessariamente condenada" e apresentam a Figura 1.2.2 com o gráfico que

representa o desempenho ao longo do tempo, considerando as recuperações estruturais feitas:

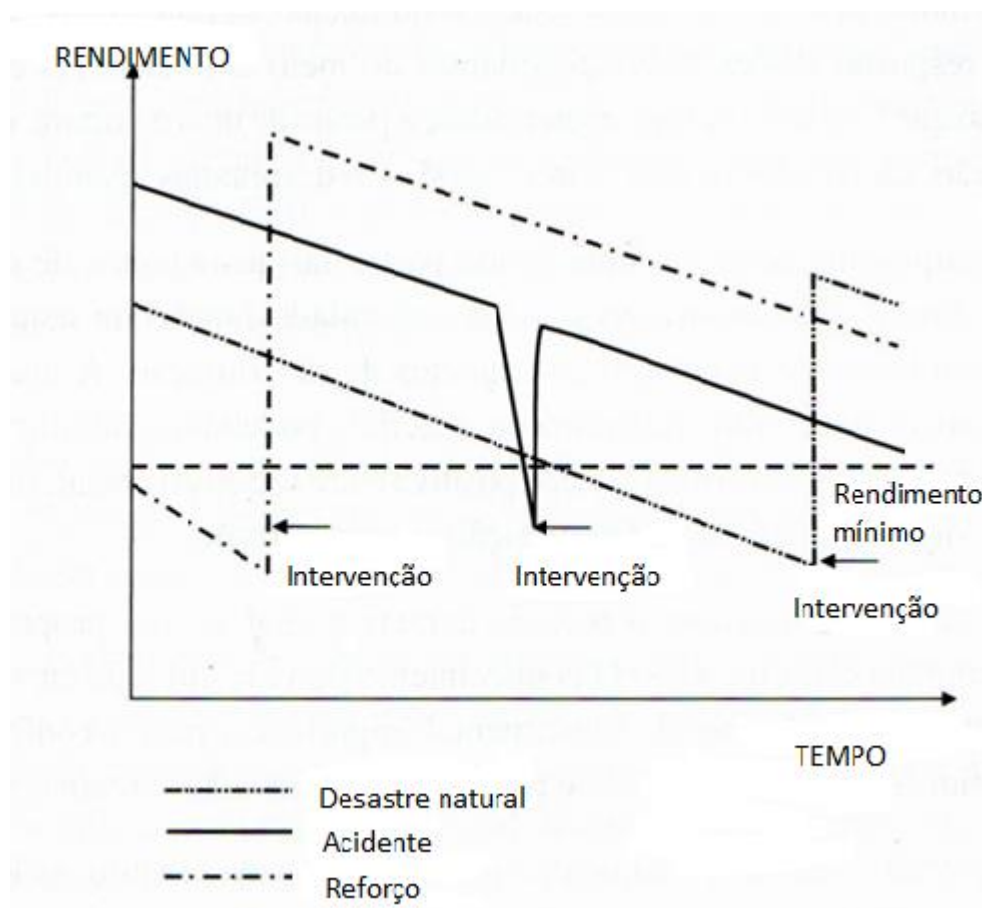


Figura 1:2.2: Desempenho de uma estrutura com o tempo (Souza y Ripper, 1998)

Este conceito de vida útil, de que a estrutura pode funcionar satisfatoriamente desde que sejam feitas correções quando ocorrerem danos, é mais consistente com o senso comum.

Para Helene (1993), uma das pioneiras no estudo da determinação da durabilidade do concreto, o conhecimento dos mecanismos de transporte de fluidos, gases, massas e íons nos poros do material é considerado essencial para associar o tempo à matemática e a modelos que permitem o cálculo da vida útil de estruturas de concreto armado. Levando em conta que a vida útil pode ser definida como o período de tempo em que a estrutura cumpre sua função sem maiores custos de manutenção.

Nesse sentido, por iniciativa de Helene e Selmo (1993), foi criado o projeto intitulado: Pesquisa para Padronização de Materiais e Sistemas de Reparo de Estruturas de Concreto com Corrosão de Armaduras.

Desde essa data, muito progresso foi feito no estabelecimento de métodos, procedimentos e especificações de materiais.

Portanto, a demanda por métodos adequados de recuperação e reforço estrutural deve ser crescente e, embora muito se tenha avançado no entendimento dos complexos mecanismos que envolvem a formação do concreto endurecido, ainda há muito a aprender na melhoria desses processos de recuperação.

Um ponto importante a ser considerado nos serviços de recuperação de estruturas de concreto armado, principalmente em edificações residenciais, é o corte ou renovação do concreto em contato com barras de aço em processo de corrosão devido aos riscos estruturais que podem surgir devido ao enfraquecimento, mesmo que seja momentâneo.

Esta tese destaca a importância de analisar a segurança estrutural antes da redução de seções resistentes de lajes, vigas e pilares, dada a necessidade de renovação do concreto carbonatado ou contaminado com cloretos para interromper o processo corrosivo eletroquímico.

É verdade que reparos são necessários e prolongam a vida útil da estrutura, uns mais, outros menos, dependendo da preparação, sistemas e materiais escolhidos. Porém, na prática, a relação custo/benefício de cada procedimento importa muito.

Assim, permitir uma reparação estrutural, ainda que imperfeita do ponto de vista científico e acadêmico, que possa prolongar a vida de uma estrutura por mais vinte anos é certamente um interessante objeto de estudo, análise e avaliação.

1.3. Justificativa

Estruturas de concreto armado e protendido estão presentes na maioria dos edifícios residenciais e comerciais das principais cidades do Brasil e a maioria deles está localizada na extensa costa brasileira, por isso estão sujeitas à presença de cloretos e dióxido de carbono, em áreas urbanas e marinhas. Esses agentes são conhecidos por formar o par mais importante para a formação de corrosão nas armaduras de concreto.

Segundo Cabral (2000, p. 3) “A corrosão das armaduras de estruturas de concreto causa extremo desconforto em toda a comunidade técnica e científica mundial, pois o número de obras civis e públicas deterioradas pela corrosão é alarmante, tornando-se um problema que engloba aspectos econômicos, técnicos, sociais e legais”.

González et al (1998), Rosenberg et al (1989), Mehta & Monteiro (1994), Dal Molin (1992), Aranha (1994), Carmona & Mariéga (1988) e Helene (1993) são alguns dos autores que citam a corrosão das armaduras como uma das principais e mais frequentes manifestações patológicas das estruturas de concreto armado.

É verdade que os gastos com reparos estruturais, em todo o mundo, são muito altos e é importante encontrar formas seguras e, ao mesmo tempo, mais baratas de recuperar estruturas de concreto armado danificadas por carbonatação e agressão de cloretos em edifícios residenciais e comerciais, uma vez que afetam o habitat, alteram o cotidiano das pessoas e têm alto custo.

Além do valor econômico, a recuperação de uma estrutura afetada pela corrosão das armaduras apresenta riscos de colapso para o imóvel, pois é necessário renovar o concreto contaminado e renovar os óxidos metálicos que surgem ao redor das barras de aço que resistem às tensões de tração que atuam na estrutura devido a cargas normais, permanentes e acidentais.

Deve-se ter muito cuidado no tratamento do concreto afetado pela carbonatação ou contaminado por íons para que as pressões das forças atuantes não ultrapassem a capacidade de suporte do elemento estrutural.

As causas e agentes que afetam as estruturas de concreto e o mecanismo das reações eletroquímicas envolvidas são bem conhecidos, porém, o risco inerente durante a execução do tratamento para prolongar a vida útil das estruturas parece ter um papel secundário. Ele busca fazer um reparo perfeito e eterno a um sistema global que está em processo de envelhecimento. Ao remover o concreto contaminado ao redor de uma barra de aço parcialmente enferrujada, não se pode esquecer que o restante da estrutura, mesmo sem manifestações patológicas, tem a mesma idade da região afetada e está sujeita aos mesmos agentes agressivos e, portanto, pode apresentar novas manifestações patológicas.

Devido à renovação excessiva do concreto, ocorreram alguns acidentes graves, como o desastre do Edifício Andrea, na cidade de Fortaleza, em 2019, ocorrido durante os serviços de recuperação de uma estrutura já muito fragilizada pela corrosão.

Nessas condições, o prédio deveria ter sido desocupado e a estrutura totalmente apoiada, porém, esquecem que o custo dessas medidas é muito alto e implica mudanças extremas na vida dos usuários.

Do exposto, é razoável considerar relevante estudar e avaliar a eficiência e eficácia dos métodos e materiais utilizados na recuperação de estruturas de edifícios em concreto armado.

Pode-se esquecer também a formação de técnicos e engenheiros quanto à necessidade não só de realizar um reparo de qualidade, mas principalmente de garantir a integridade da estrutura.

As estruturas das edificações não são eternas, assim como os seres vivos, elas precisam de manutenção, seja corretiva, preventiva ou preditiva, para alcançar a maior vida útil.

É possível atingir este objetivo com a utilização de materiais específicos como inibidores de corrosão em estruturas totalmente contaminadas, como obras costeiras ou medicamentos para seres vivos com doenças crônicas.

Estas reflexões sobre a prática de realizar recuperações e reforços estruturais em diferentes estados e situações motivam e justificam a elaboração deste trabalho.

1.4. Objetivo geral

Avaliar a eficiência da recuperação de estruturas de concreto armado por remoção apenas da camada afetada do cobrimento da armadura.

1.5. Objetivos específicos

- Avaliar a corrosão induzida por cloretos em amostras de concreto por meio de testes acelerados.
- Avaliar a eficiência do sistema de reparo total, em meio com cloretos, quando o reparo for graute ou argamassa polimérica e o reforço tiver proteção de nitrito ou zinco.
- Avaliar a eficiência do sistema de reparo parcial, em corpos de prova de concreto contaminados por cloretos, quando o reparo for graute ou argamassa polimérica e a armadura possuir proteção de nitrito ou zinco.

1.6. A originalidade do tema

A eficiência, eficácia e durabilidade na recuperação de estruturas de concreto armado segundo a maioria dos autores depende da renovação total do concreto ao redor das barras de aço sem levar em consideração o agente causal e o ambiente em que está inserido, os riscos estruturais e custos financeiros.

No entanto, esta não parece ser a prática usual devido ao risco estrutural que uma redução considerável na seção de concreto pode oferecer e a dificuldade prática de confecção de escoramentos em edifícios residenciais e comerciais. Assim, sem questionar os procedimentos padronizados e os conceitos científicos consolidados pela academia, busca investigar e avaliar em que medida a prática usual de fazer reparos pode ou não ser aceitável, tendo em vista a segurança, conforto, custo e eficácia dos tais procedimentos.

Assim, o objetivo é ter uma visão de maior atenção aos profissionais e empresas que prestam esses serviços de recuperação estrutural, sem diminuir a necessidade de aumentar o conhecimento científico sobre fenômenos naturais que envolvem materiais e mecanismos químicos que regem a corrosão em metais resultando em altos custos econômicos e custos ambientais devido à demanda por recursos minerais.

1.7. Limitações do trabalho

Obras como pontes e viadutos diferem de edifícios residenciais e escritórios comerciais em termos de estrutura, altura, layout interno, aberturas e uso. Esses são fatores importantes que devem ser utilizados no projeto e execução da recuperação e principalmente em relação à necessidade de apoio estrutural.

Assim, este trabalho tem como pano de fundo o estudo e avaliação de reparos estruturais com materiais disponibilizados ao mercado consumidor por boas marcas comerciais nessas estruturas prediais e obras de arte, muito comuns em grandes cidades, como a Região Metropolitana de Fortaleza, capital do estado do Ceará, que possui as seguintes características ambientais: litoral, temperatura média de 28°C durante todo o ano, chuvas nos primeiros quatro meses do ano, umidade relativa acima de 65%.

Além disso, há limitações quanto à disponibilidade de equipamentos e instalações laboratoriais que permitam aprofundar a pesquisa científica, embora sejam adequados para atender ao objetivo da tese, que incide na prática profissional de recuperação de estruturas comuns de concreto armado que suportam a maioria dos edifícios nesta região.

1.8. Estrutura do trabalho

Esta tese é desenvolvida de acordo com a seguinte distribuição de capítulos:

O capítulo 1 apresenta a introdução ao tema, a justificativa para o estudo do tema proposto, o objetivo geral e os objetivos específicos, informando o que será abordado em cada capítulo.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre corrosão em concreto armado e o capítulo 3 apresenta a metodologia para os serviços de recuperação de estrutura de concreto armado em conformidade com as normas técnicas vigentes e a metodologia usual praticada no Estado do Ceará/Brasil.

No capítulo 4 são apresentadas considerações sobre a redução da seção de concreto dos elementos estruturais frente a remoção de concreto para permitir a limpeza das partes oxidadas das barras de aço e a remoção de concreto carbonatado ou contaminado que possam estar em contato com a armadura.

O Capítulo 5 apresenta pesquisa para caracterização dos agregados constituintes do concreto utilizado, a determinação das propriedades do concreto, da argamassa polimérica e do graute cimentício e a metodologia da pesquisa para a verificação da hipótese da tese e comprovação do seu objetivo geral.

O Capítulo 6 apresenta os dados e analisa os resultados da pesquisa feita com base nos potenciais de corrosão induzidas por cloretos através de ciclos de secagem e umedecimento com solução salina em corpos de prova moldados em concreto, em argamassa polimérica e em graute com duas barras de aço CA 60 inseridas em cada corpo de prova.

O sétimo e último capítulo contém as conclusões da tese e sugestões para trabalhos futuros que venham a complementar o estudo feito.

2. A CORROSÃO NO AÇO NO CONCRETO ARMADO

2.1. Introdução

É incrível como o concreto de cimento Portland, uma pedra artificial, foi harmonizado com uma liga metálica composta principalmente de ferro e carbono, e se tornou o material de construção estrutural mais utilizado no planeta. Isso foi possível porque há compatibilidade química entre o aço e a alta alcalinidade do concreto e a compatibilidade física, uma vez que possuem coeficientes de dilatação térmica próximos.

Battagin (2019) explica que o concreto é um material composto de cimento Portland, agregados, água e eventualmente adições como metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolâmicos. É composto por materiais abundantes em todo o planeta, de baixo custo/benefício e de fácil reciclagem. Por isso, não é muito agressivo com o meio ambiente, principalmente quando comparado às opções disponíveis para a construção civil.

O concreto geralmente fornece às barras de aço de sua armadura uma excelente proteção contra corrosão, pois o ambiente altamente alcalino do concreto cria uma película aderente que passiva o aço e o protege da corrosão.

Portanto, devido aos atributos de proteção inerentes ao concreto, a corrosão do aço da armadura não ocorre na maioria dos elementos estruturais de concreto. No entanto, a corrosão do aço pode ocorrer se o concreto não resistir ao ingresso de substâncias causadoras de corrosão ou se a estrutura não tiver sido projetada adequadamente para o ambiente de serviço, ou se o ambiente não for o esperado ou se mudar durante a vida útil da estrutura. (ACI 222R-01).

GiØrv (2014, p. 70) relata que “É bem conhecida a capacidade do concreto de proteger a armadura contra a corrosão, que se deve principalmente à passivação eletroquímica da armadura na solução alcalina presente nos poros do concreto. No entanto, a corrosão pode começar quando a passividade é quebrada, parcial ou completamente, seja por carbonatação ou pela presença de cloretos.

Como se pode observar, o concreto confere proteção química e física ao aço contra os agentes agressivos presentes no meio ambiente, mas, por outro lado, o aço fornece as condições necessárias para, como um todo, resistir aos esforços mecânicos decorrentes de sua própria pesos, cargas e sobrecargas nas mais variadas formas e usos arquitetônicos.

Essa proteção é enfatizada por Pazini et Meira (2013) quando afirmam que a proteção do aço pelo concreto se dá pela barreira física que separa o aço do contato direto com o meio externo e a proteção química pelo filme passivo criado por a alta alcalinidade do concreto.

Assim, para que as estruturas de concreto armado tenham durabilidade igual ou superior à projetada e esperada, é necessário evitar que o concreto entre em contato com o dióxido de carbono da atmosfera e que a armadura não seja atacada por íons cloreto e enxofre.

A corrosão da armadura de concreto é principalmente devido à carbonatação do concreto e interação com cloretos. A esse respeito, HELENE (2014) afirma que a perda da proteção natural da armadura pelo revestimento de concreto pode ocorrer por diversos mecanismos, com predominância da despassivação por carbonatação e pela ação dos íons cloro.

Estruturas de concreto armado de edificações e obras de arte construídas em áreas litorâneas que estão sujeitas à névoa salina transportada pelo vento, provocando muitas perdas devido à necessidade de reparos de alto custo. Portanto, pesquisas sobre a eficácia dos inibidores de corrosão para o aço, e sobre materiais de reparo de concreto são importantes para a durabilidade e garantia de vida útil dessas estruturas

Saliente-se que o dióxido de carbono CO₂ faz parte da atmosfera terrestre e do ciclo dos seres vivos no planeta e da queima dos combustíveis fósseis. Os cloretos são abundantes na névoa salina causada pela quebra das ondas do mar nas praias e se movem com o vento até que as estruturas dos prédios, viadutos e pontes. Os sulfatos são encontrados basicamente no solo e na água sulfatada. Portanto, o meio ambiente está repleto de substâncias que podem atacar e causar desgaste no concreto. Pois, essas

substâncias, podem penetrar no concreto até reagirem com algum componente da pasta de cimento ou com a armadura.

Em geral, o ataque químico começa na superfície do concreto e, em seguida, adentra e provoca alterações, como aumento da porosidade e permeabilidade, criando tensões internas que afetam a resistência e integridade do material, por meio de reações agressivas como lixiviação e intercâmbio iônico resultando na formação de compostos agressivos. (Maldonado e Carrasco, 2016).

A lixiviação do concreto pode ser causada por águas puras, carbonatadas ou ácidas que podem dissolver os compostos hidratados na pasta de cimento. NBR 6118 (ABNT, 2014).

Águas puras e ácidas, algumas soluções salinas, especialmente aquelas contendo sulfatos, amônia e magnésio, podem degradar o concreto em diferentes velocidades. Ácidos inorgânicos como os ácidos clorídrico, fluorídrico, sulfúrico, bromídrico, fosfórico e carbônico e ácidos orgânicos como o acético, fórmico, láctico e tânico são especialmente prejudiciais. (ACI 201.2R, 2008).

Esses fatores que degradam o concreto também resultam em danos à armadura, pois afetam a camada passiva criada pela matriz cimentícia composta por álcalis que reagem com o ferro criando óxidos e hidróxidos que isolam o núcleo metálico do oxigênio, impedindo o processo corrosivo.

Evitar que esses agentes entrem em contato com o metal da armadura de concreto é função da camada de revestimento. Para isso, deve ser grosso e compacto. A correta especificação desta camada é estabelecida por normas técnicas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, há sessenta anos publicou a primeira norma prescritiva para a construção de estruturas de concreto, que era a NB - 1 Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado, na qual era exigido que o revestimento da armadura fosse 15 mm para vigas, colunas e arcos no interior de edifícios e 20 mm no exterior. Esta norma também estabeleceu um consumo mínimo de

cimento de 300 kg por metro cúbico de concreto e, como resistência mínima à compressão, 135 kg/cm² (13,5 MPa) quando são utilizadas barras de aço nervuradas.

À medida que o concreto aparente se espalhou pelo mundo na década de 1960 até o início do segundo milênio e, o aparecimento de fissuras, e a deterioração das estruturas, mas por outro lado, ocorreu a evolução do conhecimento das propriedades do concreto, foram estabelecidos requisitos regulatórios mais rigorosos e adequados para as características de cada ambiente, como a publicação da NBR 6118 pela ABNT publicada em 2003 e revisada pela última vez em 2014.

Na Argentina, o padrão para concreto armado é CIRSOC 201: Regulamento Argentino para Estruturas de Concreto, que estabelece os requisitos mínimos para o projeto e construção de estruturas de concreto não armado, armado e protendido, que devem ser capazes de resistir às ações previstas para os períodos de construção e serviço, oferecendo segurança adequada para o uso a que se destinam durante sua vida útil.

2.2. A influência do meio ambiente

É senso comum que a durabilidade de qualquer estrutura de concreto armado está diretamente relacionada à sua capacidade de resistir às agressões do meio em que está inserida.

Ribeiro (2014) afirma que, em interações com o ambiente, as estruturas de concreto sofrem alterações que podem comprometer a estabilidade e disponibilidade para uso.

Essa interação do concreto com o meio ambiente pode ser destrutiva, com aparecimento de corrosão na armadura como resultado de reações químicas ou eletroquímicas, podendo estar associada a ações físicas ou mecânicas. Ribeiro e Helene (2014).

O Regulamento CIRSOC 201 (2005) esclarece que as ações do meio ambiente podem ser de natureza química, física e/ou físico-química e que podem causar a

degradação da estrutura por efeitos diferentes dos das cargas consideradas no Projeto Estrutural. (CIRSOC 201, 2005)

Obviamente, a disponibilidade de oxigênio, umidade, dióxido de carbono e cloretos influenciam a intensidade e extensão da corrosão na armadura.

No entanto, Gjorv (2015) aponta que, atualmente, o concreto utilizado em estruturas inseridas em ambientes extremamente agressivos é tão denso que a carbonatação não é mais um problema, entretanto, o cloreto continua sendo um desafio para a proteção da armadura contra a corrosão.

Existem concretos de altíssimo desempenho, conhecidos como UHCP - Ultra High Concrete Performance e pós reativos que são extremamente compactos e oferecem altíssima resistência, mas observe que as estruturas atuais foram construídas com concreto de até 25 MPa e são as que sofrem desgaste no concreto e corrosão na armadura e requerem recuperações para prolongar a vida útil e permanecer funcional.

2.3. Proteção física do aço

A partir da publicação da norma brasileira para projeto de estruturas de concreto armado, atualmente revisada e vigente, ABNT NBR 6118:14, o ambiente é classificado de acordo com sua agressividade e a partir daí é estabelecida a espessura do revestimento ser adotada. A agressividade ambiental é classificada com base na Tabela 2.3.1 (NBR 6118, 2014)

Tabela 2.3.1:

Classe de agressividade ambiental (ABNT, 2014)

<i>Classe de agressividade ambiental</i>	<i>Agressividade</i>	<i>Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto</i>	<i>Risco de deterioração da estrutura</i>
<i>I</i>	<i>Fraca</i>	<i>Rural</i>	<i>Insignificante</i>
		<i>Submersa</i>	
<i>II</i>	<i>Moderada</i>	<i>Urbana ^{a b}</i>	<i>Pequeno</i>
<i>III</i>	<i>Forte</i>	<i>Marinha ^a</i>	<i>Grande</i>
		<i>Industrial ^{a b}</i>	
<i>IV</i>	<i>Muito forte</i>	<i>Industrial ^{a c}</i>	<i>Elevado</i>
		<i>Respingos de maré</i>	

A espessura do revestimento adequada para resistir ao grau de agressividade do ar definido na Tabela 2.1 deve seguir a indicada na Tabela 2.2 e não deve ser inferior a 10 mm em nenhum caso.

Tabela 2.3.2:

Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e a cobertura nominal para $D_c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal > 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal > 45 mm.

^a Revestimento nominal de a bainha ou de fios, cabos e cordões. A cobertura da armadura passiva deve respeitar os revestimentos de concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas a serem revestidas com argamassa de subcamada, revestimentos acabados a seco, como carpete e madeira, revestimentos e argamassas acabados, como pisos de madeira, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, os

requisitos desta tabela podem ser substituídos pelas de 7.4.7.5 da mesma norma, respeitando uma cobertura nominal de 15 mm.

^c Em superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, tubulações de esgoto, canais de efluentes e outras obras químicas e intensivas, devem ser atendidas coberturas agressivas classe IV.

^d Na seção de pilares em contato com o solo próximo aos elementos de fundação, a armadura deve ter uma cobertura nominal de 45 mm.

A qualidade e resistência do concreto é importante para resistir às interações com o meio ambiente, por isso a mesma norma também estabelece qual deve ser a resistência à compressão do concreto, conforme apresentado na Tabela 2.3 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 2.3.3.

Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto. NBR 6118

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal > 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal > 45 mm.

Por sua vez, a regulamentação argentina CIRSOC 200-2005 estabelece critérios visando atingir a vida útil esperada que envolve requisitos como resistência à compressão, fator água/cimento, absorção capilar, permeabilidade à água e ao ar em combinação com medidas de proteção e manutenção aos requisitos ambientais. Maldonado e Carrasco (2016).

O Regulamento Argentino CIRSOC 201 (2005) utiliza a tabela 2.3.4 (adaptada) para fazer a classificação geral quanto à agressividade do meio ambiente:

Tabela 2.3.4.

Classes de exposição gerais que produzem corrosão de armaduras (adaptado). Fonte: MALDONADO e CARRASCO (2016).

1	2	3	4	5
Desig.	Classe	Subclasse	Tipo de processo	Descrição do meio ambiente
A 1	Não agressiva		nenhum	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edifícios não submetidos à condensações. • Elementos exteriores de edificios revestidos. • Concreto massivo interior • Estruturas em ambientes rurais e climas desérticos, com precipitação média anual <250 mm;
A 2	Ambiente normal	Temperatura moderada e fria, sem congelação. Umidade alta e media ou com ciclos de molhado e seco	Corrosión por carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios expostos ao ar com HR>65% ou à condensações. • Exteriores expostos à chuvas com precipitação média anual < 1.000 mm. • Temperatura média anual mensal durante mais de 3 meses ao ano > 25 °C e 1.000 mm. • Elementos enterrados em solos úmidos uo submergidos.
A 3	Clima quente e úmido		Corrosão por carbonatação	<ul style="list-style-type: none"> • Exteriores expostos à chuvas com precipitação média anual > 1.000 mm.

				<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura media mensal durante mais de 3 meses ao ano > 25° C
C L	Úmido ou submerso, com cloretos de origem diferente do meio marinho		Corrosão por cloretos	<ul style="list-style-type: none"> • Superfícies de concreto expostas ao <i>spray</i> ou a flutuação do nível de água com cloretos. • Concreto exposto à águas naturais contaminadas por desagües industriais.
M 1	Marinho	Ao ar	Corrosão por cloretos	<ul style="list-style-type: none"> • A mais de 1 km da linha de maré alta e contato eventual com ar saturado de sais
M 2		Ao ar	Corrosão por cloretos	<ul style="list-style-type: none"> • A menos de 1 km da linha de maré alta e contato eventual com ar saturado de sais
		Submergidos	Corrosão por cloretos	<ul style="list-style-type: none"> • Submergidos em água do mar, debaixo do nível mínimo de marés.
M 3		Submergidos	Corrosão por cloretos	<ul style="list-style-type: none"> • Em zona de flutuação de marés ou exposto a salpicaduras do mar.

(*) A distância máxima depende da direção dos ventos predominantes. Quando provém do mar, como ocorre na maior parte do litoral da Província de Buenos Aires, esta zona está entre 1 mm e 10 km. Na maior parte da Patagonia esta zona é inexistente. O Diretor do Projeto deverá definir os limites de aplicação desta zona de agressividade.

O Regulamento Argentino CIRSOC 201 (2005) utiliza a tabela 2.4 (adaptada) para fazer a classificação geral da agressividade do meio ambiente:

Onde:

A1 = não agressivo;

A2 = normal;

A3 = quente e úmido;

Cl = quente e sujeito a cloretos marinhos;

M1, M2, M3 = clima marinho;

C1, C2 = gelo e degelo; Q1, Q2, Q3 = agressividade química.

Assim, o concreto deve obedecer a Tabela 2.3.5 CIRSOC 201-2005 que é detalhada a seguir.

Tabela 2.3.5:
Requisitos de resistência e durabilidade segundo o Regulamento CIRSOC 201 – 2005 (Maldonado e Carrasco, 2016).

Requisitos	Tipos de exposición de las estructuras, de acuerdo a la clasificación de las Tablas 2.1 y 2.2 y sus complementarias 2.3 y 2.4									
	A1	A2	A3 y M1	CL y M2	M3	C1 (2)	C2 (2)	Q1	Q2	Q3 (3)
a) Razón a/c máx, (1)										
Hormigón simple	-	-	-	0,45	0,45	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón armado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón pretensado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
b) f'c min	(resistencia a compresión)									
Hormigón simple	-	-	-	30	35	30	35	30	35	40
Hormigón armado	20	25	30	35	40	30	35	30	35	40
Hormigón pretensado	25	30	35	40	45	30	35	35	40	45
Penetración de agua o succión capilar	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

(1) Cuando se use un cemento Portland más una o varias adiciones minerales activas incorporadas directamente en planta elaboradora, se podrá reemplazar la razón a/c por la razón agua/material cementicia $a/(c+x)$, que tenga en cuenta la suma del cemento Portland © y la cantidad de la adición mineral (x) cuando se trate de puzolana según norma IRAM 1668 o de escorias según norma IRAM 1667.

(2) O ar deve ser intencionalmente incorporado na quantidade exigida na Tabela 5.3.

(3) Onde aplicável, a estrutura deve ser protegida por 2.2.5.2c3 ou 2.2.10.3.

Para locais de extrema agressividade, como estruturas inseridas no mar ou sujeitas a variações de maré, como cais e plataformas para extração de petróleo, a norma norueguesa exige revestimentos que podem chegar a 10 cm com concreto de maior desempenho, mas isso está fora do escopo deste trabalho. (Gjorv, 2015).

Além da resistência à compressão e da máxima relação água/cimento, também é necessário considerar o coeficiente de difusão de cloretos (Tabela 2.3.6), a profundidade de carbonatação (Tabela 2.3.7) e permeabilidade ao oxigênio (Tabela 2.3.8) e a especificação do Índice de Qualidade de Recobrimento - ICR (Tabela 2.3.9), expostas a seguir.

Tabela 2.3.6:

Classificação de concreto com base no coeficiente de difusão de cloreto para atmosfera marinha ou industrial

Classificação do Concreto	Coeficiente de difusão de cloretos (m ² /s)	Profundidade de ingresso de cloretos, em mm(*)		Outras características do concreto		
		15 anos	50 anos	Fck (MPa)	a/c	cimento
Excelente	< 5*10 ⁻¹³	---	---	> 55	< 0,38	Com
		11	20			adições
Durável	5 a 40*10 ⁻¹³	---	---	➤ 35	< 0,40	> 400
		31	57			kg/m ³
Normal	40 a 90*10 ⁻¹³	---	---	20 a 35	0,48 a	280 a
		78	142		0,68	400
						kg/m ³
Deficiente	> 90**10 ⁻¹³	22	40	< 20	> 68	< 280
		132	241			kg/m ³

(Helene, P., "Contribuição para o Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto", Tese Livre apresentada Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, 1993).

* O primeiro termo corresponde ao limite de 0,30% em peso de cimento e o segundo ao limite de 0,08%.

Tabela 2.3.7:

Classificação do concreto, com base no coeficiente de carbonatação (DURAR, 2000).

Classificação do concreto	Coeficiente de carbonatação (mm.ano ^{-1/2})	de Resistência característica (MPa)	Profundidade carbonatada provável a 50 anos (mm)
Duravel	≤ 3	> 35	20
Normal	3 a 6	10 a 35	40
Deficiente	≥ 6	< 20	60

Tabela 2.3.8:

Qualificação do concreto de cobertura (Torrent, R., “Uma Abordagem Inovadora para Garantir a Durabilidade das Estruturas”, Proc. 1º. Congresso Internacional de Tecnologia do Concreto, pp. 253-266, Buenos Aires, Argentina, 1998.)

Índice de qualidade do recobrimento (ICR)	Qualidade	Coeficiente $kO(10^{-16} \text{ m}^2)$	Coeficiente $kT(10^{-16} \text{ m}^2)$
1	Excelente	< 0,1	< 0,01
2	Muito boa	0,1 – 0,5	0,01 – 0,1
3	Média	0,5 – 2,5	0,1 – 1,0
4	baixa	2,5 – 12,5	1,0 – 10,0
5	Muito baixa	> 12,5	> 10

Tabela 2.3.9:

Especificação de ICR – Índice de Qualificação do Recobrimento para diferentes tipos de exposição (Torrent, 1998).

Exposição do elemento estrutural	f'_c mínima (MPa)	ICR
Exposto às intempéries	21	3
Permanentemente em contacto com ar salino	30	2 – 3
Parcial ou totalmente submergido em água do mar	38	2
Em solos ou águas com alto conteúdo de sulfatos	38	2

2.4. Proteção química do aço

O concreto também oferece proteção química ao formar uma camada de óxido de ferro (Fe_2O_3) que envolve e adere firmemente à superfície das barras de reforço de aço, passivando o metal enquanto o pH da solução permanece acima de 11,5. (Mehta e Monteiro, 1994).

Bertolini (2017, p. 138) diz que a alcalinidade do concreto se deve a uma solução que preenche os poros do concreto e que essa solução é constituída principalmente de hidróxido de sódio e potássio, mesmo quando a concentração de íons, Na^+ , K^+ e OH^- , dependendo do tipo de cimento e que também contém pequenas quantidades de hidróxido de cálcio, embora possa ter hidróxido de cálcio em maior quantidade na forma cristalina, conhecida como Portlandita.

Gjorv (2015, p.83), a respeito da alcalinidade do concreto afirma que “a alcalinidade se deve a pequenas quantidades de NaOH e KOH facilmente solúveis. A pasta cimentícia também contém uma grande proporção de $Ca(OH)_2$, que protege o sistema de tal forma que o pH nunca cai abaixo de 12,5”.

Bertolini (2017) concorda que o pH da solução nos poros é alto, acima de 13 e que os valores mais baixos somente quando se adiciona escória de alto forno ou pozzolana

(sílica ativa) mais o pH não pode cair abaixo de 12,5 porque é aquela que corresponde à solubilidade do hidróxido de cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Gjorv (2015), confirma que a adição de sílica ativa reduz a alcalinidade do concreto, que também é reduzida pela lixiviação de substâncias alcalinas e carbonatação com dióxido de carbono, fazendo com que o pH caia para aproximadamente 8,5.

Freire (2005, p. 6) afirma que “na superfície das armaduras, os óxidos de ferro reagem com o hidróxido de cálcio para formar ferrita de cálcio, que faz parte do filme que passiva ou protege o aço contra a corrosão.

Helene (1986, p.4) esclarece que "a alcalinidade do concreto é derivada das reações de hidratação dos silicatos de cálcio (C_3S e C_2S) que liberam certa porcentagem de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ " e que "essa base forte dissolve na água e preenche os poros e capilares do concreto, conferindo-lhe um caráter alcalino."

Pourbaix (1961) citado por Helene (1986) relata que a passivação do aço é proporcionada pelo pH de 12,6 do hidróxido de cálcio à temperatura ambiente.

O diagrama de Pourbaix (Figura 2.4.1) mostra que o ferro no concreto normalmente permanece na zona de passivação, ou seja, pH entre 10,5 e 13,0 (Ribeiro, 2018) e potencial elétrico entre +0,1 e -0,4mV (Helene, 1986).

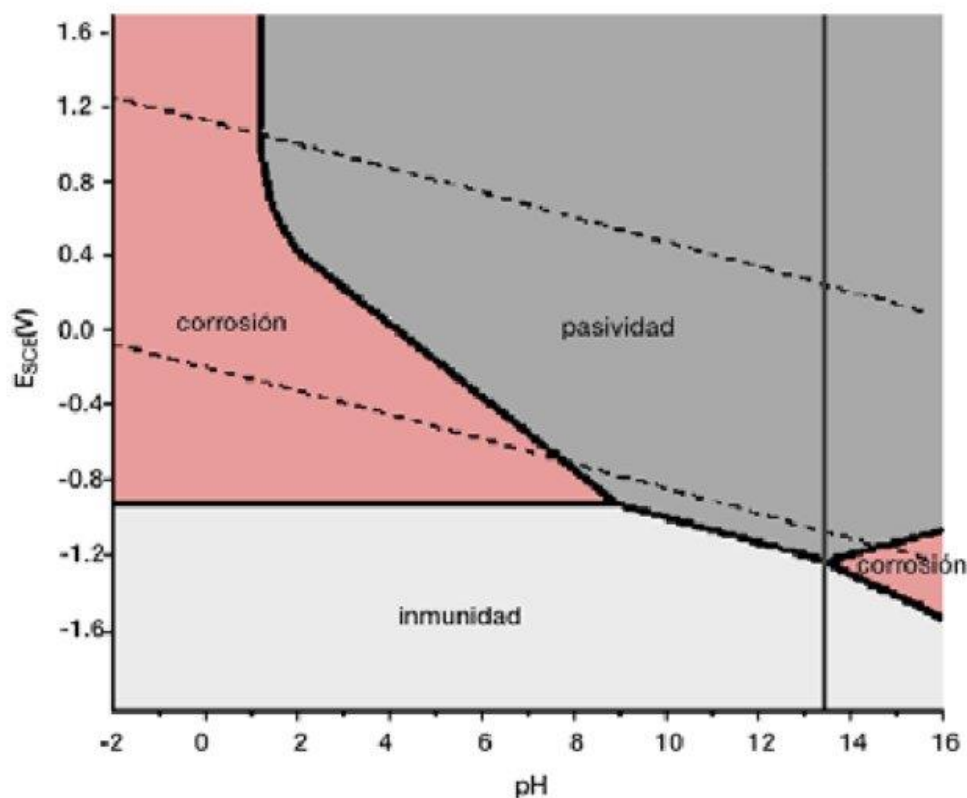


Figura 2.4.1 Diagrama de Pourbaix para o ferro a 25° C.

Entre outros, Torres (2011) concorda que a corrosão das armaduras é causada pela ação de agentes agressivos, sendo os dois principais a carbonatação e a penetração de cloretos.

2.5. Carbonatação do concreto

O concreto jovem é um material muito alcalino, pois contém muito hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na matriz de concreto. Esta substância é uma das responsáveis pela alcalinidade. Com o tempo, na verdade, com a raiz quadrada do tempo, ele se combina com o dióxido de carbono atmosférico e se transforma em carbonato de cálcio CaCO_3 que tem um pH em torno de 9. Ainda é um ambiente alcalino, pois pH igual a 7 é neutro e abaixo disto estão os ácidos.

A transformação começa na superfície e passa para o concreto. Essa penetração não é difícil porque o concreto é um material poroso (Ribeiro, 2018, página 127).

Nunes garante que (2014):

O concreto apresenta descontinuidades que podem comprometer suas funções estruturais, pois sua microestrutura, por melhor que seja o preparo e execução da estrutura de concreto armado, apresenta microfissuras, poros e vazios, pontos críticos tanto para resistência à compressão quanto para entrada de fluidos agressivos na estrutura.

É um fenômeno natural que depende da concentração de CO_2 , umidade e temperatura, mas é um processo lento.

A penetração inicial é rápida no início e desacelera até parar conforme Soretz citado por Helene (1986) e Ribeiro (2018) como visto no gráfico da figura 2.5.1.

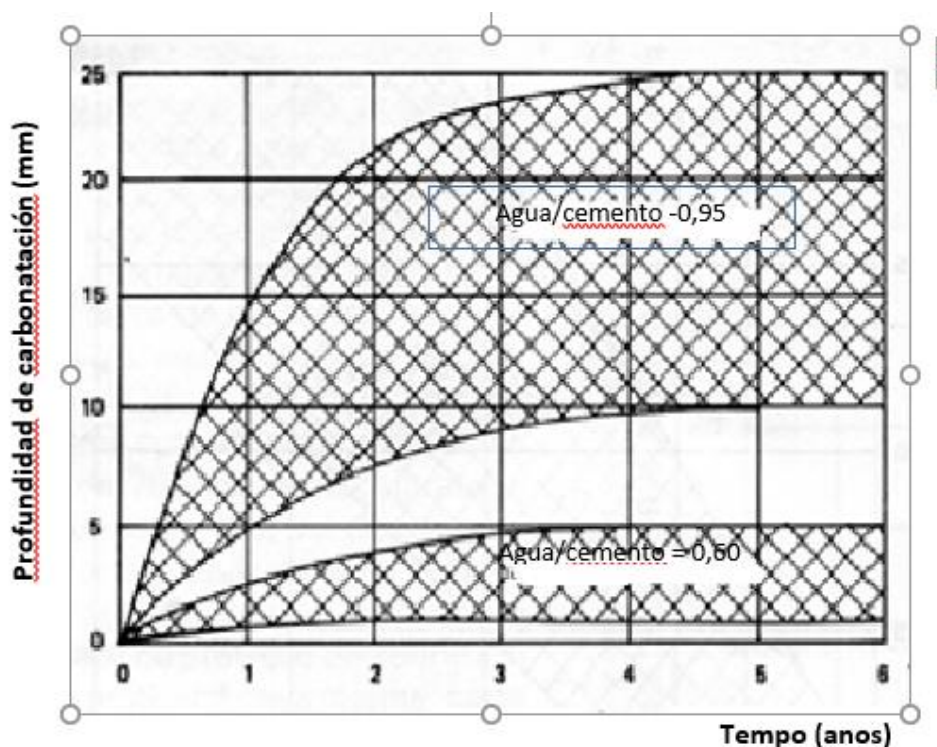


Figura 2.5.1. Variação da profundidade de carbonatação, de acordo com Soretz, 1967 (Helene, 1986).

A estabilização da penetração do CO_2 se deve à hidratação do cimento e à produção de CaCO_3 , que é um sal insolúvel e preenche os poros do concreto. Este processo decorre da análise da reação de carbonatação, conforme a Equação 2.1:



Onde:

Ca (OH)_2 hidróxido de cálcio responsável pela alcalinidade da solução dos poros

CO_2 gás carbônico presente na atmosfera terrestre

CaCO_3 carbonato de cálcio, sal insolúvel resultante da reação química

H_2O água também resultante da mesma reação química.

Quando a carbonatação atinge o concreto que está junto a barra de aço da armadura, a alcalinidade baixa para o pH igual ou menor do que 9 e assim, como pode-se ver no Diagrama de Pourbaix na Figura 2.4.1 pode entrar no estado de corrosão, dependendo do potencial elétrico.

A Equação 1, representa o final de um processo complexo que havendo água e excesso de CO_2 pode haver a formação de bicarbonato de cálcio, conforme Equação 2:



O bicarbonato reduz ainda mais o pH, aproximando-se do pH 7 que é neutro, neste caso afetando a interface concreto-aço e, assim, comprometer a segurança estrutural do concreto armado. (RIBEIRO, 2018).

A despassivação do aço permite a interação com íons agressivos, que constitui a sua fase inicial, e em seguida se inicia a etapa de propagação do processo eletroquímico com a formação de uma célula de corrosão. PAZINI et MEIRA (2013).

A velocidade da carbonatação depende da configuração dos poros, da relação água/cimento, da cura, do tipo de cimento, de aditivos, da umidade, da temperatura e da disponibilidade de gás carbônico, ou seja, depende da permeabilidade do concreto e do meio ambiente.

Como envolve o gás carbônico e sua difusão pelos poros do concreto, as Leis de Fick podem ser aplicadas e assim pode-se calcular a profundidade de penetração da carbonatação como sendo proporcional à raiz quadrada do tempo.

Ribeiro (2018) apresenta como forma de calcular a penetração em função do tempo, através da Equação 3:

$$X = A \cdot t^n \quad 0 < n < 1. \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

X = profundidade de penetração da carbonatação em mm

A = coeficiente de difusão: anoⁿ/mm

t = tempo em anos.

n = normalmente adota-se n = 0,5 ou seja, a raiz quadrada do tempo.

A carbonatação também causa dois efeitos que deve ser considerado, um efeito benéfico é o aumento da dureza e da resistência à flexão do concreto que pode ser devido á maior compacidade pelo preenchimento dos poros pelo carbonato de cálcio. Por outro lado, tem o efeito maléfico de liberar cloretos ligados à matriz cimentícia do concreto que irão atacar a armadura.

Garantir que a camada de cobrimento tenha uma espessura adequada e o mínimo de vazios conforme prescreve as normas técnicas brasileira e internacionais para que agentes que contribuem para a intensidade e a velocidade da carbonatação e para o início e desenvolvimento da corrosão da armadura é fundamental.

2.6. Ação dos cloretos no concreto

Sobre o mar existe uma névoa salina repleta de cloretos, entretanto, é necessário que haja vento e que soprem em direção às estruturas. Portanto, não basta que a salinidade da água do mar seja alta, porque sem corrente de vento os cloretos não têm mobilidade.

A névoa salina ou maresia existe diuturnamente, portanto, todas as construções executadas na zona litorânea marinha tem cloreto incorporado à massa de concreto e na superfície das armaduras. Portanto, havendo as condições necessárias os cloretos

podem se acumular na massa do concreto fresco, sobre as formas e sobre as barras de aço e, no concreto endurecido podem se acumular na superfície e ficarem adsorvidos nas superfícies ou absorvido e se difundirem pelo interior do concreto até alcançar a armadura.

No concreto endurecido, os cloretos, preferencialmente, penetram por adsorção, absorção capilar e por difusão.

As outras formas de incorporação de cloretos são: o uso de aditivos aceleradores de pega, que não se usa mais e os sais de degelo usados sobre pontes e viadutos nos países de clima frio.

Así, los cloruros penetran en el hormigón por succión y se difunden de acuerdo con las leyes de Fick, garantiza Ribeiro (2018).

Assim, os cloretos penetram no concreto por sucção e se difundem em conformidade com as Leis de *Fick*, garante Ribeiro (2018).

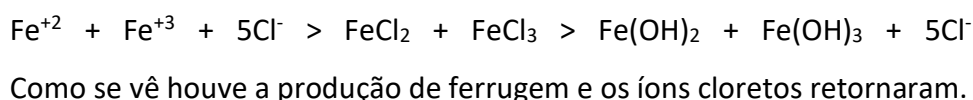
Simplificadamente pode-se dizer que os cloretos penetram no concreto absorção capilar dependendo da intercomunicação dos poros, por permeabilidade quando existe alguma forma de pressão e por migração dos íons quando atraídos magneticamente. Saliente-se que se os poros estiverem saturados com água, a penetração dos cloretos é por difusão, se a saturação é parcial, a penetração se dá por absorção e por capilaridade, e se o concreto estiver seco é por capilaridade. (HELENE, 1993; NEVILLE, 1997; ROSEMBERG et ali, 1989; ANDRADE, 1993; CABRAL, 2000). Citados por Cabral (2000).

Entretanto, como base no ACI Committee 222, 1991 e Rosemberg et ali (1989), Cabral (2000) e Ribeiro (2018) registram que atualmente existem três teorias que explicam a ação dos cloretos sobre a armadura do concreto armado. São elas:

- a. Teoria do filme de óxido, segundo a qual os íons Cl por seu pequeno raio atômico penetram por poros ou falhas do filme passivante e o dispersam coloidalmente, facilitando a entrada de outros íons.
- b. Teoria da adsorção, que é o processo de retenção de moléculas ou íons na superfície do metal. Neste caso estão os íons cloretos e hidroxila e oxigênio

dissolvido competindo entre sí, entretanto, os cloretos promovem a hidratação do metal e facilita a sua dissolução em novos íons.

- c. Teoria do complexo transitório trata-se de um estado *transitório*, ou fase intermediária, entre os reagentes (fracos ou não), no qual o produto final ainda não foi formado. Assim, os íons cloretos e as hidroxilas competem pelos íons de ferro. Ocorrem reações diversas nas regiões anódica e catódica.
- I. No anodo a concentração de cátion de Fe^{+2} e Fe^{+3} aumenta e o pH do concreto diminui e se forma um complexo solúvel de cloreto e ferro ($FeCl_2$ e $FeCl_3$) e se difundem para outras regiões, resultando num processo contínuo de corrosão do metal.
 - II. No catodo a concentração de hidroxila aumenta.
 - III. Em outras regiões do concreto, onde o pH e a concentração de oxigênio é maior, o complexo ativo se quebra, precipitando hidróxido de ferro - $Fe(OH)_2$, liberando o cloreto para retornar ao anodo e participar de novas reações corrosivas para o ferro.
 - IV. Esquemáticamente o processo é o seguinte:



Somente a presença dos cloretos não basta para quebrar a camada passivante e iniciar o processo corrosivo, é necessário haver umidade e oxigênio nos poros do concreto além da acidificação causada pelos íons cloretos. Gonzáles et al, 1998.

A concentração de cloretos no ambiente acima de certos valores em relação à massa de concreto, também influem na quebra da capa passivadora de óxidos de ferro que protegem a armadura para o início do processo de corrosão. (Medeiros et al, 2013).

Porém, é importante distinguir os estados em que os cloretos se encontram no interior do concreto, se combinados ou livres. Podem estar quimicamente ligados formando cloroaluminatos de cálcio até se tornarem livres pela carbonatação, fisicamente adsorvidos nas paredes dos poros através dos silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) ou

livres. São estes os que rompem o filme passivante porque sempre existem no concreto. (CASCUDO, 1997).

A quantidade máxima de cloretos na massa de concreto é ainda bastante discutida. A norma brasileira, NBR 6118:14 proíbe o uso de aditivos contendo cloretos em estruturas de concreto armado e protendido (item 7.4.4 da referida norma)

O Regulamento Argentino CIRSOC 201 estabelece como conteúdo máximo de cloretos no concreto armado endurecido com cura normal o percentual de 0,15% em relação à massa do cimento do concreto, em meio ambiente com cloretos e 0,30% em meio ambiente sem cloretos.

O Instituto Americano do Concreto informa no ACI 222R – 01 que em estudos de laboratório, em que foi adicionado cloreto de sódio, um aumento substancial na taxa de corrosão ocorreu entre 0,4 e 0,8% de cloreto em relação à massa de cimento, embora as condições de umidade das amostras de teste tenham sido não está claramente definida. Ainda segundo o ACI 222R – 01 outros pesquisadores acreditam que o nível crítico de cloretos nos para iniciar a corrosão é de 0,3% e esse valor tem um efeito semelhante a 0,4% de cloretos que penetram no concreto endurecido de fontes externas. Relata também que em estudos nos quais o cloreto de cálcio foi adicionado ao concreto de cimento Portland, a concentração de íons cloreto na solução porosa permaneceu alta durante o primeiro dia e vou diminuído gradualmente até estabilizar, mas que uma quantidade substancial de concentração de íons cloreto permaneceu em solução indefinidamente.

Os limites de cloreto nos códigos nacionais de construção variam muito. O ACI 318-95 permite um máximo 0,06% de íons cloreto solúvel em água teor em relação à massa de cimento para concreto protendido, 0,15% para concreto armado exposto a meio ambientes contendo cloretos, 1,00% para concreto armado que será seco ou protegido da umidade e 0,30% para todos os outros tipos de construções em concreto.

O Código Britânico, CP 110, permite um teor de íons cloreto solúvel em ácido de 0,35% para 95% dos resultados de testes em que não haja resultado superior a 0,50%.

Esses valores baseiam-se amplamente no exame de várias estruturas que apresentava baixo risco de corrosão com adição de até 0,4% de cloreto no concreto fresco. Entretanto, ocorreu corrosão com valores inferiores a 0,4%, onde o conteúdo de cloreto não era uniforme.

O código norueguês, NS 3420-L, permite um teor de cloreto de 0,6% para concreto armado fabricado com cimento Portland normal, mas apenas 0,002% de íon cloreto para concreto protendido. (ACI222R -1)..

Segundo Hailong, Ye et al (2016, p. 457 – 463):

O processo de penetração de cloretos em concretos expostos a um ambiente cíclico de secagem-umedecimento e carbonatação foi caracterizado experimentalmente. A fim de melhor representar a utilidade do concreto, testes de penetração de cloreto foram realizados em concreto com vários níveis de carga de flexão e a adição de materiais suplementares (ou seja, escória de alto-forno e cinzas volantes com baixo teor de cálcio). O resultado mostra que o perfil de penetração de cloretos no concreto é resultado de múltiplos mecanismos de deterioração interagindo e depende das propriedades e do estado de tensão do próprio concreto na região não carbonatada. A adição de materiais de cimentação suplementares torna o concreto mais vulnerável aos movimentos de cloreto induzidos pela carbonatação devido à sua menor quantidade de portlandita. A maior magnitude da carga de flexão resulta em maior teor de cloreto no concreto, provavelmente devido à formação de algumas microfissuras.

Jun Liu et all (2017, p. 217 – 225) avaliar os efeitos da carbonatação no perfil de cloreto, capacidade de ligação de cloreto e coeficiente de difusão de cloreto e mostrar que a carbonatação afeta marcadamente o perfil de cloreto, reduz a capacidade de ligação de cloreto e também acelera a taxa de difusão de cloreto.

2.7. Corrosão no concreto armado

Fusco (2008) afirmava que as armaduras do concreto estão protegidas da corrosão pelo fenômeno da passivação criada pela alta alcalinidade do interior do concreto criada pela água existente nos poros que têm pH acima de 12,5.

Mas, o concreto, embora sólido como uma rocha contém poros que permitem a difusão e movimentação de gases e líquidos pelo seu interior e microfissuras que facilitam acesso de agentes agressivos do meio presentes no ambiente externo ao metal e, assim surgem patologias que podem diminuir a vida útil deste material composto.

Habitualmente não se pensa no concreto como um falso sólido, mas é. Por ter micro poros e microfissuras que a corrosão da armadura inserida no interior dos elementos estruturais pode ocorrer e a uma das mais perniciosas para a durabilidade das estruturas.

Na preparação do concreto coloca-se além da quantidade de água necessária para que possam ocorrer as reações químicas que ocorrem na face de pega necessárias para transformar cimento Portland, água, areia e brita em concreto, coloca-se um pouco mais de água para que se possa ter trabalhabilidade no lançamento nas formas e que possa haver o envolvimento da armadura. Esta quantidade de água que não faz parte da matriz cimentícia pode migrar para superfície e eventualmente evaporar deixando vazios no interior do concreto. Isto é particularmente danoso quando não se faz a cura adequada.

Bertolini (2017, pg 31) assim descreve os materiais porosos usadas nas construções:

Os materiais porosos, como os tijolos ou o concreto, têm uma microestrutura caracterizada pela presença de um sistema de poros de várias dimensões, através dos quais podem penetrar as substâncias presentes no ambiente. O transporte de substâncias gasosas ou líquidas está frequentemente na base dos fenômenos de degradação que caracterizam estes materiais.

Assim, no concreto armado, dependendo do tempo, das qualidades do concreto, das condições de trabalho e da interação com o ambiente, pode ocorrer as reações que

podem favorecer, em mais ou menos tempos, como mais ou menos intensidade a corrosão da armadura.

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, na maioria das vezes, metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos conforme Gentil (1994, pág., 1) e é também um processo espontâneo, pois o metal tem necessidade de voltar para seu estado de menor energia e, portanto, mais estável. SOUSA (2018).

Cabral (2000) alerta que a corrosão da armadura provoca a perda de aderência aço-concreto e redução da seção transversal das barras de aço que pode levar a estrutura ao colapso.

A corrosão agride a armadura causando perda de massa e resistência, o concreto pelas manchas e fissuração por tensões internas devido à expansão dos produtos da corrosão e a interface aço-concreto inabilitando a transferência de esforço. (ROSEMBERG et ali, 1989, GONZÁLEZ et ali, 1996) citados por CABRAL (2000).

Há vários tipos de corrosão dos metais. Pazini (2010) cita os seguintes tipos: por erosão, por turbulência, com cavitação, intergranular, sob tensão, em frestas e galvânica.

A corrosão na armadura do concreto geralmente ocorre a corrosão generalizada, que Gentil (1994) prefere chamar de corrosão uniforme, e a corrosão pontual ou por *pite*.

Fusco (2008) descreve duas formas de corrosão da armadura: a corrosão generalizada devido a carbonatação, a ação de cloretos e a lixiviação do concreto e, de forma localizada nos cabos de proteção na forma de corrosão sob tensão e pela fragilização pelo hidrogênio.

Para Giudice (2016) a corrosão eletroquímica, que é a forma mais frequente de corrosão metálica se produz com o transporte simultâneo de eletricidade através do metal e do eletrólito.

Pazini e Meira (2013) também informam que “A corrosão é um fenômeno que na maioria das vezes, é de natureza eletroquímica” e que forma uma pilha eletroquímica de corrosão (Figura 2.7.1) com um ânodo onde há oxidação do metal e um cátodo onde “os elétrons gerados na região anódica (redução); uma diferença de potencial entre ambos sendo o ânodo mais eletronegativo”; o aço como o condutor metálico por onde a corrente elétrica passa e uma ligação externa caracterizada pela condução iônica através do eletrólito

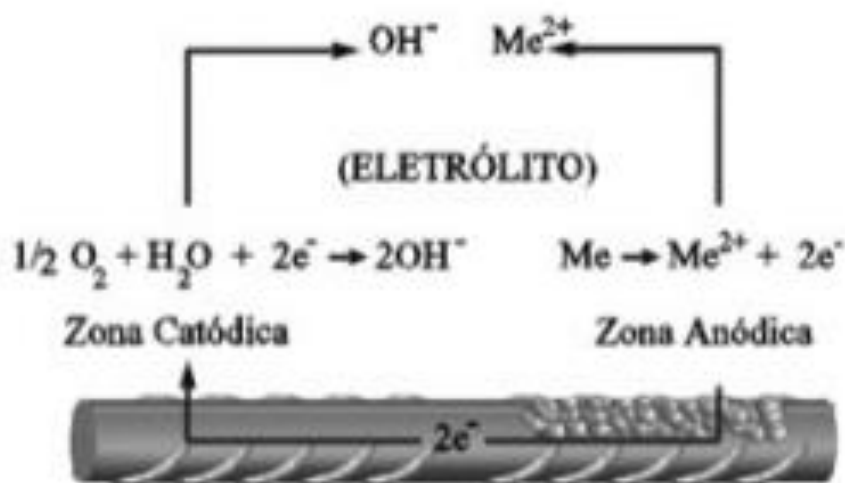


Figura 2.7.1. Pilha de corrosão na armaadura do concreto (Pazzini e Meira, 2013).

“O mecanismo da corrosão de aço no concreto armado é eletroquímico, tal qual a maioria das reações corrosivas em presença de água ou ambiente úmido”. HELENE (1986, pag. 2).

“A corrosão do aço no concreto armado é um processo eletroquímico, o qual envolve a transferência de cargas (elétrons) de um elemento a outro através de um meio líquido (eletrolítico) e a manifestação da corrosão se dá sob a forma de expansões, fissuras e destacamento do concreto de cobertura”. Araújo (2009).

A corrosão do aço no concreto é um processo eletroquímico; isto é, envolve a transferência de carga (elétrons) de uma espécie para outra. Para que uma reação

eletroquímica ocorra (na ausência de uma fonte elétrica externa), deve haver duas reações de meia célula - uma capaz de produzir elétrons (a reação anódica, a oxidação do ferro, [Fe], para formar íons ferrosos) e outra capaz de consumir elétrons (a reação catódica, a redução de oxigênio para formar íons hidroxila, [OH⁻]). Quando as duas reações ocorrem em locais amplamente separados, elas determinam uma macrocélula; quando elas ocorrem próximas umas das outras, ou essencialmente no mesmo local, são denominadas microcélulas. (ACI 222R-01). As microcélulas ou micropilhas são mais ativas e as principais responsáveis pela manutenção do processo de corrosão no concreto armado. (Cabral, 2000).

As micropilhas de corrosão são pilhas que ocorrem entre duas áreas em condições elétricas diferentes, entre as zonas anódicas e catódicas. Cabral (2000). A corrosão induzida pelas micropilhas é modesta devido à alta resistividade do concreto. Em geral, somente em concreto com alto teor de umidade e elevada presença de cloretos pode aumentar a velocidade da corrosão no anodo (área ativa da pilha), segundo Bertolini (2017).

Fusco (2008) apresenta uma situação em que o elemento estrutural tem parte sujeita às intempéries e parte está protegido, como uma viga de concreto aparente na fachada e é rebocada na parte interna da edificação. Isto forma uma macrocélula de corrosão. Figura 2.7.2.

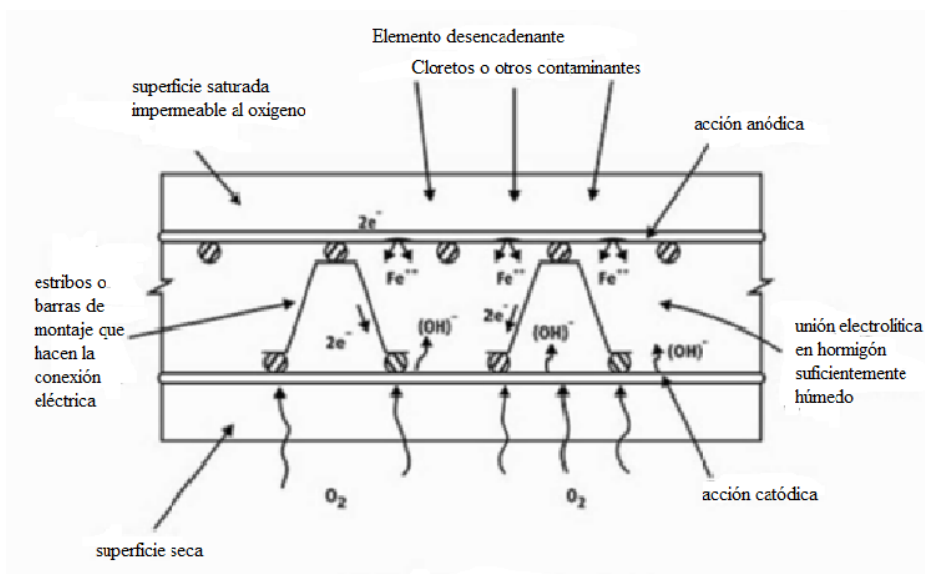


Figura 2.7.2. Corrosão na armadura do concreto por macro pilha. Fusco (2008).

Após a iniciação do processo corrosivo os produtos da corrosão (óxidos e hidróxidos de ferro são depositados na interface do concreto com a barra de aço. Como são muito expansivos geram tensões que fissuram e expulsão a camada de cobrimento da armadura. “Isto resulta na deterioração progressiva do concreto”. (Song e Saraswathy, 2007).

O processo de reação eletroquímica exige que haja um condutor metálico que irá sofrer o desgaste, um ambiente úmido que forme uma solução eletrolítica, o oxigênio e uma diferença de potencial entre dois pontos do condutor.

No concreto armado o aço CA 50 ou CA 60 que forma armadura que permite o concreto ser usado como material estrutural pois suporta os esforços de tração e torção que advém do peso próprio e das cargas eventuais e permanentes, constitui o condutor da corrente elétrica da pilha formada, juntamente com o eletrólito constituído de hidróxido de cálcio e água que possa estar no interior do concreto. O oxigênio pode penetrar se houver fissuras ou poros, ou seja, se o concreto tiver baixa impermeabilidade a gases. A diferença de potencial elétrica pode surgir por diferenças de aeração, de umidade, de temperatura, como por exemplo, pilares que têm partes abaixo do solo e parte acima do solo, e, também por diferenças de tensões devida aos esforços gerados pelas cargas. Correntes de fuga e junção de materiais diferentes, formando pares galvânicos, são citados por Neville (1997) como possibilidades de formação de células de corrosão.

Há outras possibilidades para gerar diferença de potencial elétrico nas estruturas de concreto armado, por exemplo: diferenças de temperatura entre a parte externa de uma viga que está exposta ao sol e a parte interna no interior de uma sala refrigerada, diferença umidade entre a face superior da laje recebe as águas pluviais, a face inferior está seca, por diferença de tensão devido a distribuição das cargas, ou pode surgir devido à diferença de composição já que o aço é uma liga de ferro e carbono e aditivos.

Os metais, na natureza, estão em forma de óxidos, carbonatos, silicatos, entre outras combinações, que são as formas de menor energia e mais estabilidade. Ao serem

extraídos dessas combinações recebem energia e ficam com elétrons livres que podem formar pilhas num processo eletroquímico espontâneo, daí o surgimento de zonas anódicas e catódicas. RIBEIRO, (2018).

O aço é basicamente uma liga de ferro e carbono está termodinamicamente num nível mais alto em relação à forma como o minério de ferro é encontrado na natureza. “Então, o processo corrosivo nada mais é do que a perda desta energia, com o consequente retorno do produto metalúrgico ao seu estado inicial como matéria prima. Isto explica, portanto, a espontaneidade das reações de corrosão” de acordo com Gentil (1996), citando por CABRAL (2000, P.7).

A reação se inicia espontaneamente com a formação de uma semicélula quando o ferro cede para elétron para o meio forma-se uma zona anódica. A migração do elétron através do ferro vai leva-lo a interagir com as moléculas de água se houver e, reagindo formará outro íon, com carga negativa que é a hidroxila. Esta será atraída pelo anodo formado e migrará através do eletrólito. Está formada uma pilha elétrica que irá desgaste no metal, ou seja, irá corroer.

Esquemáticamente está ilustrado na Figura 2.7.3.

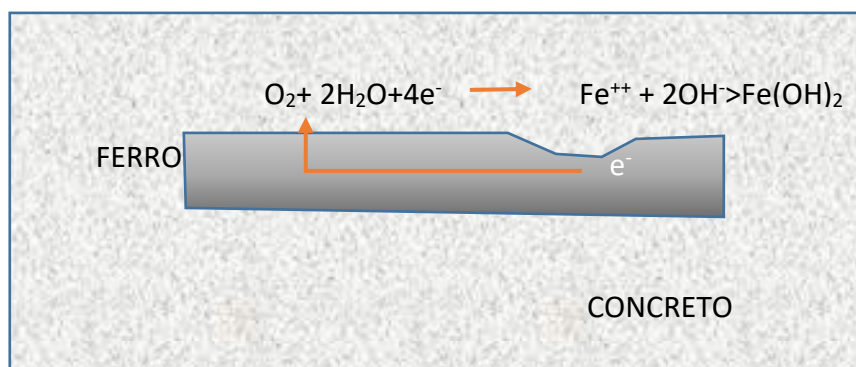


Figura 2.7.3. Corrosão na armadura do concreto

Com a saída do elétron, a região se oxida e se torna mais ácida, diminui o pH. A região que recebe o elétron se reduz, se torna mais alcalina, aumenta o pH.

O aço da armadura do concreto se desgasta na região que tem menos oxigênio, que é o anodo e não se desgasta no catodo onde há maior disponibilidade de oxigênio.

Ainda segundo Giudice (2016), a corrosão eletroquímica é na verdade uma rede de pilhas galvânicas em curto circuito dispostas sobre a superfície do metal e que a reação catódica é mais lenta do que a reação anódica, por isso ela controla a velocidade da corrosão.

Bertolini esclarece que a “corrosão na superfície dos metais em contato com ambientes úmidos ocorre por meio de um processo eletroquímico” como está ilustrado na Figura 2.7.4 criada por Pedeferi (2003) e citada pelo referido Bertolini (2017. 3. Ed. pg 50).

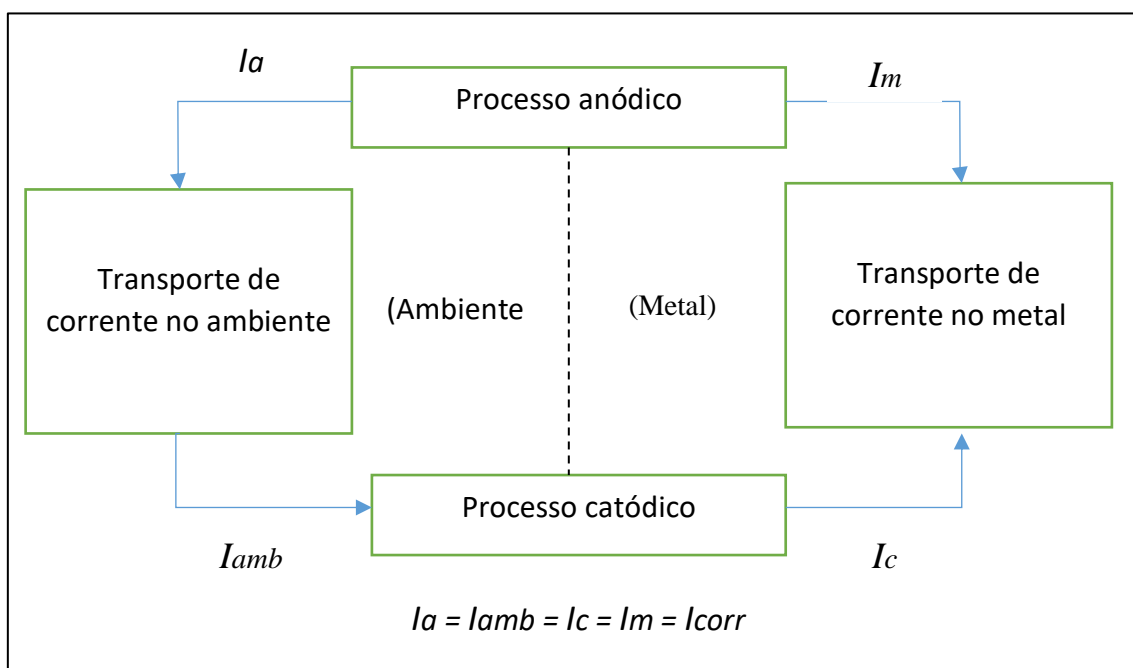


Figura 2.7.4: Esquema do processo de corrosão eletroquímica (Pedeferi, 2003 citado por Bertolini, 2017)

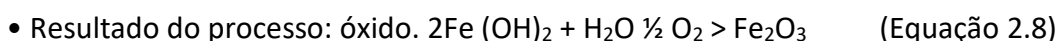
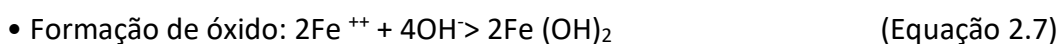
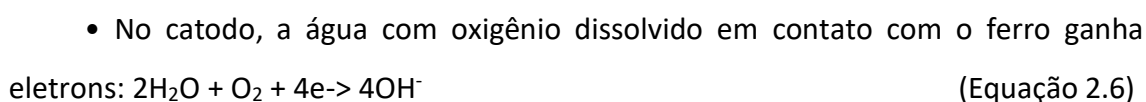
Bertolini (2017) explica os quatro processos que ocorrem na reação eletroquímica:

- Reação anódica no metal, que forma produtos expansivos devido a corrosão e libera elétrons no metal
- Reação catódica ocorre no eletrólito, fora do metal, e consome os elétrons, que reagem com as moléculas de água disponíveis, formando íon hidroxila com carga negativa.

- Corrente eletrônica pelo metal
- Corrente iônica pelo eletrólito em contato com o metal.

Essas correntes, *I_a* corrente anódica, *I_{amb}* corrente do ambiente, *I_c* corrente catódica, *I_m* corrente no metal e *I_{corr}* corrente de corrosão são todas iguais, ou melhor, é uma só, aqui destacadas para efeito de explicação do fenômeno.

As reações eletroquímicas segundo inúmeros autores (Helene, 1986; Gentil, 1994; Helene, 2003; Söylev e Richardson, 2006; Bertolini, 2017; Maldonado e Carrasco, 2016; SOUSA, 2018) citados por Cabral 2000, têm o seguinte desenvolvimento quando não há a presença de cloretos:



A ferrugem simplificada pode ser expressa pela Equação Fe_2O_3 porém podem ocorrer também como $2Fe(OH)_2$ que é um hidróxido ferroso pouco solúvel, $FeO \cdot H_2O$ óxido ferroso hidratado, $2Fe(OH)_3$ hidróxido férrico muito expansivo ou $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ óxido férrico hidratada também muito expansivo. (Helene, 1996; Ribeiro, 2018).

Quando há a presença de cloretos as equações ficam:



- Nota-se que o cloreto (Cl^{-}) primeiro combinou-se com o ferro (Fe^{+++}), resultando $FeCl_3$ e água. Este cloreto férrico reage com a hidroxila (OH^{-}) gerando ferrugem [$Fe(OH)_3$] e, no fim, o íon cloreto ficou livre novamente para novas reações e, é por esta razão que o ataque por cloretos é tão intensa.

Ribeiro (2018) explica que as zonas anódicas e catódica estão espalhados pela superfície das barras do aço da armadura, que as reações eletroquímicas criam íons ferrosos e hidroxilas que se difundem na superfície do metal. Em seguida, estas duas substâncias juntam-se formando uma terceira substância, que é pulverulenta e expansiva conhecida como ferrugem, capaz de criam pressões internas que resulta em fissuras na camada de cobrimento em concreto.

A ferrugem (Fe_2O_3) é, portanto, o resultado do processo da corrosão eletroquímica que ocorre a partir da perda da proteção natural da armadura pelo cobrimento do concreto pode ocorrer através de diversos mecanismos sendo preponderantes a despassivação por carbonatação e por ação dos íons cloreto. HELENE (2014).

Ocorre que a ferrugem (Fe_2O_3) é muito expansiva, com água pode upar um volume de quase sete vezes o volume original da barra de aço. (ACI 222R 2001; RIBEIRO, 2018).

Uma expansão de tal magnitude gera tensão internas capazes de superar a resistência do concreto à tração que é muito baixa. Segundo muitos autores está tensão pode chegar a 15 MPa. A norma brasileira NBR 6118:14 após considerar os resultados de três ensaios diferentes para a determinação da resistência do concreto à tração, chega a resultado próximo de 10% do valor da resistência caraterística à compressão. Desta forma, se pode prever que para um concreto resistir à força gerada pela expansão da ferrugem o mesmo terá de ter pelo menos um Fck de 150 MPa, que é vinte vezes a resistência do concreto utilizado atualmente nas edificações usuais.

2.8. Inibidores de corrosão

Um bom concreto é a melhor proteção para o próprio reforço de aço, porém, a agressividade do ambiente impõe desafios para garantir a durabilidade do principal material de construção, que está sujeito a fissuras por causas internas e externas, além de tensões devido às cargas que deve suportar, pois esta é a sua função. Por isso, é importante adotar medidas extras de proteção, como o uso de inibidores de corrosão. Lourenço e Souza (2018).

Os inibidores de corrosão podem reduzir a taxa de corrosão sem alterar a concentração de agentes corrosivos, como apontam Söilev e Richardson (2006). Segundo Lourenço e Souza (2018) os mais utilizados são os nitritos (inorgânicos), aminas e alcoolaminas (orgânicas), adicionadas ao concreto que atuam como inibidores anódicos, catódicos ou mistos que atuam por absorção, por formação de filme ou passivação induzida e que, em estruturas existentes, os inibidores podem ser utilizados em argamassas de reparo, aplicadas na superfície ou vazios no concreto.

Existem também inibidores de corrosão aplicados na superfície do concreto que, se aplicados como tinta, migram como vapor pelos poros do concreto e aderem ao aço por atração iônica, formando um filme monomolecular.

Os inibidores anódicos e catódicos na forma de tinta aplicada na armadura têm sido amplamente utilizados em reparos, devido a sua facilidade de aquisição, aplicação e baixo custo.

Com base nas recomendações RILEM 124 - SRC, Bertolini (2017) lista quatro princípios para controlar a taxa de corrosão em concreto armado, que são:

- interrompa o processo anódico por:
 - Repassivação do ferro, removendo concreto contaminado carbonatado ou clorado e refazendo-o com argamassa ou concreto alcalino;
 - Revestimento de reforço;
 - Proteção catódica de reforços, por corrente impressa.

- bloqueie a corrente elétrica:
 - Aumentando a resistividade do concreto reduzindo a umidade interna, através da aplicação de hidro-repelentes. Ressalta que a taxa de corrosão em concreto carbonatado é irrelevante em ambientes com umidade relativa abaixo de 70%.

Sobre a interrupção do processo catódico, o referido autor afirma que as técnicas existentes não são confiáveis quando a estrutura está exposta ao meio ambiente porque há sempre oxigênio no concreto, mesmo naqueles que são revestidos e que a única forma de evitar a presença de oxigênio está em estruturas permanentemente submersas em água.

Além disso, a norma EN ISO 8044: 2020 define inibidores de corrosão como produtos que, quando usados corretamente, podem retardar a taxa de corrosão sem alterar a concentração do agente corrosivo.

A indústria oferece produtos inibidores preventivos capazes de interromper a corrosão nas armaduras de concreto que podem ser adicionados na preparação do concreto ou aplicados na superfície do concreto que podem migrar por difusão ou capilaridade para a armadura ou adicionados em argamassas e grautes para reparos. Lourenço E Souza (2018).

Os inibidores podem ser catódicos, anódicos ou mistos e atuam por absorção, como bloqueadores para a formação de um filme passivo sobre o metal e por passivação do metal, estabilizando a camada passiva. Elsener (2001), (2002) citado por Lourenço e Souza (2018).

Inibidores à base de nitrito têm sido usados para prevenir a corrosão, e o nitrito de cálcio $\text{Ca}(\text{NO}_2)$ é altamente dependente da razão $\text{CL}^-/\text{NO}_2^-$, que é difícil de determinar. No entanto, é crescente o uso de novos inibidores de ação anódica e catódica (mistos) à base de aminas e alcanolaminas. A amina remove produtos de corrosão e cria uma camada protetora na armadura. São chamados de MCI (Migratory Corrosion Inhibitors) que, por sua capacidade de migrar na forma líquida ou vapor, se difundem de acordo com a Lei de Fick e por terem uma atração iônica pelo ferro maior que a água, os cloretos e o oxigênio formam uma molécula monomolecular formando uma película protetora na barra de aço. Por ser adsorvido ao aço a uma profundidade maior que o cloreto, ele desloca o cloreto que protege o metal. Pode ser adicionado ao concreto durante a preparação ou como tinta na superfície do concreto endurecido.

Andrade e Alonso, 1990 citados por Cabral (2000) esclarecem que quando o nitrito é adicionado ao concreto, inibe a ação de cloretos, da carbonatação e reduz a taxa de corrosão. Isso se deve à redução do teor de ácido dos cloretos devido ao fato de os nitritos consumirem muitos prótons, inibindo a formação de corrosão localizada ou pitting, como explica Galvele (1979), além de auxiliar na formação do filme passivador, segundo Villenur e Barbosa (1998).

O nitrito, além de inibir a corrosão, deve alterar a microestrutura da argamassa e do concreto, tornando-a mais densa e menos porosa, pois Lima (1996) notou uma redução na absorção de água por imersão no concreto com a adição de 2% a 4% de nitrito. Referem-se aos nitritos que foram adicionados no concreto. O nitrito cria uma barreira aos elétrons na região do ânodo e ao zinco através de sua atividade galvânica, tornando-o um ânodo de sacrifício e deixando o aço como cátodo. Cabral (2000, p. 87).

Cabral (2000, p. 87) ao estudar a argamassa com nitrito conclui que "provavelmente, além de inibir a corrosão, o nitrito de sódio altera a microestrutura das argamassas e do concreto, tornando-os menos porosos" e com menor índice de absorção. Para este autor, isso pode ser reforçado pela investigação de Lima (1996), que demonstrou ter havido redução na absorção de água e no índice de vazios em concretos modificados com adições de nitrito de sódio e pode justificar um aumento do valor médio da resistência ôhmica da argamassa com nitrito.

Além destes inibidores, existem os inibidores inorgânicos, inibidores de fosfato e lama vermelha (da bauxita) e compostos orgânicos e inorgânicos.

Também estão disponíveis outros inibidores anódicos, como os ânodos de sacrifício galvânicos formados por peças de zinco encapsuladas com argamassa de alta alcalinidade ($\text{pH} > 14$) segundo a norma ASTM B, os quais podem acoplar-se às barras de aço com uma vida útil de mais de 10 anos. Estes ânodos evitam a corrosão na interface de reparação com o resto da estrutura.

Existem inibidores que utilizam tintas com partículas de zinco dispersas pelo veículo da pintura, geralmente à base de epóxi e facilmente aplicadas na forma de tinta blindada, formando uma barreira física contra a carbonatação e a entrada de cloretos.

Todos os inibidores reduzem ou até bloqueiam a taxa de corrosão, contribuindo para prolongar a vida útil da estrutura, principalmente as isentas de cloretos, pois o zinco tem um potencial de corrosão maior que o ferro e enquanto houver contato entre eles, só haverá corrosão sobre o zinco até o seu consumo total, e disso não há dúvidas.

Por fim, a proteção catódica por corrente impressa garante o reforço contra a corrosão, mas não é viável para estruturas de edifícios em geral, portanto não faz parte do escopo deste trabalho.

2.9. Considerações

A corrosão nas estruturas de concreto armado de edifícios é um processo eletroquímico, no qual as células de corrosão se forma de forma espontânea quando o concreto se carbonata ou por ação de íons, especialmente os cloretos.

A intensidade e velocidade da corrosão depende das características físicas e químicas do concreto, das tensões devidos aos esforços internos e externos, da espessura e compacidade da camada de cobertura das armaduras, do grau de agressividade do meio ambiente e da presença ou ausência de revestimentos adicionais como reboco e pintura.

É mais comum as estruturas de concreto armado usuais sofrerem da corrosão causada pela carbonatação resultando em corrosão lenta e uniforme e, a corrosão devido os cloretos são mais intensas e mais rápidas, porque os cloretos têm um raio atômico muito pequeno e quebram o filme passivo sobre o ferro e não se consomem nas reações e induzem permanentemente o processo.

Os cloretos podem ser colocados premeditadamente no concreto pelo uso de certos aceleradores de pega, entretanto este procedimento está em desuso, portanto, em geral, os cloretos chegam à armadura, à forma, à areia, concreto fresco durante a construção da obra, através da maresia levados pelo vento nas zonas litorâneas ou são adsorvidos pelas superfícies de concreto armado aparente.

3. RECUPERAÇÃO HABITUAL E NORMATIZADA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

3.1. Introdução

Os reparos estruturais são necessários quando ocorre algum dano na estrutura causados por diversos agentes físicos como sobrecargas, choques, recalques no solo, erosão, cavitação ou pode ter origem química como a carbonatação do concreto, a reação álcali-agregado, formação de etringita tardia ou por causa biológica pela ação de bactérias.

A recuperação tem que ter em conta as prováveis causas da patologia, que são muitas, no entanto, este trabalho centra-se na recuperação estrutural provocada pela carbonatação e ataque de cloretos, que são as duas principais causas da maioria dos problemas nas estruturas dos edifícios.

As estruturas, por estarem inseridas no meio ambiente, sofrem transformações devido às intempéries e por serem construídas com materiais transformados da natureza por processos industriais e metalúrgicos, tendem a retornar a um estado de menor energia. Da mesma forma, o papel da engenharia é manter ou recuperar os materiais para que possam realizar as juntas para os fóruns escolhidos.

Monteiro et al (2017) citado por Souza e Ripper (1998) cita que além das causas mecânicas, físicas, químicas e biológicas, falhas de projeto, execução e manutenção, existem causas econômicas, poluição ambiental, entre outras que contribuem para a degradação das edificações, pois precisam ser preservados.

Bertolini (2017) recomenda que as estruturas de concreto armado sejam restauradas sempre que a degradação do concreto ou armadura tiver corroído e cita diversos institutos que tratam dessa questão, como o Comitê Técnico Rilem, 1994; Série EM 1504; Estabilização da Pesquisa em Construção, 2000; Instituto Americano de Concreto, 1996.

O novo código ACI-562 enfatiza o desempenho em vez de requisitos prescritivos, incentiva a criatividade e flexibilidade, promove a inovação e novos materiais, estabelece parâmetros para aumentar a segurança da vida (segurança equivalente), prolonga a vida útil e busca alternativas sustentáveis e economicamente viáveis. (ACI-19, 2016).

A norma portuguesa NP EM 1504: Produtos e Sistemas para Protecção e Reparação de Estruturas de Betão, incorpora as principais recomendações feitas por diversas instituições europeias destinadas à reparação e protecção das estruturas de concreto armado, incluindo definições, especificações de produtos, métodos de ensaios, controle de qualidade e verificação da conformidade. A Figura 3.1.1 mostra-se a ligação das diferentes partes da norma em estudo e com a normalização externa

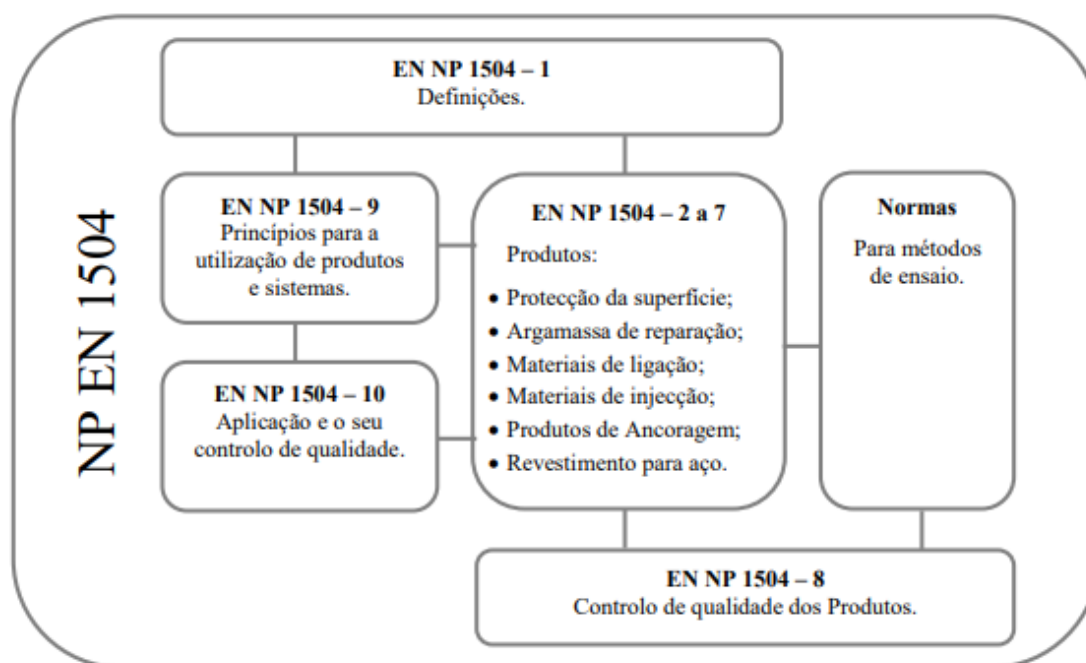


Figura 3.1.1 Relação da norma EM NP 1504 – 1 com outras normas externas

Esta norma está dividida em dez partes de acordo com suas funções. A parte 1 apresenta as definições gerais e objetivos da norma. As partes 2 até a 7, especificam as propriedades relevantes para produtos e sistemas. A parte 8 trata da avaliação da

conformidade. A parte 9 apresenta os princípios gerais para a utilização de produtos e sistemas e a parte 10, a aplicação e controle da qualidade.

Para cada um dos métodos de reparação descritos, na parte 9, são indicadas as verificações a efetuar quanto à adequação aos princípios, métodos de ensaio e normas específicas e valores limite dos resultados dos ensaios. Nela, são apresentados os requisitos para a elaboração do manual de qualidade e das intervenções futuras na estrutura, baseado na NP EM 1504, incluindo a definição dos intervalos de inspeção para verificação da eficácia das técnicas utilizadas e de necessidades futuras de manutenção. Faz referências a outras normas que deverão ser aplicadas para que todos os produtos e sistemas para obterem a certificação.

Bertolini (2017) explica que para seguir as recomendações do RILEM 124 – SRC é necessário decidir sobre as opções de restaurações e considerar os processos de degradação que possam incluir na intensidade da corrosão nas armaduras do concreto e enquadrar em uma das três condições:

1. A armadura no estado passivo, pois isto indica ausência de carbonatação do concreto e armadura sem cloretos
2. A armadura está na etapa de iniciação da corrosão, mas o concreto não está fissurado.
3. A corrosão já comprometeu a estabilidade da estrutura, ou seja, já ultrapassou o estado limite definido no projeto.

O enquadramento em uma das três situações deve ser feito através de inspeções e diagnóstico sobre o estado da estrutura que pode estar a) sem nenhum desgaste, b) com o desgaste esperado ou c) pior do que o esperado.

Em resumo, se há desgaste, deve-se fazer laudo técnico determinando as causas, a extensão, a gravidade e tendência de evolução dos danos, verificar a classe de agressividade do meio ambiente, a vida útil residual e a disponibilidade de técnicas de recuperação. Se, estiverem disponíveis, pode-se fazer estudos e análises dos projetos e dos resultados de ensaios feitos durante a construção ou nos históricos de intervenções anteriores. É o que se conhece como anamnese da edificação.

O processo tem início com uma vistoria cuidadosa da estrutura anotando-se os danos. Durante as vistorias deve-se anotar a existência de fissuras, manchas, ninhos, desagregações, descolamentos, desaprumos, desalinhamentos, deformações e a espessura da camada de cobrimento. Algumas vezes é necessário complementar com ensaios destrutivos (retirada de corpos de prova, por exemplo) e não destrutivos como aplicação de fenolftaleína, esclerometria, resistividade, ultrassom, entre outros. Em casos mais severos de desgaste, pode ser necessário uma verificação de cálculo estrutural, levando-se em conta a redução de seções de concreto ou aço, ou provas de carga. Desta forma, pode-se determinar a resistência residual da estrutura.

Feito o diagnóstico do estado da estrutura é preciso considerar a melhor estratégia a seguir, que pode ser a de não interferir, interferir para diminuir a velocidade ou interromper o processo de corrosão, reforçar ou substituir os elementos estruturais afetados.

Bertolini (2017) alerta que que “os aspectos relativos à segurança devem receber séria consideração. Deve-se avaliar os riscos para a preservação e a segurança das pessoas”, e que “colapsos localizados” podem ocorrer.

Literalmente, Bertolin (2017) afirma:

Se a análise estrutural leva à conclusão de que a estrutura não é segura, então é necessário adotar ações adequadas para torna-la segura antes mesmo de iniciar os trabalhos, levando em conta também os riscos adicionais que poderiam ser ocasionados pelo próprio trabalho de intervenção corretiva. Estas ações podem incluir intervenções de proteção, a instalação de estruturas provisórias de reforço, etc.

Completadas estas etapas preliminares, deve-se elaborar o projeto detalhado da recuperação com especificação dos materiais, da execução com controle de qualidade. Ao final, deve-se fazer a avaliação global da recuperação e estabelecer as prescrições para a manutenção.

Na elaboração do laudo técnico e na formulação do projeto de recuperação estrutural pode-se utilizar a lista de fatores-chaves indicados pelo RILEM 124 – SRC e adaptado de Bertolini (2017):

1. Quanto às causas e extensão dos danos:
 - a) Anotar a localização do dano, em croqui ou projeto com as áreas afetadas.
 - b) Determinar a causa principal da corrosão que pode ser:
 - Carbonatação;
 - Cloreto;
 - Sulfato;
 - Erosão;
 - Outros.
 - c) Em que etapa do empreendimento se originou a degradação:
 - projeto;
 - execução;
 - materiais;
 - uso;
 - outros.
2. Quanto às consequências da deterioração, será afetada a:
 - a) Estética;
 - b) Estabilidade;
 - c) Funcionalidade;
3. Quanto à urgência das intervenções, o quadro atual exige:
 - c) Ação imediata pela possibilidade iminente de colapso;
 - d) Ação imediata para interromper o processo de deterioração;
 - e) Ação a médio ou longo prazo, pelo baixo risco de colapso ou porque o processo é lento;
 - f) Medidas preventivas para evitar danos futuros.
 - g) Quanto à vida residual:

- h) O estado de deterioração é tão intenso, que não compensa recuperar;
- i) A intervenção impõe limite à vida residual.
- j) A vida residual é adequada.
- k) Aspectos econômicos:
- l) A relação de custo/benefício da recuperação é adequada?
- m) Os custos de manutenção são adequados?
- n) Quanto validade da recuperação:
- o) Os locais danificados podem ser acessados para os reparos e manutenção?
- p) Os requisitos podem ser atendidos?
- q) As técnicas, equipamentos e materiais são acessíveis?
- r) A poluição durante os reparos é aceitável?

Em relação a avaliação dos riscos, o IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias (2012), apresenta as seguintes definições na sua Norma de Inspeção predial:

GRAU DE RISCO.

Critério de classificação das anomalias e falhas existente na edificação, e constatadas em uma inspeção predial, considerado o risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio, dentro dos limites da inspeção predial. As anomalias e falhas são classificadas nos seguintes graus de riscos:

- **CRÍTICO:** Risco de provocar danos contra a saúde e segurança das pessoas e do meio ambiente; perda excessiva de desempenho e funcionalidade causando possíveis paralisações; aumento excessivo de custo de manutenção e recuperação; comprometimento sensível de vida útil.

- MÉDIO: Risco de provocar a perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação sem prejuízo à operação direta de sistemas, e deterioração precoce.
- MÍNIMO: Risco de causar pequenos prejuízos à estética ou atividade programável e planejada, sem incidência ou sem a probabilidade de ocorrência dos riscos críticos e regulares, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor imobiliário.

Combinada com esses conceitos apresentados é bastante utilizada a matriz GUT – Gravidade, Urgência e Tendência de criada por *Kepner e Tregoe (1980)* para definir as prioridades das providências exposta na Tabela 3.1.1 adaptada pelo autor

Tabela 3.1.1:
Matriz GUT adaptada de Kepner e Tragoe

Grau	Nota	Gravidade	Urgência	Tendência
Máximo	10	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação.	Imediata	Em ocorrência
Alto	8	Risco de ferimentos aos usuários, Avaria não recuperável na edificação.	Curto prazo	Na iminência de ocorrer
Médio	6	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação.	Médio prazo	pode ocorrer para breve
Baixo	3	Incômodo aos usuários, degradação da edificação.	Longo prazo	Deve ocorrer no futuro
Mínimo	1	Depreciação da edificação.	Não evoluirá	Prazo imprevisto

Concluído o diagnóstico passa-se a fase de projeto e especificações técnicas para a recuperação estrutural, considerando que reparos estruturais são muito importantes e devem ser avaliados cuidadosamente. Neste sentido, por iniciativa de Helene e Selmo (1993) foi estabelecido o projeto intitulado: Pesquisa para a Normalização de Materiais

e Sistemas de Reparo de Estruturas de Concreto com Corrosão de Armaduras. A partir daquela data muito se tem avançado no estabelecimento de métodos, procedimentos e especificações de materiais.

Atualmente, muitas pesquisas e análises comparativas sobre os materiais e argamassas próprias para este uso estão sendo feitas. Especificamente no caso de reparos localizados, particularmente, em edifícios residenciais, um ponto crítico do processo é o corte ou remoção do concreto em torno das barras de aço em processo de corrosão que causam fissuras nos elementos estruturais causando pelo aumento de volume dos produtos da reação eletroquímica, devido os riscos estruturais que envolvem, porém, está claro que o aço, uma vez despassivado pela carbonatação do concreto ou atacado por íons, sofre o processo de corrosão eletroquímica que poderá destruí-lo se não for estancado e levar a estrutura ao colapso.

Diversos autores recomendam a remoção (cortes) de todo concreto afetado pela corrosão da armadura como condição *sin ne qua non* para se obter a desejada reparação. Neste sentido, Souza e Ripper (1998, pag. 115, item 3.2.): afirmam que:

De maneira mais precisa, o corte pode ser definido como sendo a remoção profunda do concreto degradado. Esta tarefa tem como razão de ser a extirpação de todo e qualquer processo nocivo à boa saúde das armaduras. Assim, o corte justifica-se sempre que houver corrosão do aço das armaduras, já implantada ou com possibilidades de vir a acontecer, como no caso de concreto segregado, e deve garantir não só a remoção integral do concreto degradado, como também a futura imersão das barras em meio alcalino. Para tanto, o corte deverá ir além das armaduras, em profundidade, pelo menos 2 cm ou o diâmetro das barras da armadura, devendo atender à mais desfavorável das situações, caso a caso.

Andrade (1992, pag. 97) já afirma que “para se reparar a armadura do concreto armado deve-se eliminar o concreto contaminado ou deteriorado em 1 a 2 cm por detrás das armaduras corroídas a fim de se fazer a desoxidação”.

Helene (1992) recomenda que o concreto danificado deve ser removido, porém não explicita que seja totalmente removido em torno da barra afetada e nem determina um valor numérico para a profundidade do corte de concreto.

A norma europeia EM – 1504 que trata de métodos de reparo e proteção do concreto armado, avisa que a preparação do local do reparo deve ser rigorosa, que os agentes deteriorantes devem ser totalmente removidos e que o reparo deve envolver toda a barra, porém reconhece que é difícil se conseguir isto (EM – 1505. *Principle 11. Control of anodic areas*)

É ponto pacífico que na região afetada, deva-se remover ou realcalinizar o concreto carbonatado ou remover o concreto que contenha íons cloreto ou sulfato de junto das barras. Entretanto, quando se leva em conta a estrutura de forma ampla, pode ser um risco considerável fazer remoção de uma parte considerável de concreto, mesmo de por um breve período de tempo.

Souza e Ripper (1998) alerta que dependendo da extensão do corte e a capacidade resistente residual pode ser necessário escorar o elemento estrutura. Não há dúvida quanto a esta providência, porém, é preciso considerar que fazer o escoramento das vigas e/ou lajes que se apoiam num pilar específico em, por exemplo, um prédio de 20 pavimentos, ocupando boa parte da área interna da edificação é no mínimo, um enorme transtorno para os usuários, sem citar os custos financeiros, nem sempre disponíveis.

A avaliação da necessidade do escoramento é da maior importância porque a corrosão nas edificações ocorre com maior frequência no terço inferior dos pilares, como exposto por Helene (1986) na Figura 3.1.2.

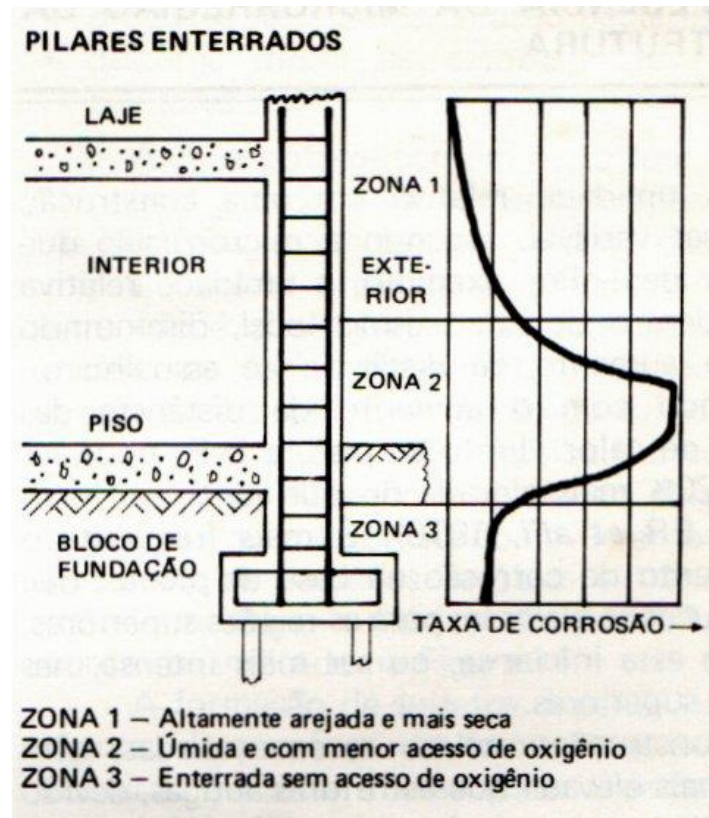


Figura 3.1.2: Corrosão em pilares. Helene (1986).

Onde:

Zona 1: Altamente ventilada e mais seca

Zona 2: Úmida e com menos acesso ao oxigênio

Zona 3: Enterrada e sem acesso ao oxigênio.

Esta região é uma das mais afetadas pela corrosão da armadura devido aos gradientes de aeração, temperatura e umidade entre a parte enterrada e a parte exposta à atmosfera e devido também a maior concentração de aço necessária para fazer o traspasse das barras e que recebe a carga acumulada.

Embora, alguns os autores, tratados e normas indiquem que se deve remover todo concreto em volta do perímetro da barra oxidada, é habitual por parte de profissionais e empresas remover apenas a camada de cobrimento quando a corrosão não é muito intensa e visualmente não se prolonga por trás da barra. Assim, a

desoxidação da barra é feita somente na parte exposta da barra, deixando o restante da barra imersa no concreto original.

Alguns afirmam que se não se limpar em torno da barra pode-se deixar uma célula de corrosão, mesmo que não veja visível nenhuma falha na interface aço e núcleo de concreto e que a matriz cimentícia esteja firmemente aderida à barra de aço e que o material esteja alcalino.

Entretanto, se o restante do concreto em contato com a barra não está carbonatado, a barra de ferro pode estar passivada porque ainda existe o filme de óxido em contato com a mesma.

Desta forma, se poderá relacionar três situações básicas em qualquer recuperação de corrosão, ilustrada na Figura 3.1.3:

- (A) Retirar parcialmente o concreto (só o cobrimento) na região afetada pela corrosão
- (B). Retirar todo o concreto em torno da barra na região afetada pela corrosão;
- (C). Retirar todo o concreto torno da barra da fundação ao teto

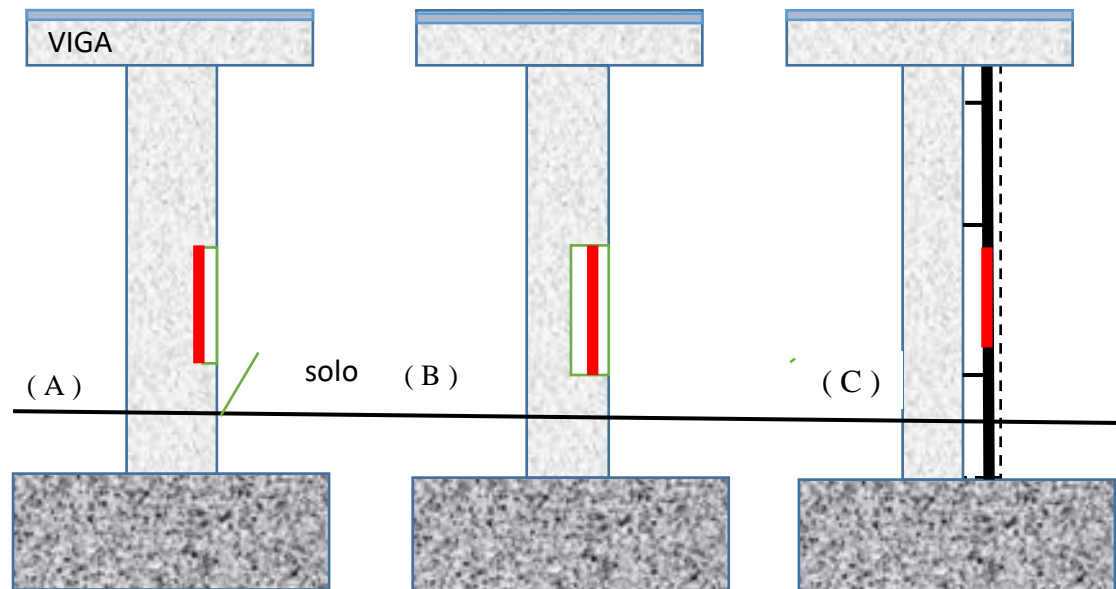


Figura 3.1.3: Opções de corte de concreto em reparações estruturais

Situação 1 (Desenhos A e C): remoção apenas da camada de cobrimento quando a corrosão na barra é superficial, de pouca intensidade e uniforme. A camada de cobrimento é de pouca espessura. O concreto antigo que fica é alcalino e não está contaminado por cloretos. A barra é parcialmente desoxidada e parcialmente protegida com inibidor de corrosão (anódico ou catódico), por pintura ou anodos galvânicos de sacrifício que podem ser ligados à barra de aço. O recobrimento pode ser feito com argamassa polimérica, graute ou argamassa projetada. Uma parte da superfície da barra, na região afetada fica em melhores condições de alcalinidade e de proteção extra pelo inibidor.

Situação 2 (Desenhos B e D): corte em torno da barra na área afetada, apenas na área afetada pela corrosão, que pode ser uniforme ou por pite. A causa pode ser a carbonatação ou ataque por cloretos. O recobrimento pode ser feito com argamassa polimérica, porém, o mais adequado é com graute devido a maior espessura de enchimento ou argamassa projetada. Nesta região a barra fica em melhores condições de alcalinidade e proteção em relação ao restante da barra que não foi afetada.

Situação 3 (Desenho B e E): corte de concreto ao longo de toda a barra. Neste caso, todo ambiente em torno da barra é renovado. Neste caso a aderência entre o núcleo de concreto com o material de reparo é o fator mais importante. É praticamente uma reconstrução. É conveniente avaliar o custo da reconstrução em relação à demolição e substituição por um elemento novo (pilar, viga ou laje).

Lembrando que a diferença de potencial no concreto armado é gerada por diferenças de alcalinidade, aeração, entre outras, então, mesmo removendo todo concreto em torno da barra na área afetada (Situação 2) pode surgir células de corrosão posteriormente entre as partes reparadas e melhoradas e o restante da armadura inserida nas partes originalmente não afetadas.

Além da remoção parcial ou total do concreto, outro fator importante é a velocidade da corrosão, por isso Bertolini (2017) define a forma das reparações da corrosão em relação a penetração da carbonatação e do ataque por cloretos em três momentos (Figura 3.1.4), a frente de ataque por carbonatação ou cloretos:

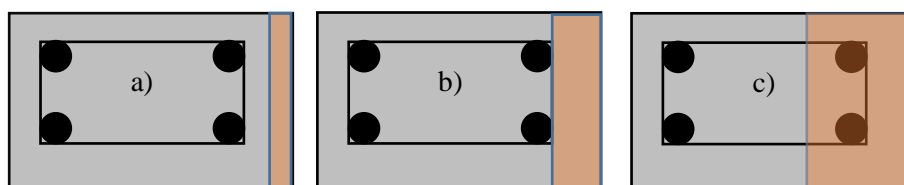


Figura 3.1.4. Ataque na posição frontal em relação com a armadura. Adaptado de Bertolini (2017)

- a). Não atingiu a armadura,
- b). Atingiu a armadura, mas ainda não há corrosão e
- c). Ultrapassou a região da armadura e já está em processo ativo de corrosão.

Em todos os casos deve-se remover o concreto contaminado, que pode ser a) uma parte a espessura da camada de cobrimento ou b) a espessura da camada de cobrimento agindo de forma preventiva ou c) além das barras de aço e, após, e refazer a seção do elemento estrutural, agindo de forma corretiva.

Embora a ação preventiva seja correta, é preciso considerar que é muito difícil convencer os proprietários e órgãos de controle de custos a investir em serviços de prevenção antes que haja uma manifestação visual generalizada dos danos e convencer ao público em geral, que a estrutura deverá perder a aparência original (devido a remoção do concreto) para se prevenir de algo que ainda não é aparente e que não se pode precisar a data exata em que aparecerá a primeira fissura com algum grau de importância.

3.2. Metodología básica de recuperação estrutural

Concluídas as etapas de diagnóstico, projeto, especificações e planejamento, conforme exigem os códigos de normas de reparos estruturais, de forma adequada ao porte da obra e a disponibilidade financeira dos proprietários, passa-se execução propriamente dita.

Os serviços de recuperação estrutural, basicamente podem seguir a seguinte sequência metodológica:

1. Serviços preliminares:
 - a. Orçamento e contrato;
 - b. Registro da responsabilidade técnica nos conselhos de classe;
 - c. Instalação do canteiro de obra;
 - d. Andaimes para acesso aos locais de trabalho;
 - e. Proteções individuais (EPI) e coletivas (EPC);
2. Demarcação das áreas a serem reparadas em cada elemento estrutural danificado;
3. Execução ou não de escoramentos parciais ou totais da estrutura, se houver necessidade;
4. Corte de concreto danificado ou contaminado, se possível deve ser removido todo material em torno das barras, desde que não provoque o colapso parcial ou total da estrutural.
5. Limpeza do local e desoxidação das barras de aço, além da área afetada, por meios mecânicos, como escovamento manual ou com equipamento

elétrico equipado com escovas de cerdas metálicas ou sempre que possível através de jatos de areia úmida para preservar a saúde dos operadores e terceiros.

6. Verificação da intensidade e extensão da corrosão em cada barra de aço e decidir pela simples desoxidação ou juntar novas barras colando com adesivo estrutural a base de resinas epóxi ou similar ou solda elétrica (de acordo com a NBR 6181:14) cuidadosamente para não alterar as barras originais com o calor excessivo da soldagem. A emenda por traspasse, embora permitida pelas normas técnicas exigem comprimentos muito grande (40 vezes o diâmetro, em geral) que a torna antieconômica e antiestética. Fixação de novos estribos se necessário pois em geral são os primeiros a se corroerem e se partirem, por que estão mais próximos da superfície do concreto e serem mais finos. Não precisam, necessariamente circular a seção do elemento estrutural, podendo serem ancorados no concreto são. Também se pode usar novos ferros em forma de grampo fixado com adesivo estrutural. O importante é garantir que não haja flambagem localizada, parcial ou total de cada barra.
7. Fazer a proteção catódica por tinta com tinta rica em zinco ou anodos galvânicos de zinco conformados com argamassa condutiva ou proteção catódica com revestimentos a base de nitritos. Quanto maior a área de pintura e maior o número de anodos de sacrifício menor será a velocidade do processo corrosivo e maior será o tempo de proteção.
8. Feito o tratamento corretivo e preventivo da armadura exposta a seção do elemento estrutural deve ser recomposta, utilizando-se concreto ou argamassas apropriadas que tenham o máximo de aderência, compacidade e capazes de restituir o ambiente de alta alcalinidade à armadura. Em geral, não se consegue reparar com concreto normal sem aumentar a seção transversal do elemento estrutural o que torna esteticamente inadequado. Porém grautes cimentícios tem resistência, compacidade e fluidez adequada para espessura acima de 30 mm. Para espessuras menores as argamassas poliméricas tem desempenho

adequado. O concreto projetado via seca, devido à incerteza da sua resistência por conta da variação do fator água/cimento alterado aleatoriamente pelo operador deve ser analisado cuidadosamente, sendo mais adequados para estruturas mais antigas quando o Fck utilizado era abaixo de 13,5 MPa.

9. A cura é indispensável quando se utiliza argamassas e micro concreto com o graute, para não se ter fissuramento por retração.
10. Acabamento do elemento estrutural, usando vernizes, revestimentos ou pinturas protetoras.
11. Deve-se considerar a aplicação de inibidores de corrosão migratórios em todo elemento estrutural, incluído as partes reparadas e as não reparadas.
12. Entrega do relatório “as built” e recomendações de manutenções da estrutura são recomendados pelos códigos de obra e podem contribuir para pesquisas de adEquação, durabilidade e futuros avanços na qualidade e eficácia de materiais e métodos de reparos.

A metodologia básica para a recuperação estrutural pode ser resumida da seguinte forma:

1. Serviços preliminares (escoramentos, andames, exames e avaliação, documentação e registros).
2. Demarcação das áreas de reparação.
3. Corte do concreto afetado.
4. Desoxidação da armadura.
5. Necessidade de reforço da armadura.
6. Aplicação de inibidor de corrosão na armadura.
7. Recobrimento de armadura e recomposição da seção do elemento estrutural em tratamento.

4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDUÇÃO DA SEÇÃO RESISTENTE EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO

4.1. Introdução

Estruturas de concreto armado muitas vezes necessitam de reparos, principalmente aquelas inseridas em ambientes com atmosferas agressivas ou que não foram executadas com materiais ou técnicas de qualidade. No entanto, com a manutenção adequada, eles podem prolongar sua permanência por muito tempo.

Inicialmente, é necessário conhecer a estrutura e as patologias que apresentam, suas causas e extensão, a forma de uso da edificação, a possibilidade de interdição parcial ou total da edificação e os custos econômicos que isso acarretará.

É importante salientar que qualquer recuperação estrutural envolve riscos, uma vez que existe a necessidade de corte de concreto contaminado, resultando na redução da seção transversal dos componentes estruturais. Portanto, é preciso avaliar criteriosamente a capacidade da estrutura para suportar os serviços sem entrar em colapso.

Segundo Cabral (2000):

A estratégia de intervenção num edifício deve incluir uma reavaliação da capacidade estrutural do edifício, ou pelo menos uma estimativa da segurança e funcionalidade estrutural antes, durante e após a reparação.

Bertolini (2017) recomenda a restauração de estruturas de concreto armado sempre que haja degradação do concreto ou orrosão da armadura e cita vários institutos que tratam dessa questão, como o Comitê Técnico RILEM, (1994), Building Research Stabilism, (2000) e, o American Concrete Institute, (1996).

A norma portuguesa NP EN 1504 incorpora as principais recomendações feitas por várias instituições europeias para a reparação e proteção de estruturas de concreto armado, incluindo definições, especificações do produto, métodos de ensaio, controlo

de qualidade e verificação da conformidade. Monteiro, P.R.; Trautwein, L.M. e Almeida, L.C. (2020).

Esta norma - EN 1504 que trata dos métodos de reparação e protecção do concreto armado, determina que a preparação do local de reparação deve ser rigorosa, que os agentes agressivos devem ser completamente eliminados e que a reparação deve envolver toda a barra, mas, Sousa (2011) reconhece que é difícil conseguir isto.

Andrade et al (1992, p. 97) afirma que "para reparar armaduras de concreto armado, o concreto contaminado ou deteriorado deve ser removido 1 a 2 cm atrás das armaduras corroídas para realizar a desoxidação". Helene (1992) recomenda que o concreto danificado seja removido, mas não especifica que seja totalmente removido ao redor da barra afetada, nem determina um valor numérico para a profundidade do corte do concreto. No entanto, Helene (2018) acredita que dominar o conhecimento do fenômeno e dos procedimentos de teste e diagnóstico pode permitir avaliações e critérios adequados para a correta execução de reparos localizados sem o risco de uma eventual migração da célula de corrosão.

Estas são recomendações que respondem à necessidade de realizar uma reparação duradoura. (Cabral, 2000).

Desta forma pode-se afirmar que os reparos estruturais são necessários e prolongam a vida útil das edificações, uns mais, outros menos, dependendo da concentração dos agentes agressivos, da preparação do local, dos sistemas e dos materiais escolhidos, porém, na prática importa muito a relação custo/benefício de cada um dos procedimentos, pois sem acerto contratual nada será feito.

É importante buscar vias seguras e, ao mesmo tempo, que seja economicamente mais acessíveis, com prazos de execução e tempos de interrupção do uso do edifício estrutural mais curtos.

Um reparo estrutural parcial, mesmo que seja imperfeito quanto à eliminação do concreto afetado, mas que pode prolongar a vida útil de uma estrutura por mais vinte anos pode ser um interessante objeto de estudo, análise e avaliação.

Andrade (1992, pag.89) aconselha que:

Frente a uma suspeita ou existência visível de corrosão de armaduras, há uma circunstância primária que deve prevalecer sobre todas as outras que é a verificação da integridade da estrutura como um todo.

Por isso é fundamental analisar a estrutura em geral e não se limitar ao elemento afetado. O reparo nunca pode ser mais importante do que a estabilidade estrutural geral. Todo reparo estrutural é uma intervenção cirúrgica, onde os materiais danificados ou contaminados são removidos e, portanto, sempre haverá uma perda momentânea de resistência que será restabelecida assim que o serviço for finalizado.

Deve-se considerar que as estruturas dos edifícios são compostas por lajes, vigas, pilares e fundações e que cada um desses elementos tem uma função e um comportamento diferente. Por isso, fazer uma corte numa laje, afeta a sua capacidade de suporte, mas é improvável que afete a segurança geral da estrutura.

A falha de uma viga afetará a laje se apoia sobre ela e pode afetar ligeiramente alguns pilares sobre os quais a referida viga se apoia. No entanto, a ruptura espontânea ou planejada de um pilar durante um reparo pela remoção exagerada de concreto contaminado pode causar o colapso da estrutura global.

Nas edificações, o local com maior incidência de corrosão das armaduras e fissuração da camada de cobertura de concreto o terço inferior dos pilares, pois nessa região há maior gradiente de temperatura, umidade, aeração, e há o dobro de barras de aço para atender a sobreposição da armadura. Em seguida aparecem os fundos das lajes e a base das vigas, principalmente nos forros do subsolo, muitas vezes em concreto aparente.

Ressalte-se que, nos pilares, o concreto é lançado a pelo menos dois metros de altura, que pode causar desagregação dos materiais constituintes e, por fim, são os pilares que estão suportando o peso acumulado de todos os pavimentos acima do nível considerado, enquanto as vigas e as lajes suportam apenas as cargas de um único pavimento.

Ao retirar o concreto ao redor das barras longitudinais de aço, mesmo que os estribos não estejam quebrados, essas barras podem flambar no concreto, pois ficarão presas aos estribos apenas pelo fio de amarração 18. Compreende-se que a renoção do concreto ao redor das barras é importante para combater o processo corrosivo mas enfraquece a capacidade de carga da coluna. A solução é fazer um escoramento para reduzir a carga no pilar, mas é preciso saber que escora apenas o pavimento térreo não resolve e escorar o prédio inteiro tem um custo muito alto, considerando o custo próprio do escoramento e da remoção e hospedagem dos moradores.

Por outro lado, eliminando apenas camada de cobertura da armadura afetada é possível dispensar o escoramento, se for considerado que a carga útil projetada para o edifício, raramente atua na sua plenitude. Além disso, o serviço pode ser executado poucos pilares concomitantemente.

Silva e Evangelista (2006) estudaram o comportamento de pilares de concreto durante o processo de reparo e verificaram em seu trabalho que, durante o processo de reparo estrutural, realizado com argamassa (à base de cimento, modificada com polímeros e fibras sintéticas), que o material de reparo resiste a uma parte da carga, mas há também uma redistribuição da carga para as demais regiões do concreto.

Em suas conclusões afirmam que (2006, p.7):

Na comparação entre os pilares, considerando os valores das cargas de ruptura experimentais, observou-se um bom desempenho de todos os pilares reparados em relação ao pilar de referência, e as cargas de ruptura dos pilares reparados tiveram uma redução máxima de 7%. Esses resultados mostram que os pilares, reparados com uma argamassa de maior resistência que o concreto, não tiveram alterações significativas nos valores das capacidades portantes. Em relação às cargas de projeto, os resultados confirmam o bom desempenho do reparo executado, pois foi capaz de oferecer uma margem de segurança em torno de 110%, ou seja, a carga de ruptura foi mais que o dobro da carga de projeto.

Outro aspecto importante é analisar o tempo que a estrutura levou para que a uma fissura devido à expansão dos produtos da corrosão na armadura surgisse na camada de revestimento. Com isto é possível calcular o tempo necessário para que a perda de massa atinja o valor limite que compromete a segurança.

No caso de colunas, na região do terço inferior de seu comprimento, onde a seção de ferro é o dobro da seção de cálculo devido comprimento de traspasse, se demorou 30 anos para romper um estribo em barras de 5 mm de diâmetro, pode calcular o tempo para que isto ocorra nas barras principais, considerando a mesma taxa de desgaste. Pode-se imaginar que o tempo comprometer a segurança da estrutura pode ser bastante longo.

Estas considerações permitem avaliar se uma intervenção que remova apenas a espessura do revestimento, que é menos ariscada do ponto de vista estrutural, pode contribuir para o prolongamento da vida útil da estrutura, especialmente quando não houver a contaminação por íons.

Sem dúvida, a desoxidação de aço em processo de corrosão é importante, mas por outro lado, uma diminuição acentuada da seção transversal de um elemento estrutural composta com um material resistente (e inoxidável) como o concreto pode aumentar os riscos de ruptura numa estrutura que embora fragilizada ainda esteja desempenhando sua função de sustentação.

Alem disso, quando o concreto é retirado profundamente dos pilares, a perda de resistência pode ser excessiva. Para isso, é necessário escorar a estrutura de forma a aliviar efetivamente a carga sobre esses pilares, sem transferir essa carga para as lajes ou vigas dos pavimentos inferiores, mas sim para o solo.

Não se pode esquecer que os inibidores de corrosão ativos como as pinturas ricas em zinco e as pastilhas com pedaços de zinco ligam-se eletricamente à barra de aço e criam uma área de proteção mesmo que o concreto não tenha sido totalmente retirado, pois a eletricidade não pode ficar só de um lado da barra, ela se espalha pela superfície.

O uso de argamassa ou graute polimérico reduz o fornecimento de umidade ou oxigênio no concreto reparado, reduzindo assim a taxa de corrosão mesmo com alguma presença de cloretos.

Para decidir sobre a extensão da intervenção na estrutura o profissional deve considerar todos os riscos e lembrar que está assumindo a responsabilidade de trabalhar numa estrutura desgastada e que é responsável pelo que possa acontecer a partir daí.

Convém lembrar que o profissional pode não pode ofender o Código de Ética do Engenheiro (CONFEA, 2002) por omissão, imperícia ou imprudência. Isto significa que o responsável técnico só assumir os serviços de recuperação estrutural se estiver preparado para a tarefa, que abrange não apenas conhecimento sobre a corrosão das armaduras, dos métodos e matérias de reparos, mas, também, de segurança estrutural, desde a avaliação das condições da estrutura e riscos, passando pelo projeto, especificações, planejamento e entrega da obra com segurança, mantendo os custos dentro do razoável e adequado ao porte da obra.

Infelizmente, já ocorreram casos em que estruturas ruíram parcial ou totalmente, por excesso de zelo na recuperação localizada. O conhecimento técnico e científico sobre o fenômeno da corrosão e de se fazer a recuperação estrutural segundo os melhores procedimentos e normalização é importantíssimo, porém, na prática, a essas deve-se somar a visão integral e sistemática e o bom senso nas tomadas das decisões na condução e direção das obras.

Diante do exposto, é razoável considerar que é relevante estudar e avaliar a eficiência e eficácia da reforma parcial do concreto afetado, como vem sendo praticado pela maioria dos restauradores, pois oferece menos riscos do ponto de vista estrutural, com tempos e custos mais adequados à realidade econômica e ao conforto dos usuários.

4.2. Corte de concreto em lajes.

Estruturalmente, as lajes estão sujeitas a flexão devido às cargas permanentes e variáveis de um único pavimento e as transmitem às vigas ou pilares que as suportam. Assim, é possível demolir uma laje inteira sem afetar a segurança da estrutura como um

todo, e isso, resulta em alívio da carga nas vigas e pilares. De fato, todo o concreto pode ser retirado de uma laje, deixando sua armadura completamente exposta sem comprometer a viga e o pilar.

Não há dificuldade em recompor ou substituir completamente o concreto em uma laje de um determinado pavimento de uma edificação e, como exemplo, pode-se citar a laje da Figura 4.2.1, (edifício em construção na Rua Barão de Aratanha, em Fortaleza) que sofreu um incêndio nas portas de madeira armazenadas no 2º subsolo). A recuperação exigiu o reforço das vigas e a laje foi refeita com nova armadura, sem afetar os demais 22 pavimentos.



Figura 4.2.1. Laje demolida e refeita após incêndio.

Nas Figuras 4.2.2 e 4.2.3 pode-se observar uma abertura na laje da tampa de um reservatório elevado na cidade de Cascavel - Ceará, provocada por um jato de água gerado por um golpe de aríete, que não afetou a estrutura do reservatório.



Figura 4.2.2. Reservatório elevado de água. Figura 4.2.3. Abertura na laje por golpe de aríete.

4.3. Corte de concreto em vigas

As vigas estão submetidas principalmente os efeitos de flexão devido as cargas atuantes. Portanto, para retirar parte do concreto é imprescindível analisar o diagrama de momentos fletores, por meio do qual será possível determinar onde o concreto trabalha em compressão e onde o concreto tem apenas a função de proteger a armadura. Nesses locais, o concreto contaminado pode ser removido e substituído sem comprometer a segurança estrutural. Estas são as áreas marcadas com T (tração) na Figura 4.3.1.

VIGA GENÉRICA

imagem ilustrativa

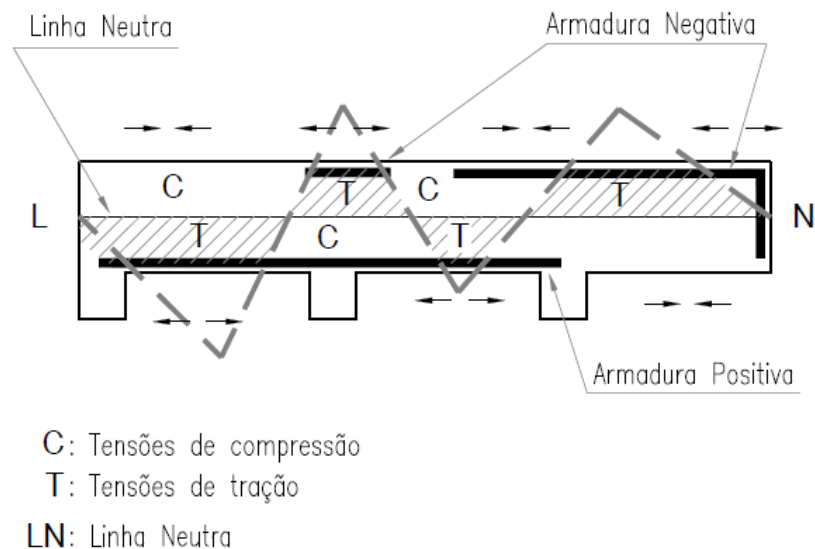


Figura 4.3.1. Regiões de vigas onde pode ser retirado, temporariamente.

Abaixo estão alguns exemplos onde o concreto foi ser removido de vigas sem grandes consequências. Em uma viga do primeiro pavimento de um prédio de seis andares na Av. Santos Dumont, em Fortaleza, o concreto foi parcialmente renovado para a passagem da tubulação de esgoto e ficou por trinta anos encobertos por forro em lambri de madeira. A edificação está localizada a menos de 1.000 metros da Praia do Futuro, em Fortaleza, que, segundo estudos realizados por Campos e Cabral (2016), possui a maior agressividade ambiental do mundo. Figura 4.3.2.



Figura 4.3.2: Remoção de concreto de uma viga para passagem de tubos de esgoto.

Na viga abaixo, na varanda de uma casa duplex na Praia de Morro Branco - município de Beberibe no Ceará, há uma tubulação de água de pvc sobre as barras de aço da armadura positiva. O cobrimento das barras de aço era uma fina camada de argamassa e tinta. Figura 4.3.3.



Figura 4.3.3. Viga da varanda de casa de Praia com tubo de pvc sobre as barras de aço.

4.4. Corte de concreto em pilares

Os pilares suportam principalmente os esforços de compressão devido aos carregamentos das lajes e vigas de todos os pisos que se encontram em cotas superiores ao nível da secção considerada, além do seu peso próprio. Neles, a tensão de compressão é distribuída pelas seções de concreto e aço. Portanto, a remoção de qualquer porção de aço ou concreto aumenta a tensão na secção residual e reduz a resistência do pilar imediatamente.

Muitas vezes a densidade do aço é tão grande que sobra muito pouco espaço para o concreto envolver as barras de aço. As figuras 4.4.1. e 4.4.2 demonstrar que a retirada do concreto em torno das barras de aço é extremamente difícil e perigoso.



Figura 4.4.1. Pilar de seção retangular. Figura 4.4.2. Pilar de seção circular.

Observa-se nestes dois exemplos que a cobertura da armadura é apenas uma fina camada de argamassa de cimento e areia, pois a proximidade das barras de aço não permite a passagem da brita.

Em um pilar genérico hipotético, com fissuras verticais de corrosão, ao remover a camada de cobrimento, pode-se encontrar os estribos podem intactos ou rompidos pela corrosão. Se estiverem rompidos, pode ocorrer flambagem nas barras verticais de aço. No entanto, ao remover todo o concreto ao redor das barras de aço, mesmo que os estribos estejam intactos, o risco de flambagem das barras verticais é maior.

Ao remover a cobertura de concreto, existe o perigo de flambagem se os estribos estiverem rompidos (Figura 4.4.3, situação 2). Ao remover o concreto em torno das barras verticais, elas ficarão soltas. Assim pode ocorrer duas situações: i) se os estribos estiverem íntegros, a flambagem das barras verticais pode ser para o interior do vão (situação 3) e, ii) se os estribos estiverem quebrados, pode ocorrer a flambagem do vão, conforme mostra a figura situação 4.

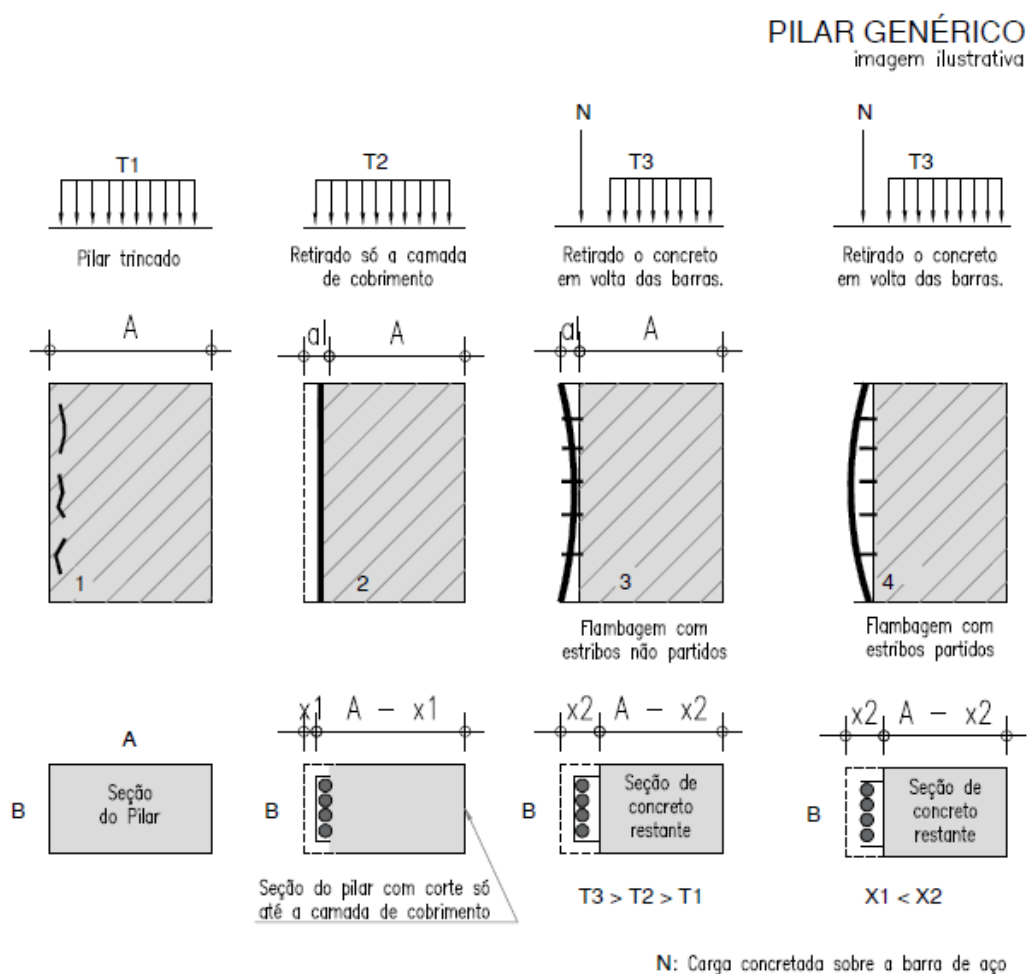


Figura 4.4.3: Opções de flambagem ao renovar o concreto em pilares.

Portanto, nos pilares, deve-se considerar que a remoção de todo o concreto ao redor das barras onde ocorreu a corrosão pode ser um risco muito alto. Resumindo, pode-se concluir que nas lajes não há dificuldade em remover e substituir todo o concreto contaminado ou carbonatado, nas vigas também é possível remover e substituir o concreto contaminado em contato com a armadura (sempre com cautela) nas áreas tracionadas pois nestas áreas o concreto não tem função estrutural, porém, nos pilares, qualquer remoção de concreto afeta a seção resistente.

Há outro aspecto a ser considerado, é a taxa de aço/concreto, que é a relação entre o peso do aço em relação ao volume de concreto, onde pode-se ter as condições de subarmação ou superarmação dos elementos estruturais. Quando há uma falha em uma estrutura normalmente armada, o concreto começa a fissurar devido às deformações causadas pelas cargas, se a armadura não conseguir conter o alongamento devido às tensões (Lei de Hooke). Em estruturas super-reforçadas, o aço não permite deformações e o concreto se esmaga abruptamente resultando em colapso estrutural sem aviso prévio.

Quando a seção de concreto é reduzida, é possível passar da condição subarmada reduzindo a seção de concreto para a condição superarmada, na qual o aço se torna predominante. Segundo Botelho (1983, p.84)), "Se a zona comprimida estiver frouxa em relação às cargas, mas a seção de aço for pequena, então esta estrutura apresentará progressivamente fissuras devido às enormes deformações do aço", que permite a tomada de providências, como alívio de carregamento, escoramento ou desocupação do edifício.

Por outro lado, afirma Botelho (1983. p. 84), "se ao invés da seção de aço solta a seção de concreto for justa, se houver uma carga além do esperado, com o crescimento da carga, chegará um ponto, no qual haverá um esmagamento inesperado do concreto, sem aviso prévio, e a estrutura entrará em colapso".

Note-se que, nos serviços de recuperação estrutural não há aumento de carga, mas sim redução da seção de concreto, o que dá no mesmo, como se ilustra na Figura 4.4.4, onde se tem a mesma carga sobre seções diferentes.

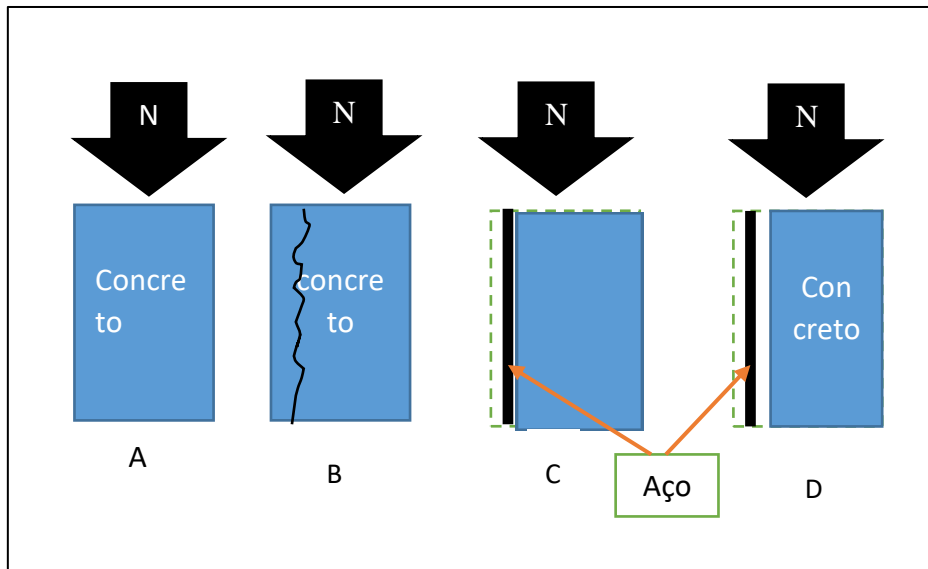
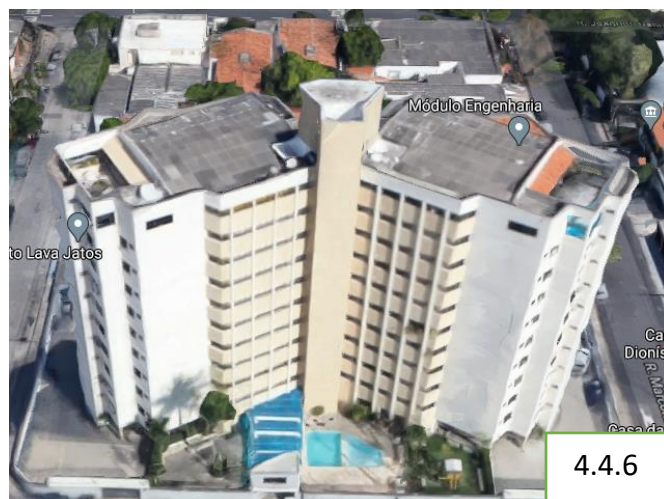


Figura 4.4.4: Quatro situações para um pilar com a mesma carga.

Em pilares, ao retirar todo o concreto que envolve as barras de aço, pode-se ter reduções de 20 a 30% na resistência do pilar. Para suportar uma redução nesta ordem, é necessário aliviar a carga e realizar um escoramento de difícil execução e de alto custo, o que na maioria das vezes inviabiliza a contratação dos serviços. Como exemplo, observe-se o pilar da Figura 4.4.5 que pertence ao edifício da situado na Rua Tibúrcio Cavalcante, em Fortaleza, mostrado na Figura 4.4.6.



4.4.5



4.4.6

Figura 4.4.5: Pilar no térreo do edifício. Figura 4.4.6: Vista do edifício.

Este pilar tem 16 ferros CA 50 \varnothing 16 mm e seção transversal de 25x50 cm, ou 1.250 cm². Se o concreto ao redor das barras fosse removido, de um lado do pilar de cada vez, se teria: uma remoção de 18,9 cm (25 - 2-1,6-0,5-2) ficando com 945 cm² (18,9x50), ou seja, uma redução de 24,4% na seção transversal do pilar. Se apenas a camada de cobertura com 2 cm fosse removida, a redução seria de 8%. Este nível de redução de resistência pode ser absorvido pela não realização carga útil prevista. Lembrando que pela NBR 6120 (ABNT, 2014), deve ser, 150 kgf/m² para edificações residenciais, que ocorre quando toda a área em todos os pavimentos está sendo utilizada com esta carga,

Nota: Não deve contar com o fator de segurança para justificar um corte excessivo ou não escorar o edifício, pois este destina-se a cobrir quaisquer não uniformidades nos materiais e outras eventualidades que podem ocorrer.

Outra forma de aliviar a carga nos pilares é escorando as lajes e vigas, mas não se deve esquecer que os pisos são dimensionados para suportar as próprias cargas, por isso é necessário diluir as cargas de um piso por vários pisos inferiores, ou levá-las para o solo.

É comum, ver-se o escoramento apenas das vigas pavimento térreo, mas isso somente alivia as cargas do primeiro pavimento, ou seja, alivia 1/Nº de pisos. Portanto, dependendo do número de pavimentos, o alívio dessa carga é insignificante, tendo apenas um efeito psicológico de segurança. Além disso, é necessário verificar a pressão sob a placa de base de cada escora.

Apenas para ilustrar, como mero exercício, considere-se um pilar de 15x30 cm de um pequeno prédio onde se usou concreto de 25 MPa. Neste caso, o concreto pode suportar apenas 250 kgf/cm² x 15 cm x 30 cm, resultando em 135 toneladas. Se forem removidos 9 cm x 15 cm de concreto para expor os ferros de um lado da coluna, que representa 30% da seção de concreto ou 40.500 kg (30% de 135 toneladas). Para compensar seriam necessárias cerca de 40 escoras metálicas por pavimento, que é caro e ocuparia um espaço importante no interior de um apartamento.

Também é necessário considerar que ao cortar parte de seções retangulares submetidas à compressão, o efeito de fluência do concreto produzido pelo aumento da pressão e o efeito da "descompactação" do concreto.

Além disso, há uma série de recomendações impostas pela NBR 6118: 13 em relação aos pilares, incluindo a seção 13.2.3 que estabelece 19 cm como dimensão mínima e 360 cm^2 como seção mínima para pilares.

O item 13.2.5 desta norma trata dos furos e aberturas permitidos nas vigas, onde estabelece que as aberturas somente estão dispensadas de verificação quando atenderem simultaneamente às seguintes condições:

- a) Furos na zona de tração e a uma distância da face de apoio de pelo menos $2h$, onde h é a altura da viga;
- b) Dimensão do furo de no máximo 12 cm e $h/3$;
- c) Distância entre as faces dos furos, no mesmo período de pelo menos $2h$
- d) Revestimentos suficientes e não seccionamento de reforços.

Esta norma estabelece os parâmetros para o projeto das obras a serem realizadas, mas, esses cuidados podem ser extrapolados para obras já existentes, pois são recomendações para que as cargas não ultrapassem a resistência dos elementos estruturais.

Portanto, a recuperação estrutural não pode ser vista apenas do ponto de vista da remoção do concreto carbonatado ou contaminado por cloretos, mas principalmente focado na manutenção da segurança estrutural.

5. MATERIAIS E MÉTODOS DA PESQUISA

5.1 Introdução

O engenheiro durante o exercício de sua profissão se relaciona continuamente com materiais e deve levar em consideração para verificar se o material pode manter sua forma e propriedades, em condições durante sua vida útil, se as propriedades exigidas podem ser alcançadas e mantidas durante o tempo de serviço, e se o material é compatível com outras partes de uma montagem e pode juntá-las facilmente. Raggiotti (2015, p. 14).

Assim, para atender ao objetivo deste trabalho, foi projetada uma pesquisa laboratorial com materiais naturais simples e corpos de prova com materiais compósitos como concreto, argamassa polimérica e argamassa cimentícia com barras de aço sem proteção e com proteção através de inibidores de corrosão a base de nitritos e zinco, na forma de pinturas.

As investigações laboratoriais foram realizadas de acordo com as normas e testes padronizados pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade de Fortaleza e no Laboratório de Materiais de Construção Civil - Laboratório Professor Afrodísio Pamplona da Universidade Federal do Ceará, conforme diagrama da Figura 5.1.1 abaixo.

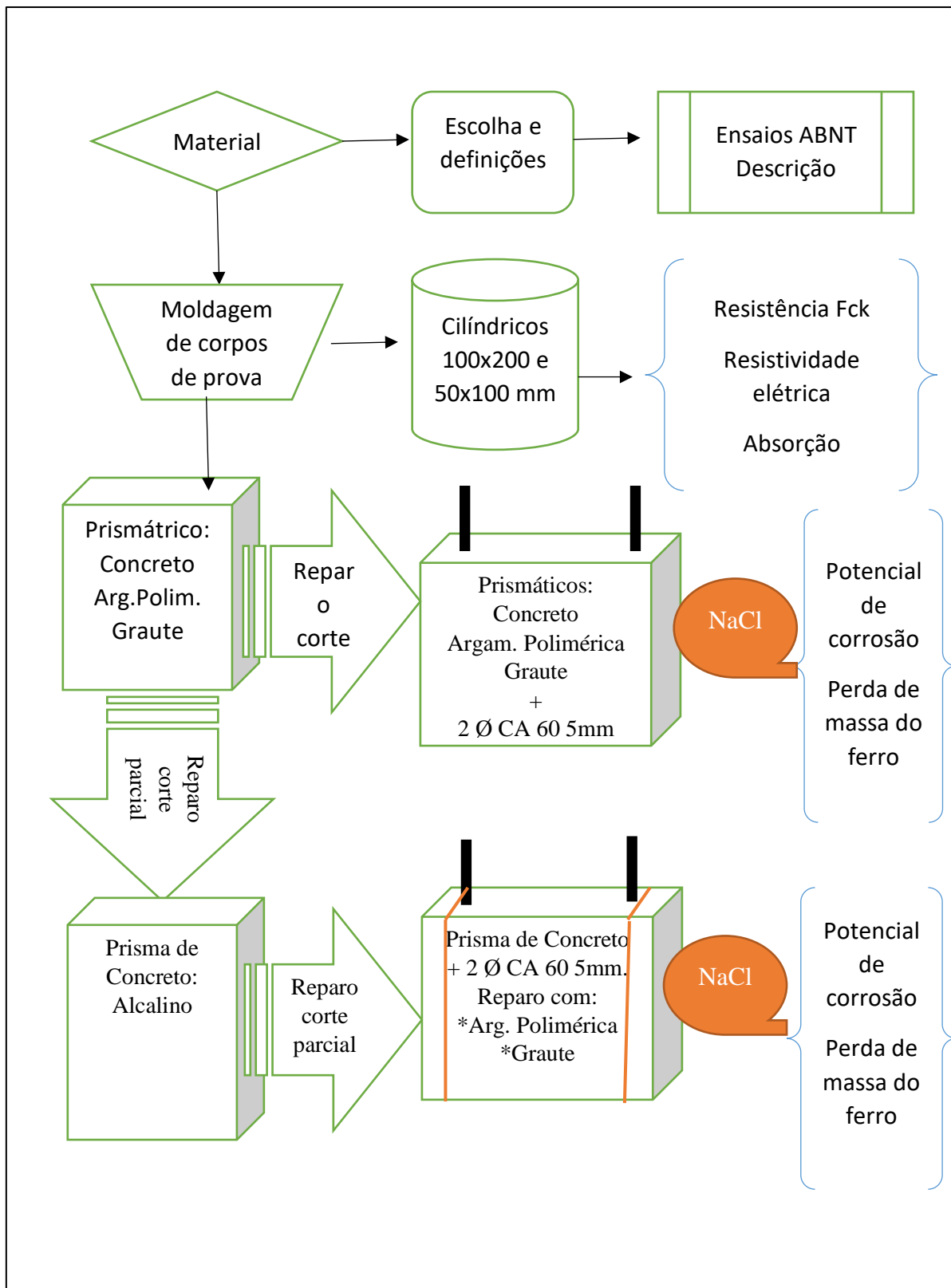


Figura 5.1.1. Diagrama de fluxo da Metodologia da Pesquisa da Tese.

Nesta pesquisa foram utilizadas:

- Corpos de prova Cilíndricos, normatizados de 100 x 200 mm e de 50x100 mm, utilizados nos ensaios para caracterizar as propriedades do concreto, argamassa polimérica e graute cimentício. Figura 5.1.2.



Corpo de prova	Ensaios	Materiais	Figura
Cilíndrico 100x200 mm	Resistência à Compressão Resistividade elétrica Migração de cloreto Velocidade pulso ultrassônico	Concreto 1:2:3 Argamassa Polimerica Graute	
Cilíndrico 50x100 mm	Resistência à Compressão Absorção por imersão Absorção por capilaridade	Concreto 1:2:3 Argamassa Polimerica Graute	

Figura 5.1.2. CP Cilíndricos para caracterizar as propriedades dos materiais.

- Corpos de prova prismáticos, 80 mm de largura, 90 mm de altura e 45 mm de espessura com 2 ferros CA 60 \varnothing 5 mm com 90 mm de comprimento para representar reparos com substituição total de concreto deteriorado. Figura 5.1.3.


Corpo de prova	Ensaios	Materiais	Figura
Prismático com 2 ferros	Medida pH com fenolftaleína Potencial de corrosão Perda de massa do ferro	Concreto Arg. Polimerica Graute Aço sem proteção Aço c/Zn Aço c/Ni	

Figura 5.1.3. CP prismáticos avaliar a corrosão no ensaios acelerado por cloreto nos reparos totais.

- Corpos de prova prismáticos, com dimensões iniciais de 60 mm de comprimento, 90 mm de altura e 45 mm de espessura sem ferro. Em seguida, foi feita a limpeza e umedecimento da superfície dos núcleos de concreto e justapostas as 2 barras CA 60 \varnothing 5 mm. Finalmente as formas foram preenchidas com argamassa polimérica ou graute à base de concreto, para representar os reparos apenas

com a remoção da camada de cobertura. Dimensões dos corpos de prova prismáticos após reparos: 80x90x45 mm. Veja a Figura 5.1.4


Corpo de prova	Ensaios	Materiais	Figura
Prismático com reparos nas duas laterais	Medida pH com fenolftaleína Potencial de corrosão Perda de massa do ferro	Concreto Arg. Polimerica Graute Aço sem proteção Aço c/Zn Aço c/Ni	

Figura 5.1.4. CP Prismáticos para avaliar a corrosão no ensaios acelerado por cloreto nos reparos parciais.

Desenho à mão livre, em perspectiva na Figura 5.1.5. À esquerda, o corpo de prova com barras de aço, mostrando os reparos. À direita, a pintura, deixando as áreas frontais livres para o ataque de cloretos.

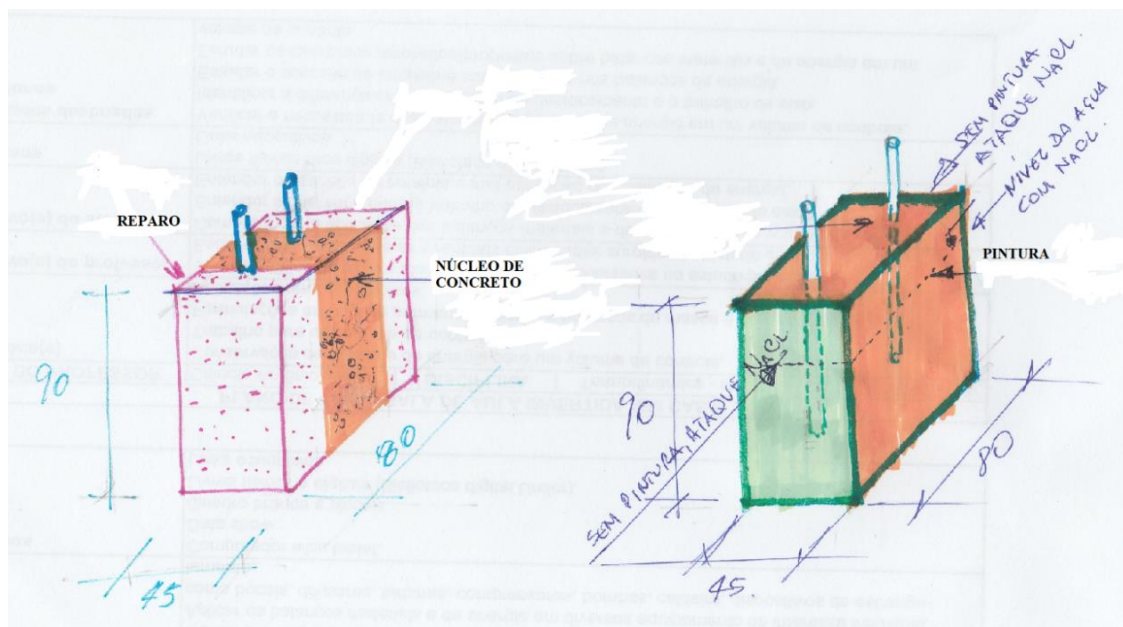


Figura 5.1.5. Croqui dos corpos de prova prismáticos com 2 barras de aço, reparos e pintura.

5.2. Materiais

Para conhecer as características físicas de materiais compósitos como concreto e seus componentes, argamassa polimérica e brita, foram realizados ensaios laboratoriais de acordo com as normas técnicas brasileiras. Com relação aos materiais industrializados como cimento Portland, aço, argamassa polimérica, graute e tintas antioxidantes, são apresentadas as fichas técnicas publicadas por seus respectivos fabricantes. Esta etapa de caracterização do material segue a sequência mostrada no Quadro 5.2.1.

Quadro 5.2.1

Materiais usados na pesquisa

Item	Material	Propiedades	Origens
5.2.1	Argamassa polimérica	Resistência à Compressão	Laboratorios de materiais de construção da UNIFOR e UFC
5.2.2	Graute	Densidade	
5.2.3	Concreto	Absorção	
•	Água	Granulometria	
•	Cimento, conforme a ficha técnica fornecida pelo Fabricante.	Resistividade Difusão de cloretos	
•	Areia		
•	Brita		
5.2.4	Aço	Resistência à Compressão	Fichas técnicas fornecidas por fabricantes
5.2.5	Inibidor anódico	Composição e campos de aplicação	
5.2.6	Inibidor catódico		

5.2.1 Argamassa polimérica

As argamassas de reparo, conforme explica Bauer (2005), são compostas por cimento, agregados miúdos e aditivos como polímeros e fibras. O que diferencia a argamassa, do graute e do concreto é sua plasticidade e facilidade de aplicação manual.

As adições poliméricas, segundo o autor, são geralmente látex poliméricos, que podem ser polímeros elastoméricos, termoplásticos ou termofixos, redispersíveis, solúveis em água ou líquidos.

A argamassa polimérica utilizada foi a MasterEmaco® S 170, uma argamassa cimentícia polimérica com agente adesivo acrílico integrado formulada para serviços de reparo estrutural em estruturas de concreto. MasterEmaco® S 170 é um produto monocomponente, pronto a usar, bastando adicionar água nas doses indicadas na ficha de produto, para obter uma argamassa de consistência tixotrópica para aplicação manual ou por pulverização com equipamento específico de argamassa. Suas características estão na Tabela 5.2.1.1 e no Anexo 3.

Tabela 5.2.1.1

Dados técnicos do MasterEmaco® S 170. Fonte: BASF, 2017.

Característica	Valor
Aspecto / Cor	Pó cinza
Base química	Cimento, areia de quartzo, resina acrílica e aditivos especiais
Relação água / produto para aplicação manual	3,4 litros de água por cada saco de 25 kg de produto. Relação água / produto = 13,5%
Espessura de aplicação	10 a 50 mm (máximo 100/camadas)
Densidade (argamassa fresca) Relação água / produto = 13,5%	2,21 kg / l (aplicação manual)
Trabajabilidade (vida útil da mistura) (25 °C / 50% RH)	35 a 40 minutos
Resistência à compressão	50 MPa.
Norma EN 12190 (4 x 4 x 16 mm). 28 dias.	

Os campos de aplicação do produto são preenchimento de reparos localizados superficiais em consistência seca (dry-pack) em estruturas de concreto armado;

reparações estruturais em obras industriais, marítimas e portuárias; realização de reparos em elementos de concreto nas condições vertical, horizontal e de fundo de lajes/vigas; remodelação de cantos vivos e outros reparos em elementos de concreto pré-moldado e reparos localizados em pisos de concreto.

5.2.2 Graute à base de cimento

O graute industrializado ou graute utilizado foi o Super Graute Quartzolit fabricado pela Weber Saint Gobain. É um produto pronto para uso que requer apenas a adição da quantidade correta de água para obter um material fluido para a cimentação de seções confinadas. É composto por cimento Portland, agregados minerais, aditivos especiais e fluidificantes. O graute à base de cimento é misturado com água na proporção de 1: 6, ou seja, possui um fator água / aglutinante de 0,17. A ficha técnica encontra-se no Anexo 3 e na Tabela 5.2.2.1

Tabela 5.2.2.1

Dados técnicos do Super Graute Quartzolit. Fonte: www.weber.com.br.

Característica	Valor
Unidade de massa	2.200 kg / dm
Resistência à compressão com 24 horas (NBR 5.739 / 07)	25 MPa
Resistência à compressão com 3 dias (NBR 5.739 / 07)	35 MPa
Resistência à compressão com 28 dias (NBR 5.739 / 07)	50 MPa.
Tempo em aberto para liberação à 25 °C	30 minutos
Conteúdo de cloretos	Livre de cloretos

Bauer (2005) define graute como aglomerante, agregados miúdos e aditivos com boa fluidez e baixa retração. Esclarece que, no Brasil, o termo graute é utilizado para materiais com essas características recomendados para preenchimento de cavidades, fixação de máquinas, tirantes de ancoragem e reparos estruturais.

5.2.3 Concreto.

Características dos materiais constituintes do concreto

Inicialmente, as características dos materiais componentes do concreto: água, areia, brita e cimento, foram determinadas em ensaios normatizados pela Associação Brasileira Normas Técnicas – ABNT.

Água

A NBR 15900 (ABNT, 2009) no item 3 informa que "em geral, dependendo de sua procedência, pode-se verificar se a água é adequada ou não para a preparação do concreto" e indica no item 3.2, que a água de uso público é adequada para uso em concreto e não precisa ser testado.

Segundo Maldonado e Carrasco (2016, p. 91) "as regulamentações ou especificações de como é a água, de onde vem e qual a sua composição química, há um grande risco, pois, embora a relação água/cimento seja o desejado, não se sabe dentro do concreto, se tem um aliado ou um inimigo". Mas, concluem esclarecendo que "Em geral, está estabelecido que a água potável, é considerada adequada para lavagem de agregados, água de mistura e água de cura."

Agregados: miúdos e graúdos

A norma NBR 7211 (ABNT, 2005) especifica os requisitos para recebimento e produção de agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concreto de cimento Portland.

Segundo Raggiotti (2005, p. 29):

Os agregados, de acordo com o tamanho de seus grãos, são classificados em agregados graúdos e agregados miúdos, conforme Norma IRAM 1627 (1997). Agregado grosso é o material cujos grãos ficam retidos na peneira de abertura de malha de 4,75 mm. E o agregado miúdo é o material granular que passa pela peneira de abertura de 4,75mm. O Regulamento CIRSOC 201 (2005) define como agregado miúdo aquele que passa integralmente na peneira IRAM 9,5 mm. (3,8"), que passa quase inteiramente pela peneira IRAM de

4,75 mm. (Nº 4), e que é predominantemente retido na peneira IRAM 150 μm (Nº 200). O agregado graúdo deve ser constituído por cascalhos naturais ou quebrados (pedregulhos), rocha quebrada ou uma mistura dos referidos materiais.

Agregado miúdo (areia):

Agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e permanecem retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm , em ensaio realizado conforme ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310 -1.

Para os agregados finos ou miúdos, os diâmetros característicos máximos, massa unitária e teor de material pulverulento foram determinados a partir do módulo de finura. Figura 5.2.3.1.



Figura 5.2.3.1. Areia (Frações passantes nas peneiras).

Os parâmetros da areia são definidos pelas normas e métodos da seguinte regulamentação brasileira. Ver Anexo 1 e Tabela 5.2.3.1.

Tabela 5.2.3.1.

Propriedades físicas do agregado miúdo - NBR 7211 (ABNT, 2005).

Ensaio realizado	Valores	Norma indicada
Módulo de finura	2,77	ABNT NM 248
D máx. característica	2,36 mm	ABNT NM 248
Massa específica real	2,62 g/cm ³	ABNT NM 52
Massa unitária estado solto	1,48 g/cm ³	ABNT NM 45
Conteúdo dos materiais em pó	2,0%	ABNT NM 46

O Gráfico 5.2.3.1 mostra a distribuição granulométrica do agregado miúdo e as curvas limite de acordo com a norma brasileira. Ver Anexo 1.

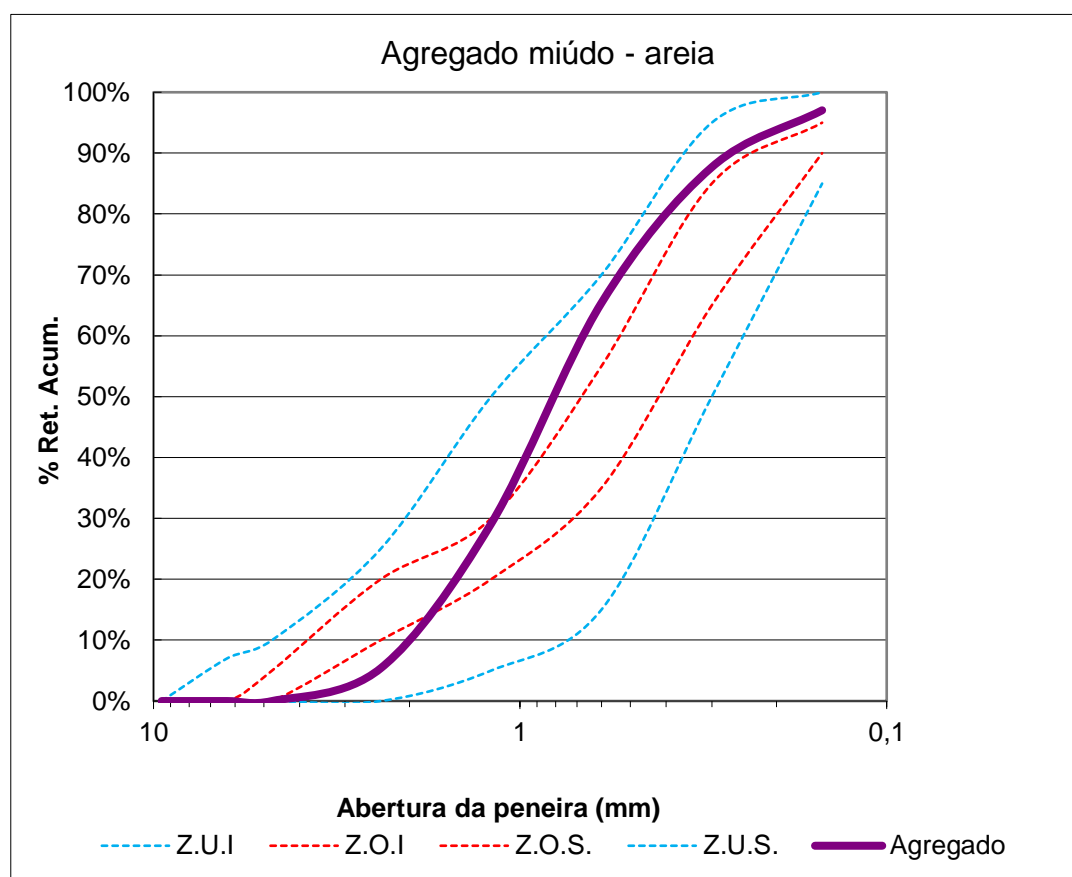


Gráfico 5.2.3.1. Curva granulométrica do agregado miúdo (areia).

Agregado Graúdo (brita):

Agregado graúdo cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e permanecem retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado conforme ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310 -1. Requisitos da Norma NBR 7211 (ABNT, 2005): a amostra representativa de um lote de agregado graúdo (brita zero), coletada conforme ABNT NBR NM 26 e reduzida para ensaios conforme ABNT NBR NM 27 e a distribuição granulométrica, determinada conforme ABNT NBR NM 248, deve atender aos limites indicados para agregado graúdo na tabela 6. Foi usada brita zero ou cascalho, com diâmetro máximo de 9,5 mm e é oriunda pedreira situada no município de Pacatuba/Ceará, com as seguintes propriedades físicas. Ver Anexo 1 e Tabela 5.2.3.2.

Tabela 5.2.3.2.

Propriedades físicas do agregado graúdo (brita zero) - NBR 7211 (ABNT, 2005).

Ensaio realizado	Valores	Indicada
Módulo de finura	5,94	ABNT NM 248
D máx. característica	9,5 mm	ABNT NM 248
Massa específica real - Adimensional	2,65	ABNT NM 52
Massa unitária estado solto	1,40 g/cm ³	ABNT NM 45
Massa unitária estado compactado	1,49 g/cm ³	ABNT NM 45
Conteúdo dos materiais em pó	0 %	ABNT NM 46

A granulometria do agregado graúdo é vista no Gráfico 5.2.3.2. Anexo 1.

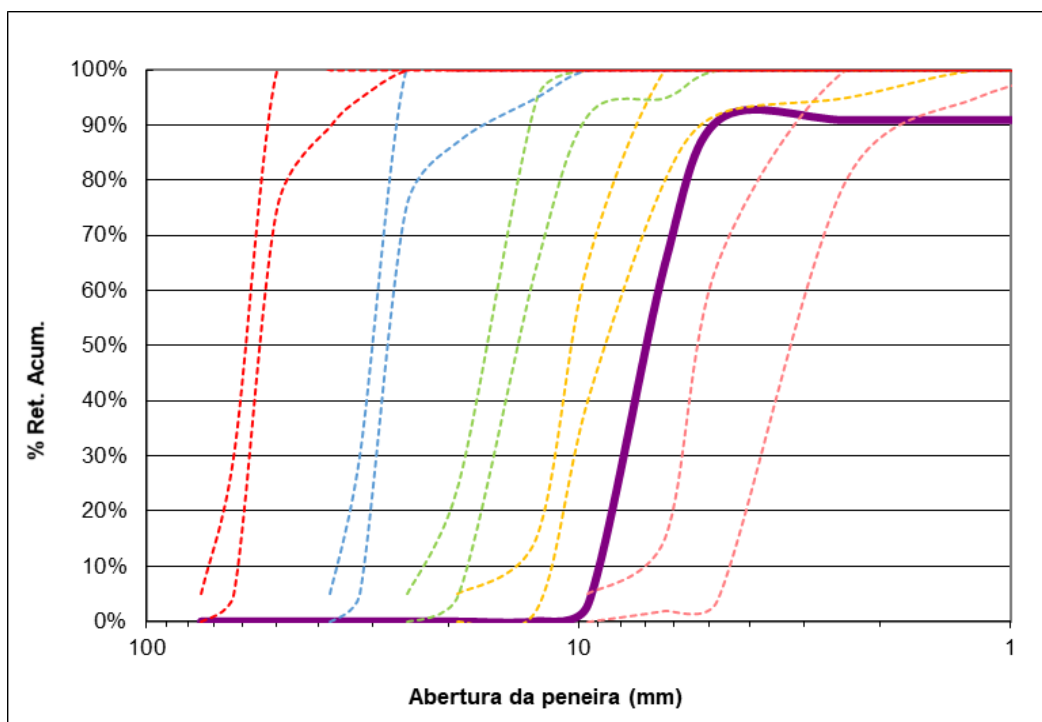


Gráfico 5.2.3.2. Curva granulométrica do agregado graúdo (brita).

Cimento

O cimento utilizado foi o CP II - E, 32, fabricado pela Cimento Poty, na cidade de Sobral/Ceará, que atende a norma brasileira NBR 16.667 (ABNT, 2018).

O CP II - E 32 é um ligante hidráulico obtido da moagem de clínquer com adição de sulfato de cálcio (gesso) entre 51% e 94% e 6% a 34% de escória de alto forno. O limite para a adição de material carbonato é de 15%. Esta composição à Tabela 2 da NBR 16.697 (ABNT, 2018). De acordo com seu fabricante, o CPIIF 32 possui as seguintes características físicas e químicas, Tabela 5.2.3.3:

Tabela 5.2.3.3

Composição do cimento usado na pesquisa

Teores	CPIIF – 32 POTY	NBR 16.697:18
Perda ao Fogo (%)	11,08	≤ 12,5
MgO (%)	2,82	≤6,5
SO ₃ (%)	3,00	≤4,5
RI (%)	4,52	≤7,5
Finura ≠ 200	0,3	≤12,0
Finura ≠ 325	6,8	N/A
Blaine (cm ² /g)	4467	≥2.600
Tempo de ajuste início (min)	256	≥60
Tempo de ajuste final. (min)	323	≤600
Resistência 3 días	20,8	≥10,0
Resistência 7 días	26,9	≥20,0
Resistência 28 días	37,7	≥32 e ≤49,0

Tem menos de 5% de resíduo insolúvel, menos de 8,5% de perda no fogo e mais de 4,5% de trióxido de enxofre (Tabela 3). Como característica física (Tabela 4), retém menos de 12% na peneira 75, tempo de presa de 60 minutos, com 5% de expansão e resistência à compressão > 10MPa (3 dias), 20 MPa (7 dias) e 32 MPa a 28 dias. Assim sendo, o cimento empregado cumpre os requisitos da norma.

Traço do concreto

Foi utilizado o concreto no traço 1:2:3 com fator a/c = 0,60 e consumo de cimento de 344 kg/m³. Esta classe de concreto foi a mais utilizada em edificações com 30-40 anos de construção e são as mais sujeitas a apresentar manifestações de corrosão.

Para a caracterização do concreto, foram moldados corpos de prova Cilíndricos e ensaiados com base nas normas brasileiras: ABNT NBR 7215:2016, ABNT NBR 9779:2012

ensaios de absorção capilar, ABNT NBR 9778:2005 absorção por imersão, ensaios mecânicos para determinar a resistência à compressão e a capacidade de difusão dos cloretos com base na ASTM 1202:2004 e ASTM C 1556:2004).

Determinação da absorção de água

Absorção é a capacidade do material de reter água. É uma propriedade importante a ser considerada, pois regula a velocidade com que o concreto absorve e retém água e outros líquidos e gases, segundo Raggiotti (2015, p. 113). Da mesma forma, também é importante verificar a absorção por capilaridade e imersão. Os ensaios no concreto, na argamassa polimérica e no graute foram feitos no laboratório de Materiais de Construção da UNIFOR, ver Anexo 2.

Absorção por capilaridade ABNT NBR 9779:2013

A absorção de água por capilaridade nos materiais, concreto, argamassa polimérica e graute, foi determinada em corpos de prova Cilíndricos. Após a cura foram dispostos em um recipiente preenchido com água de forma que sua base estivesse, constantemente, em contato com uma lâmina de água com altura de 5 mm, conforme metodologia estabelecida. Ver figuras 5.2.3.2 e 5.2.3.3 e Anexo 2.



Figuras 5.2.3.2 e 5.2.3.3 Corpos de prova e ensaio de absorção por capilaridade

Absorção por imersão ABNT NBR 9778:2009.

A absorção de água por imersão nos materiais, concreto, argamassa polimérica e graute, foi determinada em corpos de prova Cilíndricos. Figuras 5.2.3.4 e 5.2.3.5. Os ensaios foram realizados conforme NBR 9778/05 (Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica), aos 28 dias, utilizando-se 4 corpos de prova Cilíndricos (5x10 cm) para concreto, argamassa polimérica e graute. Anexo 2.



Figuras 5.2.3.4 e 5.2.3.5: Detalhes dos ensaios de absorção por imersão

Resistência à compressão.

A resistência à compressão (F_{ck}) do concreto, da argamassa polimérica e do graute foram confeccionados conforme ABNT NBR 5739:2018, no Laboratório da UNIFOR, como se vê nas figuras 5.2.3.6 e 5.2.3.7. Os corpos de prova foram retificados e na base apoiados sobre uma placa de neoprene. Anexo 2.



Figuras 5.2.3.6 e 5.2.3.7. Rompimentos de corpos de prova de concreto.

Resistividade dos materiais

A avaliação da resistividade do concreto, argamassa estrutural, argamassa polimérica e graute é importante para a durabilidade do aço neles inserido. A resistividade pode ser usada para estimar a probabilidade de corrosão de acordo com a instrução CEB 192/88 as condições da Tabela podem ocorrer 5.2.3.4.

Tabela 5.2.3.4

Resistividade x Risco de corrosão. Fonte: CEB 192/88

Resistividade k Ω .cm	Probabilidade de corrosão
< 100	Risco insignificante
50 a 100	Risco baixo
10 a 50	Risco moderado
< 10	Risco alto

Para as medidas de resistividade volumétrica superficial ABNT NBR 9204:2012 comparativa entre concreto, argamassa polimérica e graute. Foram utilizados corpos de prova Cilíndricos de 100x200 mm, curados ao ar por 28 dias e umedecidos por submersão em em recipiente com água, imediatamente antes das medidas. (Figura 5.2.3.8): Anexo 5.



Figura 5.2.3.8 Corpos de prova Cilíndrico para ensaios de resitividade.

Velocidade de pulso ultrassônico.

O ensaio de ultrassom é um dos ensaios não destrutivos mais adequados para inspecionar a uniformidade do concreto. (Lourenzi, 2003).

O teste de ultrassom baseia-se na medição do tempo que a onda ultrassônica leva para atravessar o material em análise, com um determinado comprimento. O resultado geralmente é expresso pelo valor da velocidade de propagação das ondas ultrassônicas. A onda ultrassônica é influenciada pelas características internas e propriedades do concreto que determinam sua rigidez elástica e resistência mecânica.

A velocidade de pulso está relacionada à qualidade do concreto e de acordo com a norma inglesa BS EN 1254-4/04, as seguintes condições são aceitáveis (Tabela 5.2.3.5).

Tabela 5.2.3.5

Velocidade do pulso ultrassônico e qualidade do concreto. BS EN 1254-4/04

Velocidade de pulso ultrassônico (m/s)	Qualidade do concreto
Mas de 4.500 m / s	Excelente
Entre 4.500 y 3.500 m / s	Boa
Entre 3500 y 3000 m / s	Duvidosa
Entre 3.000 y 2.000 m / s	Ruim
Menos de 2000 m / s	Muito ruim

Os ensaios foram realizados em corpos de prova Cilíndricos de concreto 100 x 200 mm 1: 2: 3: 0,6 com concreto, de argamassa polimérica, argamassa estrutural sem polmíeros e graute de cimento. Os testes de pulso ultrassônico foram realizados em corpos de prova Cilíndricos de 100x200 mm, aos 90 dias, portanto, no estado não saturado. Foram os mesmos corpos de prova usados no teste de absorção de água e resistividade.

O resumo das características dos três materiais utilizados nas investigações é apresentado na Tabela 5.2.3.6. Anexos 2, 3, 5 e 6.

Tabela 5.2.3.6.

Resumo das características dos materiais usados.

Propiedades	Unid.	Concreto	Graute	Argamassa Polimérica
Absorção capilar de água.	g/cm ²	0,47	0,31	0,26
Absorção de água, imersão.	%	7,96	8,13	6,68
Índice vazio. 72 horas	%	20,8	17,54	14,67
Massa específica, amostra	%	2,16	2,16	2,53
Massa específica, amostra saturada. 72 horas	%	2,34	2,33	2,69
Resistência à compressão (28	MPa	25	40	33
Módulo de elasticidade (90	GPa	27	29	37
Velocidade de pulso	m/s	3861	3750	3949
Frequência de pulso	m/s	2191	2616	2518
Resistividade *	kΩ.cm	38,4	20,5	20,1

Observação:

* De acordo com a Tabela 5.1 do CEB 192/88 estes valores de resistividade indicam risco moderado de corrosão.

Migração e difusão iônica (ASTM 1202:2004 e ASTM C 1556:2004).

O concreto é um material heterogêneo que possui três zonas em sua microestrutura, que são: os agregados, a matriz cimentícia e uma zona de transição de maior fragilidade. Além disso, possui uma rede de poros que permite a passagem de CO₂, o qual diminui a alcalinidade e provoca a despassivação do aço, e de agentes agressivos, como o cloreto, que é altamente prejudicial à armadura.

A argamassa com polímero e graute também podem ser afetados por cloretos de forma semelhante, daí a pesquisa sobre a capacidade de cada material em dificultar a penetração desses íons por permeabilidade, absorção capilar, difusão e migração, que são os principais mecanismos de transporte de massa através de dos poros ou fissuras.

A permeabilidade é a propriedade que determina como um fluido passa através de um sólido sob um gradiente de pressão e, segundo Ribeiro (2018) pode ser obtida usando a lei de Darcy para um escoamento laminar, estacionário e não turbulento, usando a Equação 5.2.3.1:

$$V_f = K_h \cdot A \cdot H / L \quad \text{Equação 5.2.3.1}$$

Onde:

V_f = é a vazão do fluido (m^3/s), K_h é a permeabilidade hidráulica (m/s),

A = é a seção do meio poroso (m^2),

H = é a altura da coluna de líquido e

L = é o comprimento da amostra (m).

A absorção capilar, por sua vez, é como um fluido passando por um sólido sob um gradiente de umidade ou devido à tensão capilar.

A altura de elevação é calculada usando a Equação 5.2.3.2:

$$h_c = 2\sigma \cos\theta / \gamma \Gamma. \quad \text{Equação 5.2.3.2}$$

Onde:

h_c = é a altura de elevação,

σ = tensão superficial do fluido,

θ = é o ângulo de molhagem do fluido / concreto γ peso específico do fluido

Γ = é o raio dos poros.

A difusão, segundo Ribeiro (2018) é o mecanismo predominante de penetração de oxigênio, CO_2 e cloretos no concreto e se deve à diferença de concentração entre dois meios em contato. Ocorre em duas etapas. Equação 5.2.3.3

$$dC / dt = - D_{ns} \cdot \partial^2 C / \partial x^2 \quad \text{Equação 5.2.3.3}$$

Onde:

D_s = é o coeficiente de estado estacionário (cm^2/s), o coeficiente

D_{ns} = coeficiente de estado instável no estado (cm^2/s),

q é a taxa de fluxo de massa,

x = a profundidade onde a quantidade de massa passada é medida,

C = a concentração na distância x no tempo.

A migração iônica “é o processo de transporte que ocorre quando existe um potencial elétrico que permite o deslocamento dos íons presentes de tal forma que o efeito da diferença de potencial seja neutralizado”. Ribeiro (2018, p.64).

O teste de difusão de cloretos em concreto, graute e argamassa polimérica é um parâmetro relacionado à resistência à penetração desses íons.

Para tanto, foram realizados testes específicos para verificar a resistência dos três materiais à penetração de íons cloreto conforme ASTM C 1202:1997 e através do procedimento indicado por Lopes, Santos, Ribeiro et al (1998), que tem o princípio da aplicação de uma diferença de potencial contínua de 12 Volts entre duas células, uma (catódica) contendo solução de NaCl com concentração de 1 Molar e a outra (anódica) com água destilada e que está descrita no anexo com todos os dados, cálculos e gráficos.

A NBR 6118 determina que a espessura mínima da camada de cobertura, em atmosfera agressiva normal, seja de no mínimo 2 centímetros e aumente com o crescimento do grau de agressividade ambiental. No entanto, são encontradas estruturas com cobrimentos com espessuras entre 1,0 e 2,0 cm, por serem estruturas antigas ou feitas em desobediência às normas técnicas, o que é uma causa frequente de deterioração estrutural.

Foi realizada uma investigação no laboratório de materiais de construção da UFC, Laboratório Professor Afrodísio Pamplona com concreto, graute e argamassa polimérica fabricada pela Vedacit indicada para reparos estruturais, segundo a norma ASTM C1202 -97 para avaliação suas permeabilidades de cloreto.

A seguir, são apresentadas fotos deste ensaio no Laboratório da Universidade Federal do Ceará – UFC, mostradas na Figura 5.2.3.9.

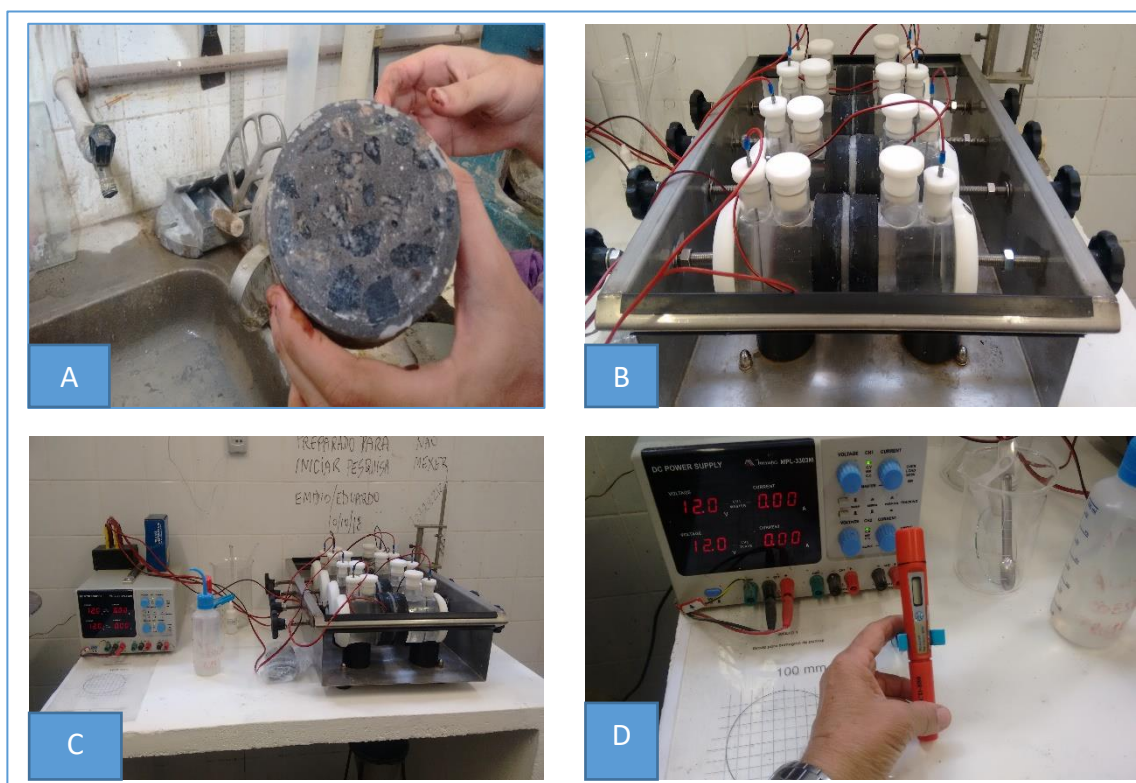


Figura 5.2.3.9. Ensaio de difusão de cloretos na UFC.

Onde:

- A. Amostras de concreto, argamassa polimérica e graute.
- B. Suporte para as amostras.
- C. Equipamento completo: fonte de alimentação e suporte para as amostras.
- D. Medidor de condutividade.

Os resultados da Pesquisa realizada nos meses de abril, junho e agosto de 2019 na Universidade Federal do Ceará estão no Anexo 4 e o resumo dos dados obtidos são mostrados na Tabela 5.2.3.7.

Tabela 5.2.3.7.

Coefficientes de difusão e tempo de penetração do cloreto

ENSAIO DE DIFUSÃO DE CLORETOS			
para penetrar 1 cm	Concreto	Arg. Polim	Graute
Ds (cm ² /s*10 ⁻¹⁰)	6,29	9,71	11,4
t(s)	533000000	345000000	293000000
t(anos)	16,91	10,95	9,29
Dns (cm ² /s)	0,000192	0,000191	0,000192
t(s)	1742,061	1759,613	1750,804
t (total-anos)	16,91	10,95	9,29

Nota-se que a proporção que aumenta o coeficiente de difusão efetivo (Ds) aos cloretos, reduz-se o tempo de migração para profundidades de 1 cm onde barras de aço estarão inseridas nos corpos de prova da pesquisa.

Estes resultados mostram que no concreto a presença da brita dificulta a passagem da corrente elétrica e a penetração dos íons de cloro. Entre a argamassa polimérica e o graute a difusão é maior por ter mais umidade devido ter um índice de vazios maior, resultando em coeficientes de absorção maior do que a argamassa polimérica. Ver tabela 5.2.3.3.

A difusão é o principal mecanismo de penetração desses íons em dois estágios: o não estacionário em que o fluxo depende do tempo e da profundidade de penetração, e o estacionário em que o fluxo é constante. Ambos podem ser representados pela primeira e segunda leis de Fick. RIBEIRO (2018, p. 61).

Entretanto, como informa Ribeiro (2018) existem diversos outros fatores que influenciam no transporte dos cloretos no concreto, e certamente, na argamassa polimérica e no graute, que demanda estudos que não estão no enfoque desta pesquisa.

5.2.4 Aço CA 60

Foi utilizado o aço CA60, que é fabricado a partir de fio-máquina (produto laminado a quente) com posterior processo de deformação a frio, como: trefilação ou laminação

a frio. É um aço de baixo carbono que possui uma microestrutura composta por perlita e ferrita endurecida pelo processo de deformação a frio. (ABNT, NBR 7480: 2007). Tabela 5.2.4.1. Ver Anexo 3.

Tabela 5.2.4.1. Dados técnicos do aço CA 60. Fonte:
<https://www2.gerdau.com.br/produtos/vergalhao-gerdau>

Diâmetro nominal (DN) (mm)	5,00
Massa nominal (Kg / m)	0,154
Tolerância de massa lineal (%)	+/- 6
Resistência ao fluxo característica (fy) (MPa)	600
Limite de resistência (MPa)	660
Alargamento em relação 10Ø fst / fy	5%
Relação fst / fy	> = 1.05
Diâmetro do furo para flexão de 180º (mm)	3 x DN

5.2.5 Inibidor de corrosão catódico à base de zinco.

Foi utilizada tinta à base de cromato de zinco, que é um inibidor de corrosão catódica, forma uma película impermeável ao redor das barras de aço. O produto utilizado foi o Armatec ZN, da Vedacit, que é um primeiro anticorrosivo à base de resinas sintéticas com cromato de zinco para uso em reparos estruturais, ferros de espera e tinta externa de tanques e máquinas. Seus dados técnicos são fornecidos pelo fabricante são:

- Densidade: 1,39 g/cm³.
- Cor vermelha
- Composição básica: cromato de zinco e resina sintética
- Líquido inflamável.

Ver Anexo 3.

5.2.6 Inibidor anódico

Também foi utilizado um revestimento de dois componentes, inibidor de corrosão aniônico para reforço de concreto, MasterEnaco P 122 (BASF, 2017). É um revestimento de cimento flexível à base de cimento, bicomponente, modificado por polímero, que fornece proteção anticorrosiva ao aço de reforço em concreto. Proporciona a dupla proteção da barreira polimérica e do aditivo inibidor de corrosão integral, composto por sílica, sílica de quartzo e cimento Portland.

- Densidade: 1,60 a 1,70 g/cm³.
- Cor vermelha
- Composição básica: cimento Portland, agregado com inibidores de corrosão acrílicos e a base de nitritos
- Líquido pastoso depois de misturar os componentes.

Ver Anexo 3.

5.3 Corrosão na armadura do concreto acelerada por indução de cloretos.

Para a verificação da eficácia dos reparos estruturais, é possível utilizar ensaios não destrutivos que são importantes para caracterizar as propriedades dos materiais e as alterações que ocorrem ao longo de sua vida útil causadas pela interação com o meio ambiente.

O método de medição do potencial de corrosão mede a carga negativa causada pelo movimento dos elétrons liberados pelos íons ferrosos que se movem através do eletrólito formado no concreto, fornecendo assim informações sobre o estado da corrosão na estrutura, segundo Zerbino e Carrasco (2012).

“É uma técnica muito utilizada para medições em laboratório e em campo, por sua praticidade e por necessitar de um aparelho simples para realizá-la, além de ser uma técnica não destrutiva” (RIBEIRO e CUNHA, 2018)

Os potenciais encontrados podem ser comparados com os parâmetros indicados pela norma ASTM - C 876/91, que estabelece os seguintes parâmetros para a

possibilidade de corrosão em armaduras de concreto com base no potencial de corrosão medido com célula de cobre/sulfato de cobre, apresentados na Tabela 5.3.1:

Tabela 5.3.1

Potencial x Probabilidade de corrosão. Fonte: ASTM – C 876/91.

Potenciais de corrosão com semicelula de Cu / SO ₄ Cu	Probabilidade de corrosão
$E_{corr} < -200 \text{ mV}$	Menos de 5%
$-200 \text{ mV} < E_{corr} < -350 \text{ mV}$	Cerca de 50%
$E_{corr} > -350$	Mais de 95%

Para avaliar a eficácia dos materiais e métodos usuais de recuperação estrutural, corpos de prova prismáticos de concreto foram moldados no traço 1: 2: 3: 0,6, argamassa polimérica e graute com barras de aço inseridas e submetidos ao ensaio de corrosão por indução acelerada de cloreto.

O programa experimental foi elaborado para obter medidas de potenciais de corrosão em corpos de prova prismáticos de concreto básico em mistura 1:2:3, argamassa polimérica, graute adquiridos de diferentes fabricantes, aço não protegido, aço com proteção anódica e proteção catódica e posterior avaliação da perda de massa em barras de aço.

Dois tipos de inibidores de corrosão, classificados como inibidores de barreira, na forma de tinta ou revestimento de aço foram utilizados nesta investigação.

Para representar a remoção total do concreto contaminado, foram confeccionados corpos de prova prismáticos - CPP, 80x90x45 mm com duas barras de aço em concreto, argamassa polimérica e graute, conforme Figura 5.3.1.

Para representar a remoção parcial, as fôrmas de concreto foram preparadas para se ter CPP de 60x90x45 mm e posteriormente retronaram às dimensões originais. Aos núcleos de concreto foram aderidas as duas barras de aço e p com argamassa polimérica e graute junto ao núcleo de concreto, conforme Figura 5.3.2.

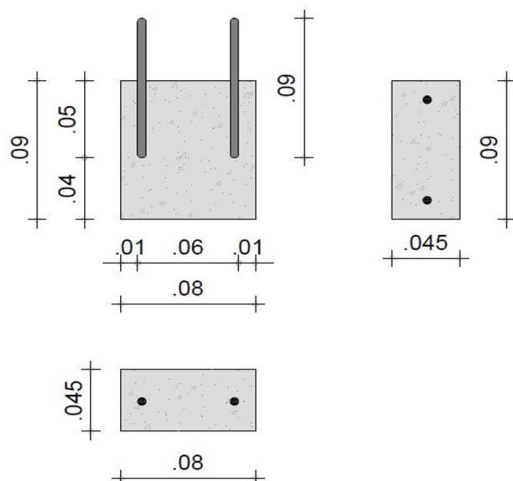


Figura 5.3.1 CPP para reparo total

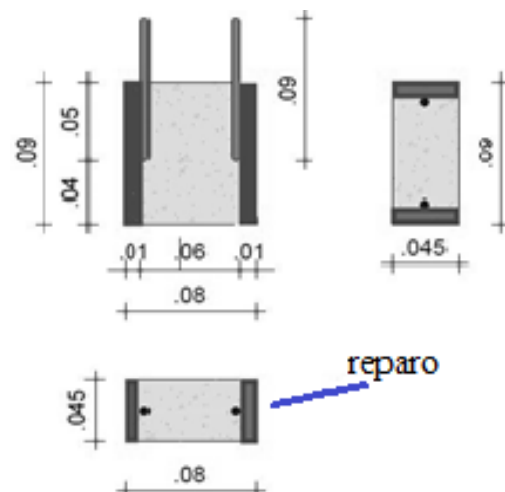


Figura 5.3.2. CPP para reparo parcial

5.3.1 Reparo total

As amostras foram moldadas conforme mostrado na Figura 5.3.1 para verificação de corrosão em reparos completos, que é quando todo concreto contaminado é removido e reparado com argamassa ou graute. A tabela 5.3.1.1 expõe as condições para a pesquisa sobre o reparo total.

Tabela 5.3.1.1.

Reparo total - materiais

Reparo total		
Material original	Condição do ferro	Material de reparo
Concreto	Sem proteção.	Concreto
	Com nitrito	
	Com zinco	
Argamassa polimérica	Sem proteção.	Argamassa polimérica
	Com nitrito	
	Com zinco	
Graute cimentício	Sem proteção.	Graute cimentício
	Com nitrito	
	Com zinco	

5.3.2 Reparo parcial

Corpos de prova também foram moldados conforme Figura 5.3.2 para verificação de corrosão em reparos parciais que é quando apenas a camada de concreto contaminada é removida e parcialmente reparada com argamassa ou graute. Tabela 5.3.2.1,

Tabela 5.3.2.1

Reparo parcial - materiais.

Reparo parcial		
Material	Condição do ferro	Material de reparo
Concreto	Sem proteção.	Argamassa polimérica
	Com nitrito	
	Com zinco	
Concreto	Sem proteção.	Graute
	Com nitrito	
	Com zinco	

Preparação de corpo de prova prismáticos

Inicialmente, as barras de aço foram imersas em uma solução de ácido clorídrico 1:1 com 3,5 gramas de hexametilenotetramina por 15 minutos. Posteriormente, as barras foram lavadas com água da torneira e embebidas em acetona. Por fim, foram secas com secador de ar quente, conforme instruções ASTM G-1/03 e em seguida, foram pesadas em balança eletrônica de alta precisão. Figura 5.3.2.1.



Figura 5.3.2.1. Limpeza e pesagem de barras de aço

Após a pesagem, um terço das barras foi pintado com produto à base de zinco, outro terço foi pintado com produto à base de nitrito em um comprimento de 5 cm, deixando 4 cm sem pintura e o restante sem pintura. Foram moldadas duas amostras de concreto, argamassa polimérica e graute, cada uma com duas barras de aço em forma de madeira removível. Figura 5.3.2.2.



Figura 5.3.2.2. Formas para corpos de prova prismáticas.

O período de cura úmida foi de cinco dias e a cura ao ar 16 dias, após os quais as amostras foram pintadas na base, no topo e nos lados maiores, deixando os lados menores (45x80 mm) desprotegidos para o ataque da solução de NaCl 3,5%. Figura 5.3.2.3



Figura 5.3.2.3 Corpos de prova em concreto, argamassa polimérica e graute.

Ensaio acelerado de corrosão induzida por cloretos

Este ensaio é empregado para se obter resultados no curto prazo, da taxa de corrosão na armadura do concreto através da indução por ataque de cloretos provenientes de uma solução salina. A secagem do concreto permite a saturação dos poros abertos pela solução salina, resultando em rápida e intensa corrosão. Segundo Cabral este procedimento tem sido usado por ele mesmo e por Nepomuceno (1992), Figueredo (1994), Bauer (1995), Monteiro (1996), Lima (1996), Castanheira (1997) e Vasconcelos (1997), entre outros pesquisadores. Citado por Cabral (2000).

Baseia-se no conhecimento de que, quando a camada protetora é rompida (por carbonatação ou por cloretos), os íons ferrosos (Fe^{++}) dissolvem-se no ânodo e os elétrons migram pelo metal até o cátodo onde formam hidroxila (OH^-) a partir da água e do oxigênio. Isso cria uma diferença de potencial elétrico entre a armadura de aço e a solução aquosa contida nos poros do concreto que pode ser medida. Esta medição é feita entre a armadura e um eletrodo de referência estável conhecido usando um voltímetro de alta impedância.

Nesta pesquisa de tese, o ensaio acelerado de corrosão induzida por cloretos foi iniciado 24 dias após a moldagem, colocando os corpos de prova por cinco dias em estufa à temperatura de $50^{\circ}C$, e então medindo-se os potenciais. Em seguida, foram colocados em uma bandeja contendo a solução de NaCl até a metade da altura das barras de aço por dois dias e após, novamente medidos os potenciais. Este procedimento foi repetido doze (12) vezes.

Medição da corrosão induzida

A avaliação da corrosão induzida pode ser feita por diversos métodos, entre eles existem diversos métodos eletroquímicos. Pode-se citar o Método da Resistência de Polarização, da Resistência Elétrica, dos Potenciais de Corrosão, do Ruído Eletroquímico, das Curvas de Polarização e da Impedância Eletroquímica.

Nesta pesquisa foi usado o Método das Medições dos Potenciais de Corrosão porque foi o único em que se disponha o equipamento necessário.

Para medir os potenciais de corrosão, foi utilizado um analisador de corrosão denominado Canin+, fabricado pela Proceq SA com impedância de 10 M Ω e uma semi célula de Cu/CuSO₄, (composta por uma haste de cobre imersa em uma solução saturada de sulfato de cobre) que mantém um potencial conhecido. Figura 5.3.2.4.



Figura 5.3.2.4: Medição do potencial de corrosão com Canin+. (Fonte: Proceq).

De acordo com a instrução RILEM TC 154 - ENC, com esta meia célula, as tensões típicas no concreto têm as seguintes ordens de grandeza. Tabela 5.3.2.2.

Tabela 5.3.2.2

Magnitudes típicas de potenciais de corrosão em concreto.

Material	E (mv)
Concreto saturado de água sem O ₂	- 1000 a - 900
Concreto úmido contaminado com cloreto	- 600 a - 400
Concreto úmido sem cloreto	- 200 a + 100
Concreto molhado carbonatado	- 400 a + 100
Concreto carbonatado seco	0 a + 200
Concreto seco não carbonatado	0 a + 200

As medidas de potencial são influenciadas, para maior e menor eletronegatividade, com a variação de umidade, temperatura, espessura da camada de revestimento, resistividade e teor de oxigênio no concreto. Isoladamente, as medições de potencial não fornecem conclusões quantitativas sobre a taxa de corrosão, que é influenciada pela resistividade e também varia com a idade do vergalhão, portanto, as medições devem ser feitas ao longo de um período de tempo.

A norma ASTM - C 876/91 estabelece os seguintes parâmetros para a possibilidade de corrosão em armaduras de concreto com base no potencial de corrosão medido com meia célula de cobre/sulfato de cobre e que são apresentados na Tabela 5.3.1.

Nesta investigação, os testes foram realizados na Universidade de Fortaleza, no primeiro semestre de 2019, conforme Figura 5.3.2.5.

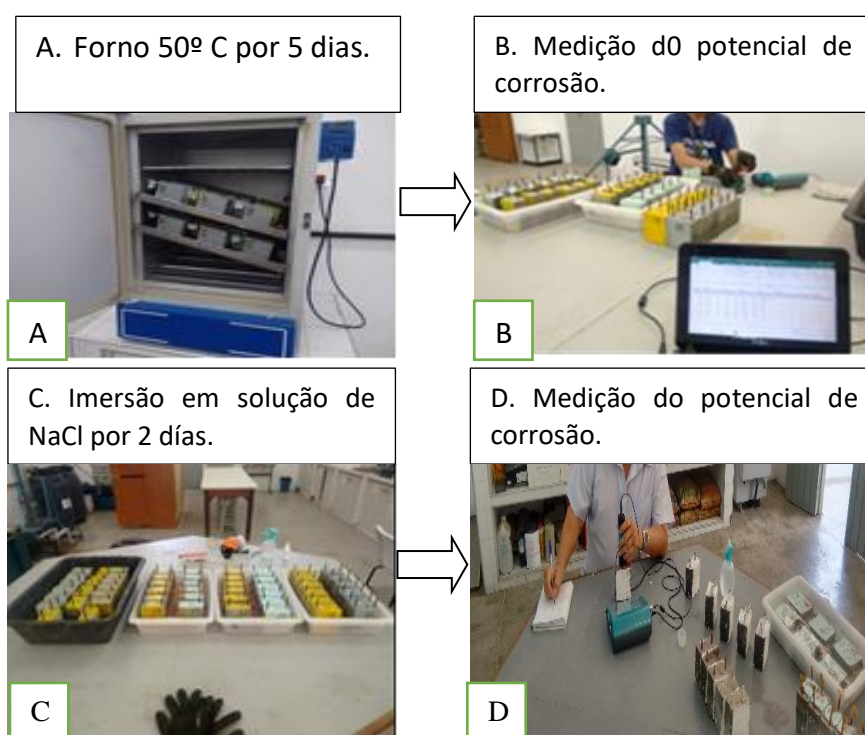


Figura 5.3.2.5: Sequência do ensaio de corrosão induzida por cloreto

Onde:

- A. Forno elétrico.
- B. Medições dos potenciais de corrosão (Ecorr).
- C. Corpos de prova em solução de NaCl a 3,5 %.
- D. Novas medições dos potenciais.

Avaliação da perda de massa devido à corrosão.

Para verificar os resultados do processo corrosivo nas barras de aço inseridas nos corpos de prova de concreto, argamassa polimérica e graute, estando o aço desprotegido ou protegido com inibidores anódicos ou catódicos, os corpos de prova foram quebrados e, após limpeza dos ferros com o mesmo processo utilizado em sua preparação, foram pesados e verificada a perda de massa. A Figura 5.3.2.6 e 5.3.2.7 mostra a balança eletrônica de alta precisão e barras de aço pintadas com zinco, com nitrito e sem pintura.



Figura 5.3.2.6 Pesagem das barras



Figura 5.3.2.7 Pintura com inibidor

Com essas barras de aço foram preparados corpos de prova prismáticos em concreto, argamassa polimérica e graute para a pesquisa sobre os reparos totais e corpos de prova com núcleos de concreto reparados com argamassa polimérica e graute para a pesquisa sobre os reparos parciais.

6. RESULTADOS DE TESTES DE CORROSÃO INDUZIDA POR CLORETO EM REPAROS ESTRUTURAIS.

6.1. Introdução

A pesquisa foi planejada e realizada para 12 ciclos de secagem e umedecimento, em corpos de prova prismáticos com duas barras de aço inseridas em concreto, argamassa polimérica e rejunte por um período de três meses, no Laboratório da Universidade de Fortaleza.

Dados de corrosão induzida por cloretos foram obtidos nestes corpos de prova, representando reparos total, quando todo o concreto é substituído por argamassa polimérica e graute e reparos parciais quando apenas a camada de cobrimento é removida e feitos os reparos com esses mesmos materiais.

Após completar o 12º ciclo, notou-se que as três últimas medições apresentaram inconsistências. Inicialmente pensou-se que poderia ter sido devido a algum defeito no equipamento de medição, as atividades no Laboratório ficaram paralisadas por um ano devido a pandemia de Covid-19.

Porém, notou-se que isto acontecia em todos os gráficos dos resultados obtidos. Também pode-se observar o estágio não estacionário das atividades até o 2º ciclo e o estágio estacionário do 3º ao 10º ciclo. A probabilidade de saturação de Cu/CUSO_4 ou saturação do meio devido à penetração da solução salina externa na semiicelula não pode ser descartada.

Note-se também que, em todas as opções de corpos de prova desta investigação, há turbulência nas medições até o segundo ciclo, o que é atribuído à resistência natural dos materiais à migração e difusão de cloretos.

Cascudo (2005) mostrou que o monitoramento dos potenciais de corrosão é muito sensível para detectar mudanças do estado passivo para o ativo da corrosão superficial ou quando ocorre a repassivação do aço no concreto. Em um experimento feito em 1991, com corpos de prova submetidos a ciclos de umedecimento e secagem,

verificou que no início as curvas são muito ruidosas, devido à consolidação do filme passivo, seguidas por um período de estabilidade e finalmente mudam para potenciais mais negativos, como pode ser visto no gráfico 6.1.1 apresentado no artigo do referido autor e que tem semelhanças com as curvas definidas nesta pesquisa de tese.

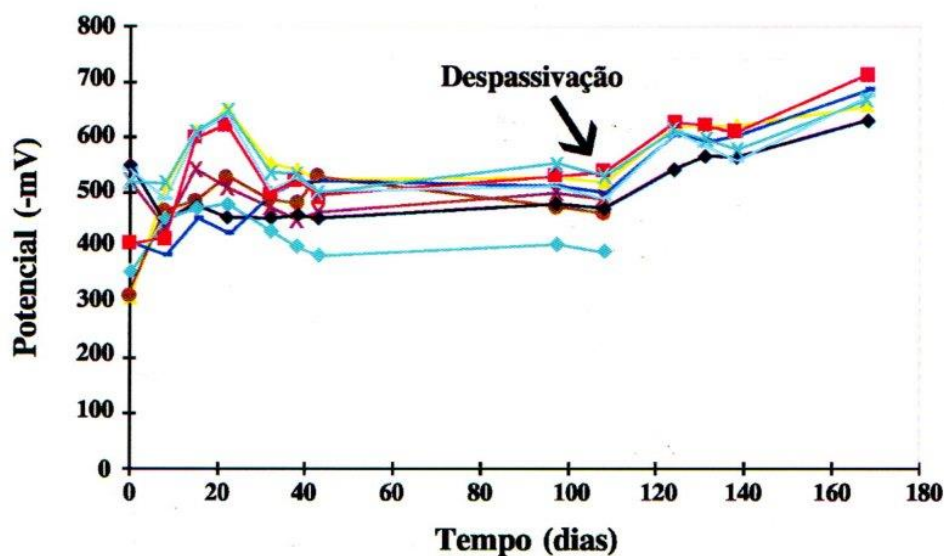


Gráfico 6.1.1. Monitoramento de potenciais de corrosão por Cascudo (1997).

Cascudo (2005, pg 150) salienta que, “no referido experimento, os corpos de prova sofreram contínuos ciclos de molhagem e secagem em solução agressiva para acelerar a corrosão, na tentativa de observar se a técnica era sensível o bastante para detectar a mudança do estado passivo para o ativo de corrosão. O referido autor, entretanto, informa que em outra pesquisa de sua autoria, avaliando sistemas de reparos, usando potenciais de eletrodo, observou a sensibilidade e a capacidade deste método para detectar o momento da despassivação do aço, embora cite também vantagens e desvantagens do método.

6.2. Resultados dos potenciais de corrosão da pesquisa

Primeiramente, são apresentados e analisados cada um dos resultados e a avaliação comparativa entre os dois métodos de recuperação de estruturas de concreto armado, em consonância com os objetivos da tese. Os dados estão no Anexo 7.

Os gráficos Ecorr x Tempo mostra o comportamento dos materiais pesquisados frente ao ataque de cloretos, onde destaca-se a oscilação da resistência ôhmica em função do grau de umidade do material. Observa-se que os potenciais são menos eletronegativos nos períodos de secagem e mais eletronegativos nos períodos de molhagem com a solução contendo NaCl.

Os gráficos serão apresentados até o 12º Ciclo. Com as ferramentas gráficas do programa Excel, são determinadas as equações das linhas de tendência das curvas de variação do potencial de corrosão:

$$Y = ax + b \qquad \text{Equação 6.2.1.}$$

Onde “a” é o coeficiente angular e define a velocidade do potencial e “b” é o valor do potencial de corrosão no tempo $t = 5$ dias, retirada do forno ou primeira secagem do material.

Percebe-se também as linhas de tendência das curvas para cada material seguem diferentes inclinações. Isso ocorre porque o grau de absorção de umidade (eletrólito) de cada material varia e a corrente iônica também varia, pois, segundo Figueredo, Helene e Andrade, (1993) o principal parâmetro de controle da corrosão no concreto armado é a umidade.

O software Excel também calcula o R^2 ou R –Quadrado ou Coeficiente de Determinação verifica a adequabilidade da reta adotada a variabilidade dos dados obtidos, sendo a soma dos quadrados das distâncias de cada ponto à reta. O R^2 varia entre 0 e 1 ou pode ser expresso em percentual.

A seguir, são apresentados graficamente os resultados das medições dos potenciais de corrosão obtidos com a pesquisa, com os reparos totais e com os reparos parciais.

6.2.1. Resultado em Reparos Totais – introdução

São quatro situações de pesquisa, detalhadas a seguir:

6.2.1.1. Resultados em Reparos Totais com concreto, argamassa polimérica e graute. O aço sem proteção.

Inicialmente, foi avaliada a eficácia do concreto, da argamassa polimérica e do graute na proteção do aço contra o ataque de cloretos, que é o agente mais agressivo e que danifica a armadura com mais gravidade por agir de forma pontual e não se consumir na reação eletroquímica.

Corpos de prova foram moldados com concreto, argamassa polimérica e graute para representar os reparos totais, pois assim, envolvem totalmente as barras de aço.

A evolução do potencial de corrosão no aço sob o ataque de cloretos nos corpos de prova de concreto, argamassa polimérica e graute com barras de aço sem proteção inseridas apresenta o comportamento mostrados no Gráfico 6.2.1.1.

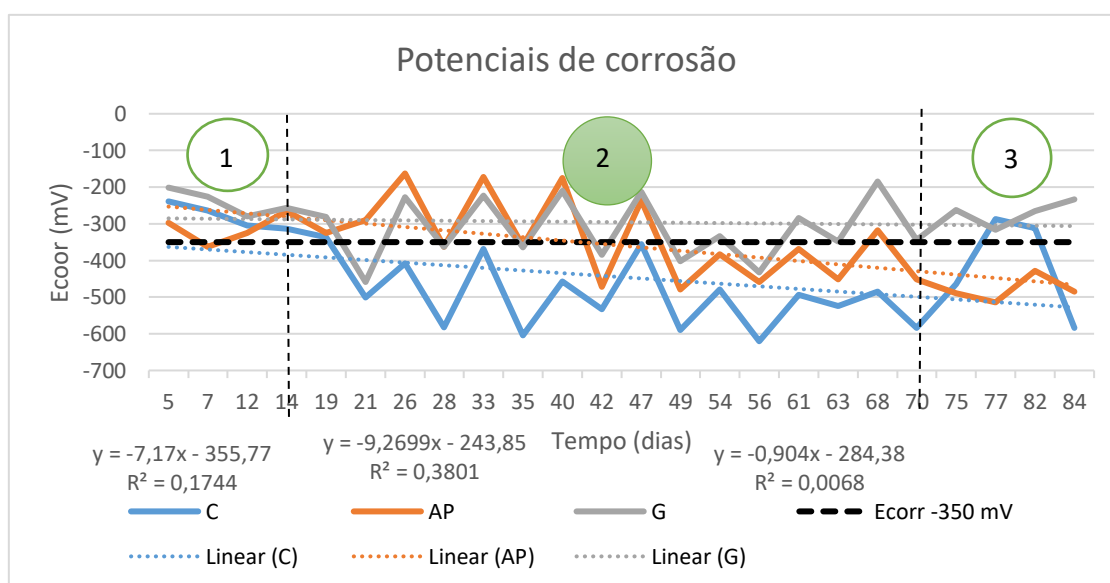


Gráfico 6.2.1.1 a corrosão induzida em CP de argamassa polimérica (AP), graute (G) e concreto (C). Aço sem proteção.

A argamassa polimérica tem o menor valor de absorção capilar, absorção por imersão e o menor índice de vazios e a maior massa específica entre os três materiais.

O graute tem índice de vazio e índice de absorção por imersão similar ao concreto, porém, menor valor de absorção capilar, como se pode ver na Tabela 5.2.3.6: Resumo das características dos materiais usados.

6.2.1.2. Resultados em Reparos Totais em concreto armado, estando o aço sem proteção, com inibidor à base de nitrito e com inibidor à base de zinco.

Investigando o que acontece com corpos de prova de concreto com ferros desprotegidos em comparação com ferros com proteção anódica à base de nitritos e à base de zinco, a medição dos potenciais segue o gráfico 6.2.1.2 até o 12º ciclo.

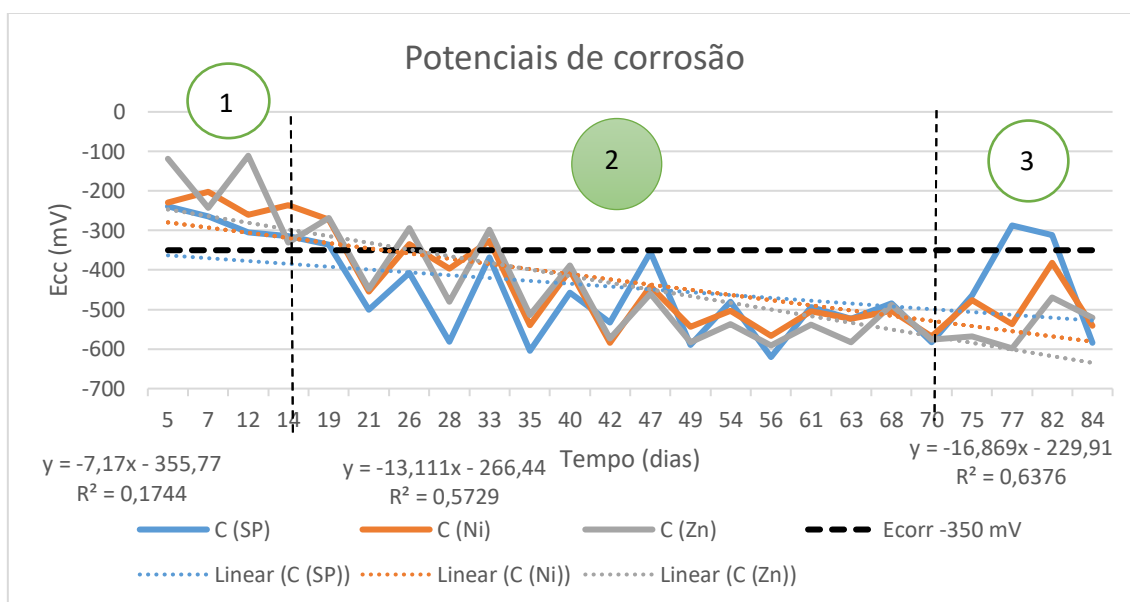


Gráfico 6.2.1.2: corrosão induzida em concreto armado com aço sem proteção e com proteção a base de zinco e nitrito até o 12º ciclo.

Nota-se no gráfico 6.2.2 que a presença dos inibidores à base de nitritos ou zinco, atrasa o início do processo de oxidação do aço, porém como o concreto é novo a alta alcalinidade e a presença do filme passivo dá uma proteção bastante adequada.

Resalte-se que as medições de potencial são feitas entre o aço e o concreto através de uma semicélula Cu/CuSO₄, mas o revestimento de nitrito e a pintura com tinta contendo zinco alteram os potenciais.

6.2.1.3. Resultados em Reparos Totais com argamassa polimérica, com aço não protegido, com inibidor à base de nitrito e com inibidor à base de zinco.

Figueredo (1998) e Cabral (2000) estudaram o desempenho de vários tipos de argamassa com ou sem adição de inibidores de corrosão contra o ataque de cloretos.

Esta pesquisa utiliza um tipo específico de argamassa polimérica industrializada, indicada pelo fabricante para reparos estruturais, a fim de compará-la com o concreto de referência e graute industrializado. Nas barras de aço foram usados inibidores de corrosão a base de nitritos na forma de pintura. Ver os resultados no Gráfico 6.2.1.3.

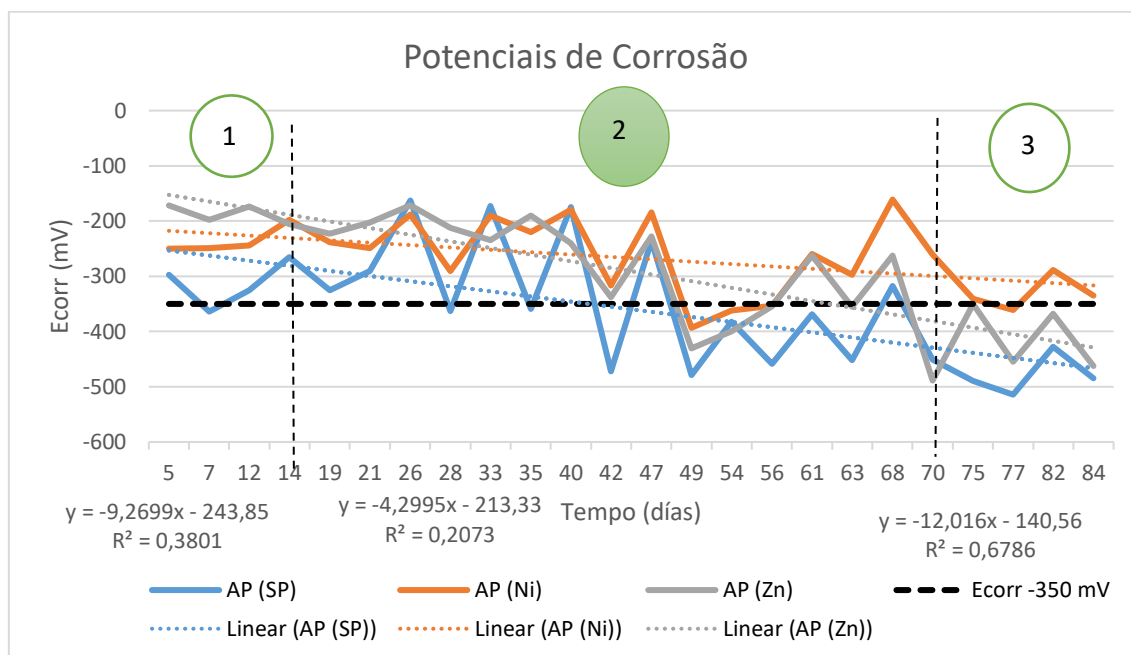


Gráfico 6.2.1.3. Argamassa polimérica com aço sem e com proteção e concreto normal, até o 12º ciclo.

A argamassa polimérica impede a corrosão até o 47º dia e a seguir o nitrito e o zinco protegem o aço, nesta ordem.

Verifica-se que os inibidores de corrosão a base de nitrito ou zinco, também nos corpos de prova em argamassa polimérica, fornece uma proteção extra.

6.2.1.4. Resultados em Reparos Totais com graute e o aço sem proteção, com inibidor à base de nitrito e inibidor à base de zinco.

O gráfico 6.2.1.4 mostra os resultados da corrosão induzida em corpos de prova de concreto e de graute com aço sem e com proteção, até 12º ciclo.

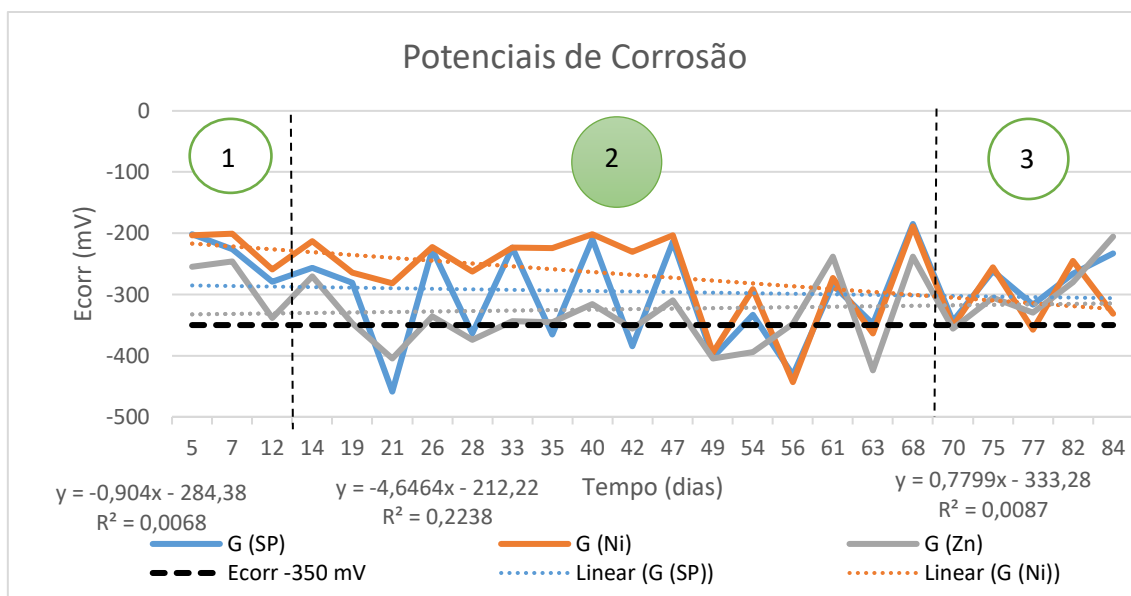


Gráfico 6.2.1.4. Corrosão induzida em graute com aço sem e com proteção até o dia 12. Ciclo.

Da mesma forma que a argamassa polimérica, o graute impede a corrosão até o 47º dia e a seguir o nitrito e o zinco protegem o aço, nesta ordem.

O gráfico 6.2.1.4. Mostra que a pintura das barras de aço com esses inibidores atrasa a corrosão também nos corpos de prova em graute.

6.2.2. Resultado em Reparos Parciais - introdução

Inicialmente, é necessário definir o que é reparo parcial neste trabalho. Considera-se um reparo parcial quando apenas a camada de cobertura da armadura de concreto é removida e um reparo total quando todo o concreto ao redor da barra de aço é removido.

Nos itens anteriores investigou-se o que acontece com a armadura sob ataque induzido por cloretos, com as barras de aço envoltas por concreto, argamassa polimérica ou graute, ou seja, o que acontece quando é realizado o reparo total. Na realidade, a maioria dos reparos são parciais e localizados, estudados nos itens 6.2.5 e 6.2.6, pois são realizados em partes de pilares, partes de vigas ou partes de lajes.

O mais correto seria definir esses dois tipos de reparos como: reparo removendo apenas a camada de revestimento e reparo removendo todo o concreto ao redor da barra de aço ao longo da seção afetada pela corrosão.

No entanto, para melhor comunicação, adotou-se a forma abreviada e geralmente utilizada no campo técnico e profissional para se referir à metodologia de recuperação estrutural.

Assim, nesta parte da pesquisa, os núcleos são todos em concreto no traço 1:2:3 com fator água cimento de 0,60 e os reparos são com argamassa polimérica ou graute cimentício. As barras de aço estão em três condições: sem proteção, com proteção a base de nitrito ou proteção a base de zinco. Conforme a figura 6.2.2.1.

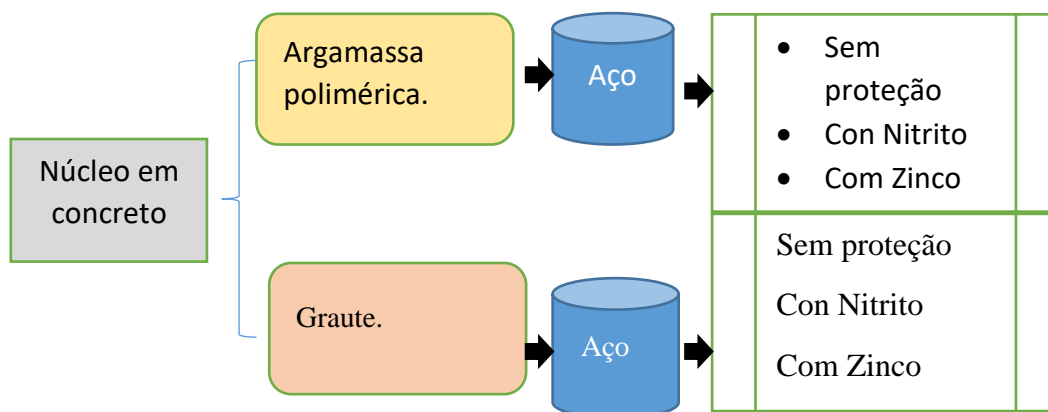


Figura 6.2.2.1. Sistemas de reparação.

6.2.2.1. Resultados em Reparo Parcial em concreto armado com argamassa polimérica e aço não protegido e protegido com inibidor à base de nitrito ou zinco.

A argamassa polimérica é indicada para revestimentos de reforço de até 30 mm de espessura nos serviços de recuperação de estruturas de concreto armado, devido ao maior poder de aderência e compacidade que os polímeros conferem às argamassas de cimento e areia, testados e comprovados por diversos pesquisadores independentes laboratórios e fabricantes em diversas marcas disponibilizadas no mercado.

Neste capítulo foram utilizados corpos de prova de concreto com largura de 2 cm, aos quais foram fixadas duas barras de aço CA-60 de 5 mm de diâmetro e cobertas com 1 cm de argamassa polimérica, de cada lado, correspondente ao cobrimento mínimo exigido pela norma brasileira (NBR 6118, 2014).

O comportamento dos corpos de prova frente ao ataque de cloretos, durante 12 ciclos de secagem e umedecimento, é mostrado no Gráfico 6.2.2.1.

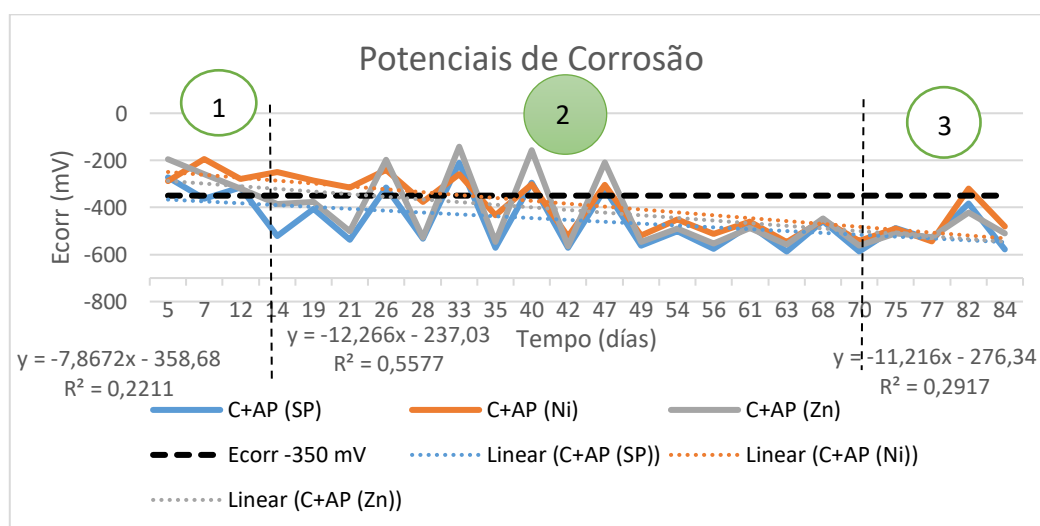


Gráfico 6.2.2.1. Corrosão induzida em concreto armado reparado com argamassa polimérica. Aço sem e com proteção, até o 12º ciclo.

No 1º e 2º ciclo, a semelhança de comportamento pode ser observada em termos de potenciais entre todas as opções de corpos de prova, porém, entre o 3º e o 7º ciclo, registrou-se intensas variações entre os estados seco e úmido ao redor da linha

- 350 mV, com menor amplitude nos ferros com nitrito e maior nos ferros com zinco. Os ferros sem proteção têm um comportamento mais uniforme, mas sempre inferior aos ferros protegidos. Entre o oitavo e o décimo ciclo, a proteção fornecida pelos inibidores expira e a corrosão continua a aumentar na mesma proporção.

Em reparos parciais com argamassa polimérica, os tempos para o início da corrosão da armadura são menores do que quando toda a barra de aço é envolvida por argamassa polimérica, mas ainda maiores do que no concreto estrutural normal, com a resistência considerada, principalmente quando o aço é protegido por nitrito ou zinco.

É importante lembrar que nos reparos parciais existem dois materiais com índices de vazios e de absorção diferentes (ver Tabela 5.2.3.6) envolvidos que são o concreto e a argamassa polimérica, além de haver uma interface que pode eventualmente proporcionar um caminho para a penetração de água e oxigênio dependendo da qualidade da aderência da argamassa polimérica ao núcleo de concreto.

6.2.2.2. Resultados de Reparos Parciais em concreto armado com graute e aço sem proteção e protegido com inibidor à base de nitrito ou zinco.

O graute, devido à sua composição, encontra-se entre uma argamassa e um concreto, podendo ser considerada um microconcreto modificado por aditivos fluidificantes e moderadores de retração formulados para preenchimento de furos e chumbadores, recomenda-se reconstituir partes de elementos estruturais em recuperação quando forem necessários reparos com espessuras superiores a 30 mm, complementando as indicações feitas para a argamassa polimérica.

Nos ensaios de indução acelerada de cloreto, a barreira criada pela argamassa foi superior ao concreto normal nas três condições de armadura, conforme mostrado no Gráfico 6.2.2.1.

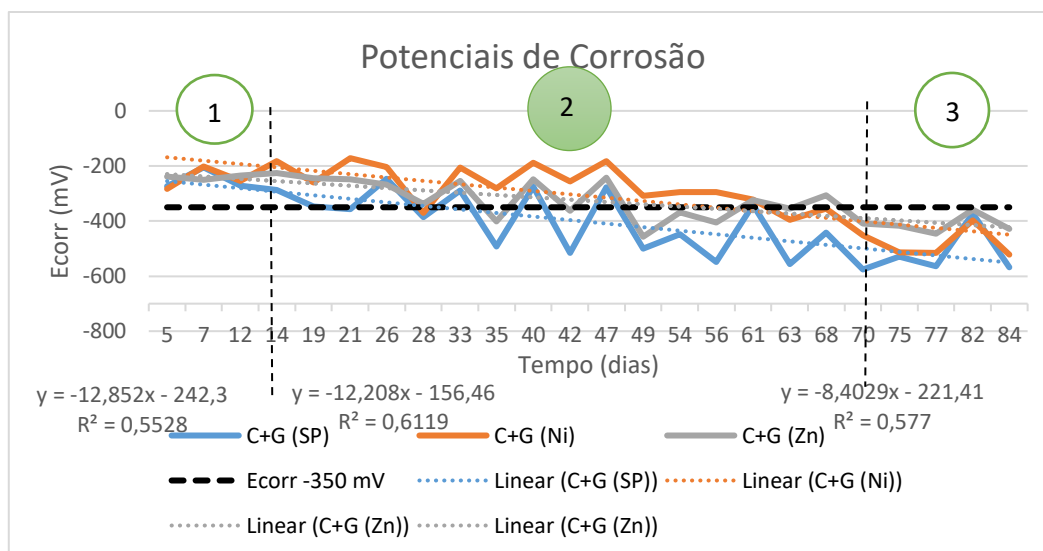


Gráfico 6.2.2.2. Corrosão induzida em concreto reparado com graute e com aço, sem e com proteção, até o 12º ciclo.

Em reparos parciais com graute também os tempos para o início da corrosão na armadura são menores do que quando toda a barra de aço é totalmente envolvida por ela, mas ainda são maiores do que no concreto estrutural normal, sendo a resistência maior, principalmente quando protegida por nitrito ou zinco.

De forma similar ao reparo com argamassa polimérica nesta situação também existem dois materiais com índices de vazios e de absorção diferentes (ver Tabela 5.2.3.6) envolvidos que são o concreto e o graute, e da mesma forma há uma interface que pode eventualmente proporcionar um caminho para a penetração de água e oxigênio dependendo da qualidade da aderência do graute ao núcleo de concreto.

Verifica-se diferenças entre os tempos calculados pela Equação e os tempos definidos através dos gráficos. Percebe-se que essas diferenças ficam em torno de 3,5 vezes, mas que as posições relativas entre corpos de prova em concreto, argamassa polimérica, graute, ferros sem proteção, com proteção a base de nitrito ou de zinco, se mantem, ou seja, seguem a mesma tendência relativa entre eles.

6.3. Resumo de tempos para corroer e apresentação de ganhos e perdas em reparos totais e parciais

Os coeficientes angulares das linhas de tendência representam as taxas de aumento dos potenciais de corrosão e permitem calcular os tempos para o início do processo corrosivo no ensaio de corrosão induzida por cloretos em concreto, argamassa polimérica e graute com barras de aço inseridas nos corpos de prova prismáticos em reparos parciais e totais.

Com base nas linhas de tendência para o potencial de corrosão atingir o valor de -350 mV quando a probabilidade de haver corrosão nas barras de aço é de 95%, foi elaborada a Tabela 6.3.1.

Tabela 6.3.1.

Tempo para o potencial de corrosão atingir o limite de -350 mV.

Corpo de Prova		y = ax + b		R ²	y=-350	Dias até -350 mV	
Material	Ferro	a(x)	b		x =	Equação	gráfico
C	SP	-7,17	-355,77	0,1744	-0,80474	0	0
C	Ni	-13,111	-266,44	0,5729	6,373274	6	21
C	Zn	-16,869	-229,91	0,6376	7,118976	7	21
AP	SP	-9,2699	-243,85	0,3801	11,45104	11	40
AP	Ni	-4,2995	-213,33	0,203	31,78742	31	>84
AP	Zn	-12,016	-140,56	0,6786	17,43009	17	63
G	SP	-0,904	-284,38	0,0068	72,5885	72	>84
G	Ni	-4,6464	-212,22	0,2238	29,65306	29	>84
G	Zn	0,7799	-333,28	0,0087	-21,4386	0	>84
C+AP	SP	-78672	-358,68	0,2211	-0,00011	0	0
C+AP	Ni	-12,266	-237,03	0,5577	9,210011	9	28
C+AP	Zn	-11,21	-276,34	0,2917	6,570919	6	26
C+G	SP	-12,852	-242,3	0,5528	8,380019	8	28
C+G	Ni	-12,208	-156,46	0,6119	15,85354	15	58
C+G	Zn	-8,42029	-221,41	0,577	15,27145	15	58

Nota-se que os tempos determinados através das equações das retas representativas das curvas de variação dos potenciais de corrosão diferem daqueles observados nos gráficos, numa relação de aproximadamente 3,5 vezes entre eles, mantendo a mesma ordem, ou seja, a argamassa polimérica e o graute tem um

desempenho superior ao concreto e, este desempenho melhora com o uso de inibidores de corrosão a base de nitrito e zinco.

Para uma melhor visualização, o Gráfico 6.3.1 mostra a comparação dos tempos para o início da corrosão nos reparos totais e parciais com o uso dos materiais escolhidos para a pesquisa:

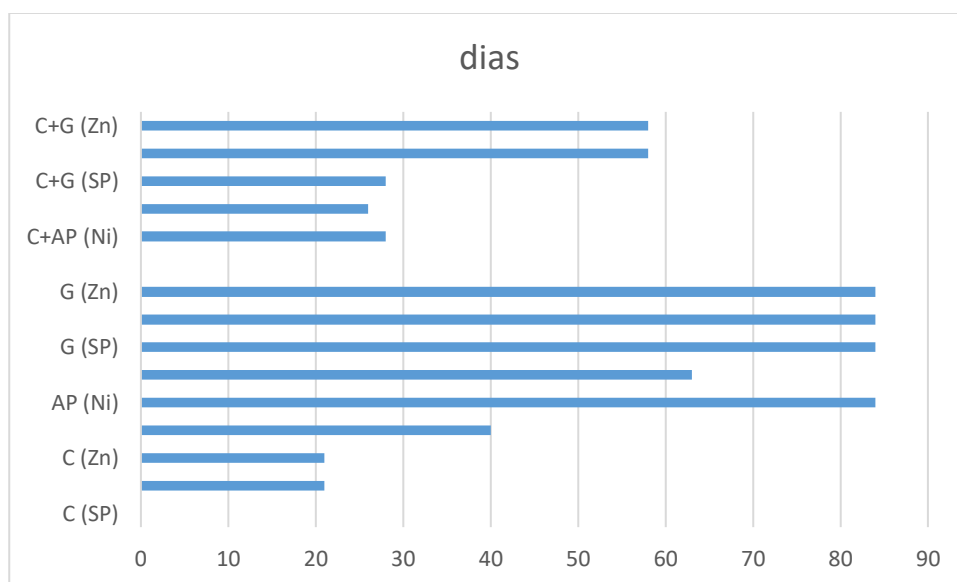


Gráfico 6.3.1. Relação de tempos até o início da corrosão no aço.

Nota-se que a argamassa polimérica e o graute proporcionam maior proteção que o concreto de referência, devido as suas propriedades físicas relacionadas com a compactidade índices de vazios e absorção (tabela 5.2.3.6) quando envolvem integralmente as barras de aço, ou seja, em reparos totais.

Também ficou comprovado que o uso da argamassa polimérica e do graute, mesmo quando cobrem apenas, parcialmente o aço, estando este com ou sem proteção extra proporcionada por inibidores de corrosão, obtem-se resultado melhores do que o concreto.

6.4. A perda de massa em barras de aço devido ao ataque de cloretos.

Na primeira pesquisa sobre a corrosão no concreto armado por indução de cloretos, as barras de aço foram pintadas com inibidores à base de nitrito e zinco. Após 12 ciclos, as amostras foram quebradas para pesagem das barras.

Nesta pesquisa preliminar, a avaliação da perda de peso do aço foi comprometida porque a pesagem inicial foi realizada com as barras já pintadas com os inibidores de corrosão e, o concreto, argamassa polimérica e graute ficaram tão aderido aos revestimentos que estes se desprenderam parcialmente das barras tornando e misturando os resultados de perdas de aço do revestimento e do aço.

A investigação foi completamente refeita, desta vez todas as barras sofreram a limpeza padronizada de acordo com o procedimento descrito pela ASTM G1-90 e pesadas antes da pintura com tintas à base de nitrito e zinco. A pesagem final foi realizada após os ciclos de secagem e umedecimento em solução de NaCl, e após a limpeza padronizada, seguindo o mesmo procedimento inicial para que fosse avaliada apenas a perda de massa das barras de aço.

No entanto, o concreto, a argamassa polimérica, o graute e as tintas aderem tão firmemente ao aço que a limpeza padronizada não remove completamente essas tintas e materiais cimentícios. Foram empregados também solventes diversos, inclusive para tintas a base de epóxi, mas mesmo assim, algumas as barras não ficaram completamente limpas.

A respeito da dificuldade em remover a pintura em ensaios semelhantes, Cabral (2000, p. 162) relatou a "dificuldade em remover óxidos e outros produtos aderidos às barras dos sistemas de reparo com adição de SBR e revestimento a base de zinco" resultando em aumento da massa gravimétrica em algumas barras.

A remoção mecânica com lixa de aço, palha de aço e escovas de cerdas metálicas não é recomendada, pois pode remover parte da barra de aço. Mesmo assim, foi necessário usar o lixamento, especialmente nas tintas à base de zinco. Isso pode ter sido responsável pela maior perda de massa das barras pintadas com zinco, que se

aproximou da perda de massa das barras de aço sem proteção que teve a limpeza facilitada.

Na Figura 6.4.1 são mostradas fotos das barras de aço aderidas aos reparos após a quebra dos corpos de prova.



Figura 6.4.1. Fotos das barras aço aderidas aos reparos.

Pode-se ver a condição de barras de aço desprotegidas e revestidas com nitrito retiradas de amostras de concreto na Figura 6.4.2.



Figura 6.4.2. Fotos de barras de aço sem proteção e com nitrito.

A Figura 6.4.3. Mostra as barras retiradas de corpos de prova feitos com graute.



Figura 6.4.3. Barras de aço de Φ 5,0 mm após os ensaios de corrosão acelerada.

Ao final do processo, notou-se que a avaliação da perda de massa em barras desprotegidas ou pintadas pode ter alguma imprecisão e é recomendável que sejam comprovadas em novas pesquisas. Mesmo assim, os dados obtidos estão registrados no Anexo 8 e são apresentados na tabela 6.4.1, até porque seguem a tendência verificada nas medições dos potenciais de corrosão.

Tabela 6.4.1:

Avaliação da perda de massa em barras de ferro

Massa	data	Nitritos	Zinco	Sem proteção
Massa Inicial	03/09/2019	387,10	385,52	388,54
número de barras		28	28	28
Massa unitária		13,82	13,76	13,87
Massa final	07/07/2020	382,47	380,04	328,27
número de barras		28	28	24*
Massa unitária		13,66	13,57	13,67
perda de massa	Gramas	0,16	0,19	0,20
perda de massa	%	1,19%	1,42%	1,43%

* Nota: Durante a reforma e pintura de Laboratório, na UNIFOR, antes da pandemia e do fechamento da Universidade por um ano, quatro barras de aço não pintadas foram perdidas, tornando o número de barras desigual. Por isso, obteve-se por dividir a massa total de cada grupo de barras na mesma condição (por exemplo: barras

pintadas com zinco) devida pela quantidade de barras, obtendo-se o peso médio da perda de massa. Portanto, a comparação é feita entre a perda média das barras para a condição de sem proteção, com proteção a base de zinco e proteção a base de nitrito.

Gráficamente os resultados são apresentados no Gráfico 6.4.1.

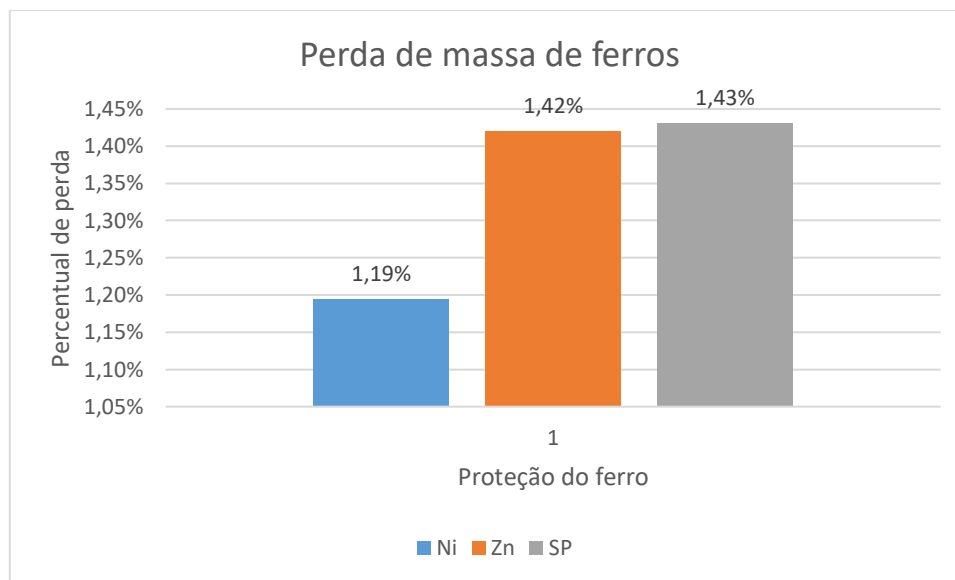


Gráfico 6.4.1 Porcentagem de perda de massa em barras de ferro

Os resultados de perda de massa, embora imprecisos, corroboram os resultados das medidas de potenciais de corrosão apresentadas nas seções 6.1, 6.2 e 6.3.

No entanto, a pesquisa realizada foi limitada no número de amostras e deve ser entendida como um indicativo da adequação do uso de inibidores de corrosão em reparos estruturais.

Concluindo, nesta pesquisa, a tinta inibidora à base de zinco é equivalente à proteção conferida pela alcalinidade da matriz cimentícia do concreto, e a tinta à base de nitrito foi mais eficiente na preservação da massa das barras de aço durante o ensaio. Isso está de acordo com González et al. (1998), Villenur e Barbosa (1998).

7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta tesis es evaluar la práctica habitual y más cautelosa de realizar reparaciones estructurales sin debilitar excesivamente los elementos estructurales ya debilitados (eliminando solo la capa de recubrimiento) en comparación con la eliminación de todo el hormigón carbonatado o contaminado con cloruros.

Las metodologías de reparación estructural recomendadas por organismos internacionales indican la remoción de hormigón alrededor de las barras oxidadas para permitir su completa desoxidación y envolverlas con nuevos materiales en la búsqueda de reparaciones duraderas.

Sin embargo, este procedimiento requiere de recursos humanos, técnicos y económicos que pueden tener un gran impacto en las habituales reparaciones de los daños que se observan en muchos edificios, que por lo general cuentan con escasos recursos económicos.

Por lo tanto, se busca verificar si esta práctica habitual, utilizando materiales industrializados y comercializados en el mercado, asociada a productos que pueden controlar la corrosión sin remover todo el hormigón que envuelve las barras afectadas, podría proporcionar un aumento en la vida útil de una edificación beneficiosa para sus usuarios e incluso para el medio ambiente al ahorrar recursos naturales, sin necesidad de costosos e inconvenientes apuntalamientos.

La metodología escogida para llevar a cabo la evaluación, aunque tiene sus limitaciones, fue monitorear los potenciales de corrosión (ya utilizados por muchos investigadores) en cuerpos prismáticos moldeados con concreto con las características del concreto más utilizado en estructuras de hace 30 años, el mortero polimérico y el Graute, con dos barras de acero insertadas en condiciones sin inhibidor de corrosión y con aplicación de inhibidor a base de nitrito y a base de zinc, por ser los materiales más

utilizados hoy en día en reparaciones estructurales. Se eligieron materiales disponibles en el mercado, de diferentes fabricantes.

CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación mostró que, en comparación con el hormigón de referencia, el Graute y el mortero polimérico tienen un desempeño superior en la protección del acero, ya sea por la formación de la película pasivante debido a la alcalinidad de sus matrices de cemento, o por el menor índice de vacío y menor tasa de absorción de agua, presentadas en la Tabla 5.2.3.6 y también como se puede observar en el Gráfico 6.2.1.1.

Los inhibidores a base de nitrito (inhibidor anódico) y a base de zinc (inhibidor catódico) utilizados en forma de pintura, aplicados sobre barras de acero, disminuyeron el potencial de corrosión en todas las situaciones, es decir, en combinación con el concreto, (Gráfico 6.2.1.2) con el mortero polimérico (Gráfico 6.2.1.3) y con el graute (Gráficos 6.2.1.4).

En reparaciones parciales, las probetas tienen alma de hormigón, acero (con y sin protección) y la reparación con mortero polimérico o graute. Se ha demostrado que los inhibidores de corrosión continúan siendo efectivos para prolongar el inicio de la despasivación del acero en estas dos situaciones. Gráficos 6.2.2.1 (reparación con mortero polimérico y Gráfico 6.2.2.2 (reparación con graute).

Aunque, con cierta imprecisión, por razones operativas en la eliminación de las pinturas para el pesaje final de las barras, el uso de inhibidores de corrosión dio como resultado una menor pérdida de masa de acero por corrosión en comparación con el acero sin protección. (Gráfico 6.3.1).

CONSIDERACIONES FINALES

Las investigaciones han demostrado que los materiales industrializados disponibles en el mercado son aptos para reparaciones estructurales y que cumplen con lo que Mailvaganam (1992) indicó como propiedades esenciales para los materiales de reparación, que son estabilidad dimensional, impermeabilidad y afinidad con el hormigón.

Ormelese et al (2006) reportó que todos los inhibidores orgánicos pueden retrasar el inicio de la corrosión inducida por cloruros y esto se relaciona con una reducción en la velocidad de penetración de los cloruros en el concreto, incluso reduciendo la entrada de cloruros al llenar los poros del concreto y más tiempo bloqueando la porosidad del hormigón mediante la formación de compuestos complejos. Los inhibidores a base de nitritos se consideran los productos más efectivos disponibles en el mercado.

Respecto al zinc, es decir, la protección catódica, según Giudice y Canosa (2016, p. 236) afirman que “La protección catódica es el procedimiento más eficaz para prevenir la corrosión, aplicándose en estructuras de hormigón desde hace más de 30 años. Este sistema de protección de barras de refuerzo es efectivo en estructuras nuevas y existentes particularmente afectadas por aniones de cloruro”.

Sin embargo, el mejor desempeño fue la combinación de inhibidores de corrosión a base de nitritos que recubren la barra de acero y la reparación o reconstitución de la sección del elemento estructural con graute, tanto en las reparaciones totales como en las reparaciones parciales. Ver Tabla 6.3.1.

Por lo tanto, es claro que los productos a base de zinc y nitrito son importantes para la reparación de manifestaciones patológicas resultantes de la corrosión del refuerzo del hormigón. Son más eficientes que la alcalinidad de la matriz de cemento del hormigón, responsable de la pasivación del acero.

Dado el objetivo de la tesis, los ensayos demostraron que utilizando inhibidores de corrosión y cubriendo con mortero polimérico, las reparaciones parciales pueden ser adoptadas como correctas, pues presentaron mejor desempeño en la protección del acero y en el control del avance del proceso corrosivo que el hormigón, sin aumentar el riesgo de colapso de la estructura.

Por lo tanto, utilizando inhibidores de corrosión, la reparación parcial, cuando solo se elimina la capa de recubrimiento de la armadura, contribuye a prolongar la vida útil de una estructura desgastada por el tiempo y por los agentes agresivos presentes en el medio ambiente.

Los inhibidores de corrosión pueden entenderse como los medicamentos utilizados en medicina para permitir que los pacientes convivan con enfermedades crónicas.

Cabe señalar que, siempre que sea seguro, los agentes agresivos que puedan entrar en contacto con la armadura en el lugar afectado deben eliminarse por completo, si bien el resto de la estructura sigue teniendo sus condiciones originales modificadas por el tiempo de uso.

Por supuesto, si se elimina todo el hormigón carbonatado o contaminado con cloruros, no hay necesidad de aplicar inhibidores de corrosión al refuerzo, ya que el acero volverá a entrar en contacto con el nuevo mortero u hormigón altamente alcalino.

Sin embargo, el nuevo código del *American Concrete Institute* enfatiza el desempeño en lugar de los requisitos prescriptivos, fomenta la creatividad y la flexibilidad, promueve la innovación y los nuevos materiales, establece parámetros para aumentar la seguridad de la estructura (seguridad equivalente) para prolongar la vida útil y busca alternativas sostenibles y económicamente viables. (ACI-19, 2016).

Además, se debe entender que las estructuras necesitan un cuidado permanente y sistemático, el cual debe ser parte de un programa integral de mantenimiento del edificio, ya que otras manifestaciones pueden ocurrir con el tiempo en otras partes de la estructura que ya ha sido reparada.

Cuando la remoción electroquímica de cloruros y la realcalinización del concreto estructural es una práctica común, sin duda será una mejora en las recuperaciones estructurales, pero hasta entonces, los inhibidores de corrosión en el refuerzo pueden desempeñar un papel importante en la preservación del uso de estructuras de concreto reforzado.

Por lo tanto, siempre que sea necesario remover parte del concreto de la sección resistente de los elementos estructurales, la planificación de la reparación estructural siempre debe realizarse con el objetivo principal de mantener la estabilidad estructural por encima de cualquier otra consideración, incluida la remoción de contaminantes para un posible aumento de la durabilidad del reparo.

FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Sería interesante saber cómo se comportan los materiales y formas de las reparaciones parciales cuando el hormigón del núcleo ya está carbonatado o contiene un contenido de NaCl superior al aceptado por las normas técnicas.

Se espera que surjan más investigaciones con mayor número de probetas y mejores equipos, incluyendo el seguimiento de la evolución de la velocidad o tasa de de la corrosión a lo largo del proceso, que se puede obtener con el Metodo de la Resistencia de Polarizacion y comparar la pérdida de masa gravimétrica con la pérdida de masa eletroquímica através de la Ley de Faraday.

Incluso, evaluar la eficiencia de estos materiales en ensayos de carbonatación acelerada, que es un proceso más lento y menos agresivo, pero mas frecuente.

También sería bueno probar nuevos materiales de reparación que ya tengan incorporados inhibidores de corrosión y fibras sintéticas.

REFERENCIAS

ACI 562 – 19 (2016). Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures.

ACI Committee 318 (2004). Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05) y Comentario. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 492 p.

ACI Committee 222R – 01. (2002). Protection of metals in concrete against corrosion. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan. Aceso en 04/04/2020. <https://www.passeidireto.com/arquivo/75013590/aci-american-concrete-institute-aci-222-r-0>.

ACI 201.2R. (2008). Guide to Durable Concrete: reported by ACI Committee 201. 2008. p. 1-53. Farmington Hills, Michigan, US.

ACI Committee 222 (1991). ACI manual of concrete practice. Detroit, 1991. V.1: Corrosion of metals in concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.

ASTM – G1: (2003). Preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens. American Society for Test Materials. Philadelphia.

ASTM G1-90. (1994). Standard practice for preparing, cleaning and evaluating test specimens. American Society for Test Materials. Philadelphia.

ASTM – C 876: (1991). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete corrosion potential. American Society for Test Materials. Philadelphia.

ASTM – C 876: (1991). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete corrosion potential. American Society for Test Materials. Philadelphia.

ASTM C 1202 (2004). Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. <https://www.astm.org/c1202-22.html>.

ASTM C 1556 (2004). Standard Test Method for Determining the Apparent Chloride Diffusion Coefficient of Cementitious Mixtures by Bulk Diffusion. <https://www.astm.org/c1556-11ar16.html>

Andrade, C. (1992). Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. PINI, São Paulo.

Araújo, F.W. C. (2009). Estudo da repassivação da armadura em concreto carbonatado através da técnica de realcalinização química. Tese de Doutorado. EPUSP. São Paulo.

ABNT, NBR 6118. (2014). Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 6120 (2020). Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 8522 (1984). Módulo de elasticidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NB – 1 (1960). Cálculo e execução de obras de concreto armado. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 11578 (1991) Cimento Portland Composto. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 15.575 (2013). Desenpenho de edificações habitacionais. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 5674 (2012). Manutenção das edificações: Requisitos para o sistema de gestão da manutenção. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 5738 (2015). Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 5739 (2007). Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 6118 (2014). Estrutura de concreto armado II. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 7211 (2005). Agregados para concreto - Especificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 7480 (2018). Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 8802 (2013). Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 9204 (2012). Concreto endurecido – Determinação da resistividade elétrica volumétrica – Método de ensaio, 2012. 12p. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 15900 (2009). Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 95739 (1993). Migração por cloretos, ensaios mecânicos como a resistência à compressão. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 9778 (2005). Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

BASF (2017). Manual Técnico Aceso em 29/05/2019. <https://assets.master-builders-solutions.basf.com/pt-br/basf%20>.

Batagin, I. L. (2019). Aspectos conceituais de soluções ecoeficientes em concreto com vistas à normalização. *Concreto & Construções*. Ed. 95. Jul – Set. IBRACON. São Paulo.

Bauer, E. (2005). Pastas, Argamassas e Grautes. In: *Concreto, ensino Investigación e realizações*. 2 v. Ed. Geraldo C. Isaías. IBRACON. São Paulo.

Bertolini, L. (2017). *Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção*. 3. ed. Oficina de Textos. São Paulo.

Botelho, M. H. C. (1993). *Concreto armado eu te amo*. Ed. Edgard Blücher, São Paulo.

BS EN 1254-4 (2004). *Testing Concrete. Determination of ultrasonic pulse velocity*. British Standards. London.

Cabral, A. E. B. (2000). *Avaliação da eficiência de sistemas de reparo no combate à iniciação e a propagação da corrosão do aço induzida por cloretos*. Dissertação de mestrado. EFRS. Porto Alegre.

Campos, A. M. R. e Cabral A. E. B. (2016). Estudo da agressividade do ar atmosférico de Fortaleza/Ce. Dissertação de Mestrado. DEECC/UFC. Fortaleza.

Cascudo, O. (2005). Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto armado com problemas de corrosão da armadura. In: Concreto, ensino Investigación e realizações. 2 v. Ed. Geraldo C. Isaia. IBRACON. São Paulo.

Cascudo, O. (1997). O controle da corrosão de armaduras em concreto. 2.ed. PINI, UFG, Goiana.

CEB Comitê Euro-International du Beton, Nº 192. 1988. Diagnosis and Assessment of Concrete Structures. State of the Art Report. Lausanne.

Chies, J.A. (2014). Ensaio não destrutivo em concreto: detecção de falhas no interior da estrutura de concreto com uso de ultrassom. UFRS PPGEC. Porto Alegre.

Cimento.org. (2019) CP II F – Cimento Portland composto com Fíler. Acesso em 29/05/2019.

CONFEA. (2002). Lei 6.194:66. Código de Ética Profissional da Engenharia, Agronomia, Geologia, Geografia e da Meteorologia. Brasília: Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. <http://www.confea.org.br/sites/default/files/uploads>, Acesso em 21/04/2020.

CIRSOC 201: Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, (2005). <https://hormigonelaborado.com/wp-content/uploads/2019/07/18-CIRSOC-201-Reglamento.pdf>. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad Para as Obras Civiles. Buenos Aires – BA. Acesso em 29/08/2021.

EN ISO 8044. Corrosion of Metals and Alloys. Basic Terms and definitions.(2015). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8044:ed-4:v1>. Acesso em 25/04/2020. European Committee for Standardization. Bruxela – Bélgica.

FIB Bulletin, 14. (2008). Guide to good practice. Concrete structure management. Guide to ownership and good practice. 2008. Fédération Internationale du Béton.

FIB Bulletin, 53. (2010). Model codes for structural concrete textbook on behavior, design and performance. 2ª Ed. 3 v. 2010. . Fédération Internationale du Béton.

- Figueredo, C.R. (1998). Contribuição ao estudo da capacidade de proteção de argamassas com sílica ativa para reparos estruturais. Dissertação de Mestrado. 196 p. Universidade de Brasília. Brasília.
- Figueredo, E.J.P.; Helene, P.; Andrade, C. (1993). Fatores determinantes da iniciação e propagação da corrosão da armadura do concreto. Boletim Técnico, n.121. Escola Politécnica da USP. São Paulo.
- Fontenele, A. D. Mourão, A. S. Cabral, A.E.B. Diógenes, A. G. Paschoal, C. M. M. (2016). Fatores intervenientes na resistividade superficial do concreto. Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto. ISSN 2175-8182. Belo Horizonte – MG.
- Freire, K.R.R. (2005). Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto. Dissertação de Mestrado). 192 p. UFPr. Curitiba – PR.
- Fusco, P. B. (2008). Tecnologia do Concreto Estrutural: tópicos aplicados. 1.ed. Pini, ISBN 978-85-7266-200-0. São Paulo – SP.
- Galvele, J.R. (1979). Corrosion. Departamento de Materiales. Comisión Nacional de Energía Atómica. Buenos Aires.
- Gerhardt, T.E.; Silveira, D.T. (2009). Métodos de Investigación. 1 ed. UFRGS. Porto Alegre.
- Gil, A. C. (2019). Métodos e Técnicas de Investigación social. 7. ed. Atlas. São Paulo.
- Gentil, V. (1994). Corrosão. Rio de Janeiro: LTC.
- Giudice, C.A. Canosa, G. (2017). Protección de materiales metálicos. 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: edUTecNe, 2017. 270 p. ; 22 x 17 cm. ISBN 978-987-1896-70-7 (papel)
- Giudice, C.A. (2016). Corrosión metálica y mecanismo de protección de los pigmentos inhibidores en pinturas. Notas de clases. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE
- Giudice, C.A. (2016). Corrosión metálica y mecanismo de protección de los pigmentos inhibidores en pinturas. Notas de aulas. Fortaleza: UFC, 2016
- Gjøv, Odd E. (2014). Durability and design of concrete structures in several environments. CRC Press. 2. ed. Oficina de Textos. São Paulo – SP.
- Globo Geografia. (2016). www.educacao.globo.com/geografia/assunto/urbanizacao-mundial.html. Acessado em 11/07/2016.

González, J.A.; Otero, E.; Feliu, S.; Bautista, A. Ramirez, E.; Rodriguez, P; López, W. (1998). Some considerations on the effect of chloride ion on the corrosion of Steel reinforcements embedded in concrete structures. Magazine of Concrete Research, Vol.50. Nº 3. P. 189 -199.

Hailong Ye, Xianyu Jin, Chuanqing Fu, Nanguo Jin, Tao Huang. (2016). Chloride penetration in concrete exposed to cyclic drying-wetting and carbonation. Construction and Building Materials, 457-463. Acesso 23/08/2021.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.194>.

Helene, Paulo R.L. (1992). Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. Pini. São Paulo.

Helene, P.R. L. (2018). Introdução. En Corrosão e degradação em estruturas de concreto; Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção (pp. 1 – 10). Elsevier. Rio de Janeiro – RJ.

Helene, P.R. L. (2014). A Nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/185.pdf>.

Helene, P.R. L. et al. (2003). Procedimentos de preparo e limpeza do substrato. Red Rehabilitar Editores. São Paulo.

Helene, P.R. L. (1997). Introdução à durabilidade no projeto das estruturas de concreto. Workshop sobre durabilidade das construções. UNISINOS/ANTAC. São Leopoldo – RS.

Helene, P.R. L. (1993). Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. Tese de livre docência. 231 p. São Paulo: USP.

Helene, P.R. L. Monteiro, P.J.M. (1993). Reparos localizados podem ser considerados soluções eficientes para correção de problemas de corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado? II Congreso iberoamericano de patología de la construcción y IV Congreso de control de calidad. ALCONPAT Int. Barquisimeto. Anais

Helene, P.R. L. (1992). Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. Pini. São Paulo.

Helene, Paulo R.L. (1988). Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto. Pini. São Paulo.

Helene, Paulo R.L. (1986). Corrosão em armaduras para concreto armado. IPT. Pini. São Paulo.

IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias. Norma de Inspeção Predial Nacional. (20120. IBAPE. São Paulo.

Jun Liu, Qiwen Qiu, Xiaochi Chen, Feng Xing, Ningxu Han, Yijian He, Yueshan Ma. Understanding the interacted mechanism between carbonation and chloride aerosol attack in ordinary Portland cement concrete. *Cement and Concrete Research*, Volume 95, 2017, Pages 217-225, ISSN 0008-8846, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.032>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884616311309>)

Kepner, Charles H. & Tregoe, Benjamin B. (1980). O Administrador Racional: Uma Abordagem Sistemática à Solução de Problemas e Tomada de Decisões; 2ª Edição. Editora Atlas. São Paulo.

Lourenço, M. Z. e Souza, C.A. (2018). Métodos de proteção e aumento da durabilidade do concreto armado. *In* Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise. [2. ed]. Rio de Janeiro: Elsevier.

Lorenzi, A. (2003). Utilização de ultrassom para monitoramento de estruturas de concreto. Pan American Conference for Nondestructive Testing. Anais. ABENDI, Rio de Janeiro.

Lucena, C.M. (2016). Avaliação da eficiência de uma câmara de carbonatação acelerada projetada e montada em laboratório. Dissertação de Mestrado. Natal: UFRGN/PPGEC.

Mailvaganam, N.P. (1992). Repair and protection of concrete structures. Boca Raton, Fla : CRG Press. US.

Maldonado, N.G y Carrasco, M.F. (2016). Ese material llamado hormigón. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, ISBN: 978-987-21660-5-2. Buenos Aires.

Marconi, M. D. A; Lakatos, E. A. (2019). Fundamentos de Metodologia Científica. 8. ed. Atlas. São Paulo.

Medeiros, A.H.F, Andrade, J.J.O. Helene, P. (2011). Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: Isaia, G.C. (Org.) 1. ed. Concreto: Ciência e Tecnologia. IBRACON, v.1, p.887-902. São Paulo.

Medeiros, M.H.F; Gobbi, A; Réus, G.C. Helene, P.R.L. (2013). Reinforced concrete in marine environment: effect of wetting and drying cycles, height and positioning in relation to the seashore. Construction and Building Materials. <http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/ar123.pdf>.

Mehta, P.K. e Monteiro, P.R. (2014). Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. Plni. 4ª. ed. São Paulo.

Monteiro, E.B. Reabilitação de estruturas de concreto. (2005). Concreto: Ensino, Investigações e Realizações / ed. G.C. Isaia. IBRACON. São Paulo.

Monteiro, P.R.; Trautwein, L.M. e Almeida, L.C. (2020). The importance of european standard EN 1504, on the protection and repair of concrete structures. Springer International Publishing Switzerland, 2017. <https://doi.org/10.1007/s41024-017-0022-0>. En 19/04/2020.

Montenon, A.M.P, Simões, A.M.P, Ferreira, M.G.S. (2003). Chloride-induced corrosion on reinforcing steel: from the fundamentals to the monitoring techniques. Cement & Concrete Composites 25 (2003) 491–502. www.elsevier.com/locate/cenconcomp.

Moreira, M.M.M. Análise interativa de situações de reforço e recuperação de peças de concreto armado empregando o método dos elementos finitos. Porto Alegre: UFRS, 2002.

Nepomuceno, A.A. (1992). *Comportamiento de los morteros de reparación frente a la carbonatación y a la penetración de cloruros en estructuras de hormigón armado dañadas por corrosión de armaduras – Estudio mediante la técnica de resistencia de polarización*. 371 p. Tesis (Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. 371 p. Madrid.

Neville, A. M. (1997). Propriedades do concreto. 2. ed. Pini. São Paulo.

Newmann Alexander. (2001). *Structural Renovation of Buildings*. New York: McGraw-Hill.

- Nunes, Douglas Garcez. (2014). Carbonatação acelerada em concreto compostos com cinza de casca de arroz de diferentes teores de carbono grafítico. Dissertação de Mestrado. 149 p. UFSM. Santa Maria – RS.
- ODD, E, Gjrv. (2014). Durability and Design of Concrete Structures in Several Environments. CRC Press. 2. ed.
- Ormellese, M., Berra. M., Pastore.T. (2006). Corrosion inhibitors for chlorides induced corrosion in reinforced concrete structures. Cement and Concrete Research 36 (2006) 536 – 547. www.sciencedirect.com. Acesso em 23/10/2021.
- Pacheco, F et all. (2016). Avaliação da penetração de íons cloretos em traços de concreto de acordo com as especificações da ABNT 6118. Anais do CBPAT. Belém-Pa.
- Pacheco, j.; bilesky, P.; morais, T.R.; grando, f.; helene, P. (2014). Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto. 56º IBRACON. ISSN 2175-8182. IBRACON. Natal.
- Pauletti, C. Possan, E. Dal Molin, D. C. C. (2007). Carbonatação acelerada: estado da arte das Investigações no Brasil. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. v 7, n.4. p 7-20. ISSN 1678-8621. Porto Alegre.
- Pazini, E. (2016). Ensaio eletroquímico para avaliação da corrosão das armaduras. IBRACON. Belo Horizonte.
- Pazini, E.F. (2010). Corrosão e degradação dos Materiais. Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais. Ed. G.C. Isaia. 2.ed. IBRACON. 1V. ISBN 978-85-98576-14-5. São Paulo.
- Pazini, E.F. (2005). Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto: um problema de resistência, fissuras e deformações. Concreto: Ensino, Investigações e Realizações / ed. G.C. Isaia. IBRACON. São Paulo.
- Pazini. E.F. et Meira, G.R. (2013). Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón. Boletín nº 6. Alconpat Internacional. Mérida.
- Positieri. M.J., Gioia, C. (2017). Tecnología del Hormigón. Guia de Ensayos. Educo. Córdoba.
- Possan, E. (2010). Modelagem da carbonatação e previsão da vida útil de estruturas de concreto armado em ambiente urbano. Tese de doutorado em Engª. Civil. UFRS. Porto Alegre.

- Proceq S.A. (2015). Canin. Corrosion Analyzing Instrument. Operating instructions. Switzerland. Schwerzenbach.
- Proceq S.A. Pundit PL 200. (2015). Shear Wave Transducers 250 kHz. Operating Instructions. Switzerland. Schwerzenbach.
- Proceq S.A. (2015). Resipod Operating Instructions. Switzerland. Schwerzenbach.
- Quesada, G. (2005). Procedimentos de Reparos. Red Reabilitar. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto armado. Red Reabilitar Editores. São Paulo.
- Raggiotti, Bárbara Belén. (2005). Hormigones com adiciones activas: Diseño, optimización y caracterización con criterio de sustentabilidad. Tesis de doctorado en Ingeniería, Mención Materiales. UTN. Córdoba - Ar.
- Red Reabilitar. (2003). Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto, Reparo, Reforço e Proteção. Red Reabilitar Editores. São Paulo.
- Ribeiro, D. V. (2018). Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise. 1.ed. Elsevier. Rio de Janeiro.
- Ribeiro, D. V. e Cunha; M. P. T. (2018). Uso de técnicas de avaliação e monitoramento da corrosão em estruturas de concreto armado. Corrosão e degradação em estruturas de concreto armado: teoria, controle e técnicas de análise e intervenção. Elsevier. Rio de Janeiro.
- Ribeiro, J.L.S. (2009). Contribuição para a avaliação da compatibilidade eletroquímica entre argamassas de reparo e concreto carbonatado. USP. São Paulo.
- SEUMA - Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Fortaleza. (2013). Relatório de andamento e diagnóstico do sistema de abastecimento de água. https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/infocidade/diagnostico_de_abastecimento_de_agua.pdf. Acesso 05/09/2021.
- Silva, Turíbio J. Evangelista, Wenerton L. (2006). Comportamiento de Prototipos de Columnas de Hormigón Armado Post-Reparación Parcial ejecutada bajo carga. Revista Ingeniería de Construcción Vol. 21 Nº. 2. www.ing.puc.cl/ric.

Song, Ha-Won. Saraswathy, V. (2007). Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures - A Review. International Journal of Electrochemical Science. www.electrochemsci.org.

Sousa, C.A. C.; (2018). Princípios da corrosão eletroquímica. En Corrosão e degradação em estruturas de de concreto\; Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção (pp. 11 – 32). Elsevier. Rio de Janeiro.

Souza, V. C. M y Ripper, T. (1998). Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. PINI. São Paulo.

Söylef, T.A. e Richardson, M.G. (2006). Corrosion inhibitors for steel in concrete: state-of-the-art report. Science Direct. Construction and Materials. Elsevier. Disponível en www.sciencedirect.com en dezembro de 2006.

Torrent, R., “Un Enfoque Innovador para Asegurar la Durabilidad de las Estructuras”, Proc. 1er. Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón, pp. 253-266, Buenos Aires, Argentina, 1998.

Torres, A.S. (2011). Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta análise. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. UFRS. Porto Alegre.

Vedacit Impermeabilizantes. (2019). Manual Técnico, 48ª Edição. Acesso 29/05/2019. <http://www.vedacit.com.br/uploads/biblioteca/manual-tecnico-vedacit-5.pdf>.

Villenor, O. M.; Barbosa, M. R. (1998). Efecto del NaNO₂ sobre la corrosión del acero de armaduras en pasta de cemento. 1º International Congress of Concrete Technology. Anais p. 281 – 293. Buenos Aires.

Zerbino, R. L.; Carrasco, M.F. (2016). Hormigón endurecido. Ese material llamado hormigón. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Buenos Aires.

ANEXOS

Anexo 1: Características dos agregados

Anexo 2: Ensaio em concreto 1:2:3, argamassa polimérica e graute

Anexo 3: Fichas técnicas dos produtos

Anexo 4: Ensaio de migração/difusão de cloretos em concreto 1:2:3, argamassa polimérica e graute

Anexo 5: Ensaio de resistividade em concreto 1:2:3, argamassa polimérica e graute

Anexo 6: Ensaio de ultrassom em concreto 1:2:3, argamassa polimérica e graute

Anexo 7: Ensaio de corrosão induzida por cloretos em concreto 1:2:3, argamassa polimérica e graute

Anexo 8: Ensaio de perda de massa no aço em concreto 1:2:3, argamassa polimérica e graute

Anexo 1: Características dos agregados

GRANULOMETRIA AGREGADO MIÚDO			
PENEIRAS (mm)	MASSA RETIDA (g)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	PORCENTAGEM ACUMULADA (%)
4,75	0	0	0
2,36	49	4,9	4,9
1,18	216	21,6	26,5
0,6	330	33	59,5
0,3	293	29,3	88,8
0,15	85	8,5	97,3
FUNDO	27	2,7	100
TOTAL	1000	100	
DIÂMETRO MÁXIMO CARACTERÍSTICO (mm)		2,36	
MÓDULO DE FINURA		2,77	

GRANULOMETRIA AGREGADO GRAÚDO			
PENEIRAS (mm)	MASSA RETIDA (g)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	PORCENTAGEM ACUMULADA (%)
32	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	2,1	0,07	0,07
9,5	97,2	3,24	3,31
6,3	1859,5	61,98	65,29
4,8	771,2	25,71	91,00
FUNDO	270	9	100
TOTAL	3000	100	

DIÂMETRO MÁXIMO CARACTERÍSTICO (mm)	9,5
MÓDULO DE FINURA	5,94

MASSA ESPECÍFICA AGREGADO MIÚDO		
AMSTRA DE AREIA (g)	500	D = M/V
VOLUME INICIAL (cm ³)	200	D = 2,62 g/cm ³
VOLUME FINAL (cm ³)	391	
FORMULA: $D = \frac{500}{391-200} = 2,62 \text{ g/cm}^3$		

MASSA ESPECÍFICA AGREGADO GRAÚDO			
P1 = PESO DO CESTO AO AR (g)	127,5	P = P2-P1	1042,4
P2 = PESO DO CESTO + BRITA AO AR (g)	1169,9	P' = P3-P4	649
P3 = PESO DO CESTO + BRITA NA ÁGUA (g)	761,7	D = P/P-P'	2,65
P4 = PESO DO CERTO NA ÁGUA (g)	112,7		
FORMULA: $D = \frac{1042,4}{1042,4-649} = 2,65$			

MASSA UNITÁRIA DOS AGREGADOS										
EN SAI O	DIMENSÃO DO RECIPIENTE (cm)			MASSA DO RECIPIENTE (g)	MASSA BRUTA (g)			MASSA BRUTA MÉDIA (g)	MASSA DO AGREGADO (g)	MASSA UNITÁRIA (g/cm ³) OU (kg/dm ³)
	A	B	C		1	2	3			
a	31,6	31,6	15	6212	28667	28434	28262	28454,33	22242,33	1,48
b	31,6	31,6	20	7350	35216	35288	35490	35331,33	27981,33	1,40
c	CILINDRO Altura=30 Diâmetro=15			6190	14012	14140	14180	14110,67	7920,67	1,49
LEGENDA:										
a – Massa unitária do agregado miúdo no estado solto;										
b – Massa unitária do agregado graúdo no estado solto;										
c – Massa unitária do agregado graúdo no estado compactado.										

Anexo 2. Ensaio no concreto, argamassa polimérica e graute

2.1 Determinação da absorção de água por capilaridade

MASSA AO AR (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	417,7	470,7	446,9
P2	417,8	468,8	449,5
P3	419,5	465	450,8

MASSA APÓS 24 HORAS NA ESTUFA (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	378,8	449,7	419,9
P2	378,1	447,9	422,1
P3	380,5	445,8	424,3

MASSA APÓS 3 HORAS COM UMIDADE (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	380,1	452,1	421,3
P2	379,8	451,5	423,7
P3	382,1	448,5	426

MASSA APÓS 6 HORAS COM UMIDADE (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	380,7	453,2	422
P2	380,8	452,9	424,6
P3	382,9	449,8	427

MASSA APÓS 24 HORAS COM UMIDADE (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	382,4	454,8	423,2
P2	382,9	454,9	426,2
P3	384,7	451,6	428,6

MASSA APÓS 48 HORAS COM UMIDADE (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	384	455,7	424,5
P2	384,7	456,4	427,5
P3	386,3	452,7	429,8

MASSA APÓS 72 HORAS COM UMIDADE (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	385,5	456,9	425,3
P2	386,5	457,8	428,6
P3	387,8	453,9	430,7

MEDIDA DA ALTURA DO NIVEL DE ÁGUA (APÓS COMPRESSÃO DIAMETRAL) (cm)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	0	1,7	0
P2	0	2,3	0,8
P3	0	1,9	0

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE (g/cm ²)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	0,34	0,37	0,27
P2	0,43	0,5	0,33
P3	0,37	0,41	0,33

ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO CORPO DE PROVA: 19,64 cm²

2.2 Determinação da absorção de água por imersão

MASSA AO AR (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	419,7	470	454,1
P2	418,4	467,4	447,6
P3	416,9	468,7	446,3

MASSA APÓS 24 HORAS NA ESTUFA (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	382,2	451,5	427,8
P2	381,1	448,6	421,7
P3	378,8	448,7	420,4

MASSA APÓS 48 HORAS NA ESTUFA (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	377,7	451,5	424,8
P2	377,4	448,7	418,5
P3	375,8	448,4	417,5

MASSA APÓS 72 HORAS NA ESTUFA (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	375,4	451,4	422,4
P2	375,3	448,6	416,2
P3	373,6	448,4	415,1

MASSA APÓS 24 HORAS EM SATURAÇÃO (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	421,9	475,9	456
P2	421,1	472,7	449,9
P3	419,9	473,1	448,1

MASSA APÓS 48 HORAS EM SATURAÇÃO (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	422,5	476	456,3
P2	421,9	473,2	449,9
P3	420,4	473,5	448,4

MASSA APÓS 72 HORAS EM SATURAÇÃO (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	422,9	476,3	456,7
P2	422,3	473,9	450,2
P3	420,8	474,1	448,7

MASSA DA AMOSTRA IMERSA – BALANÇA HIDROSTÁTICA (g)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	225,7	277,8	260,5
P2	223,7	275,2	256,9
P3	223,4	275,6	257,3

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO – 72HS REF. (%)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	12,65	5,52	8,12
P2	12,52	5,64	8,17
P3	12,63	5,73	8,09

ÍNDICE DE VAZIOS – 72HS REF. (%)			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	24,09	12,54	17,48
P2	23,67	12,73	17,59
P3	23,91	12,95	17,55

MASSA ESPECÍFICA DA AMOSTRA SECA – 72HS REF.			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	1,9	2,27	2,15
P2	1,89	2,26	2,15
P3	1,89	2,26	2,17

MASSA ESPECÍFICA DA AMOSTRA SATURADA – 72HS REF.			
	ARGAMAMASSA	CONCRETO NORMAL	GRAUTE
P1	2,14	2,4	2,33
P2	2,13	2,38	2,33
P3	2,14	2,39	2,34

2.3 Ensaio de compressão Argamassa Polimerica



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Argamassa Polimérica
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Pesquisa Doutorado
 Responsável: José Emidio A. Bezerra
 Data de Moldagem: 09/11/2018

Dados Complementares

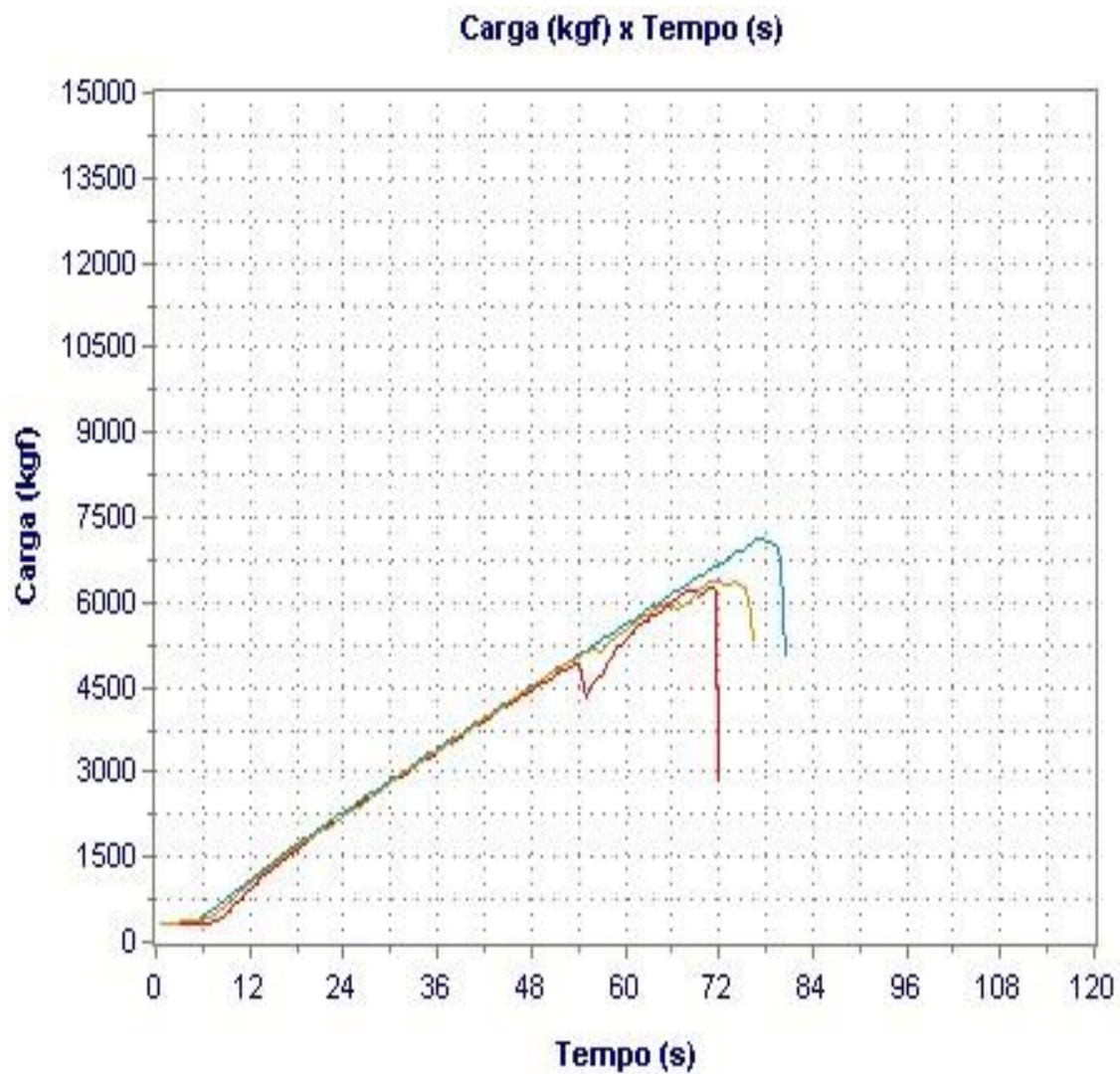
Tensão ruptura prevista:

Distância fixação extensômetro:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
CP 1	28	35,6 (MPa)	7.120 (kgf)	OUTROS
CP 2	28	31,2 (MPa)	6.250 (kgf)	OUTROS
CP 3	28	31,7 (MPa)	6.350 (kgf)	OUTROS

Gráfico dos Ensaio



Sexta feira, 7 de dezembro de 2018 13:04:34

2.4 Ensaio de compressão Concreto



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Concreto
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Pesquisa Doutorado
 Responsável: José Emidio A. Bezerra
 Data de Moldagem: 09/11/2018

Dados Complementares

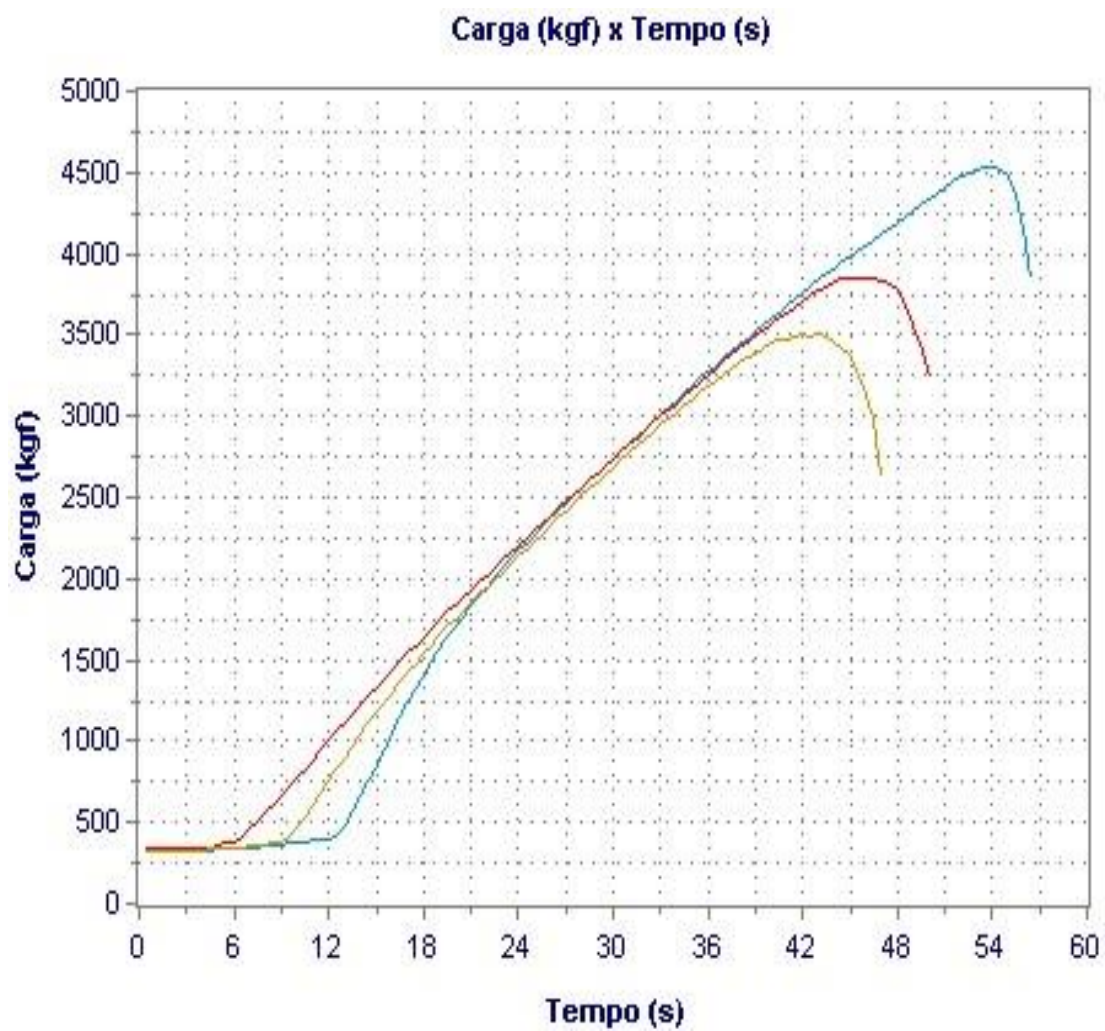
Tensão ruptura prevista:

Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
CP 1	28	22,7 (MPa)	4.540 (kgf)	OUTROS
CP 2	28	19,2 (MPa)	3.850 (kgf)	OUTROS
CP 3	28	17,5 (MPa)	3.500 (kgf)	OUTROS

Gráfico dos Ensaio



Sexta-feira, 7 de dezembro de 2018 13:44:39

2.5 Ensaio de compressão Graute



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Graute
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Pesquisa Doutorado
 Responsável: José Emidio A. Bezerra
 Data de Moldagem: 09/11/2018

Dados Complementares

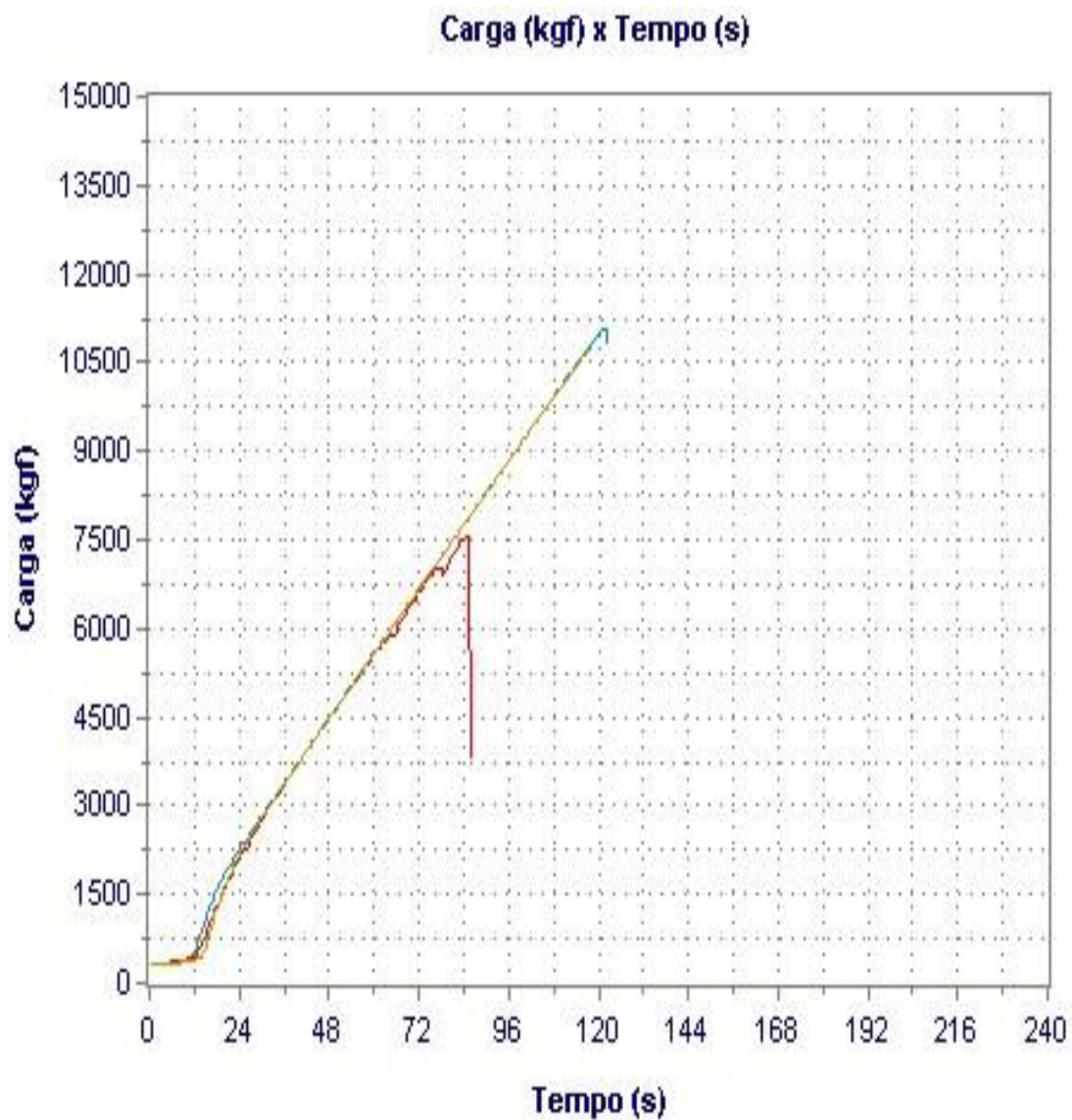
Tensão ruptura prevista:

Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
CP 1	28	55,2 (MPa)	11.050 (kgf)	CÔNICA CISALHADA
CP 2	28	37,9 (MPa)	7.580 (kgf)	CISALHADA
CP 3	28	53,6 (MPa)	10.740 (kgf)	CISALHADA

Gráfico dos Ensaio



Sexta-feira, 7 de dezembro de 2018 12:37

Anexo 3. FichaS técnicas dos produtos

3.1 Argamassa polimérica MasterEmaco® S 170



We create chemistry

MasterEmaco® S 170

Argamassa polimérica monocomponente para reparos estruturais com agente adesivo acrílico integrado

Descrição do Produto

MasterEmaco® S 170 é uma argamassa cimentícia polimérica com agente adesivo acrílico integrado formulada para serviços de reparos estruturais em estruturas de concreto.

MasterEmaco® S 170 é monocomponente, pronta para uso, bastando adicionar água nas dosagens indicadas na ficha do produto, para obter uma argamassa de consistência tixotrópica para aplicações manual ou por projeção com equipamento específico de argamassa.

Campos de Aplicação

- Preenchimento de reparos localizados rasos na consistência seca (*dry-pack*) em estruturas de concreto armado;
- Reparos estruturais em obras industriais, marítimas e portos;
- Preenchimento de reparos de elementos de concreto nas condições verticais, horizontais e fundo de lajes / vigas;
- Recomposição de cantos vivos e outros reparos em elementos pré-fabricados de concreto;
- Reparos localizados em pisos de concreto

Propriedades e Benefícios

- Consistência tixotrópica (não necessita de formas);
- Possui retração compensada (isenta de fibras sintéticas);
- Excelente aderência, não é necessária a imprimação do substrato com adesivo acrílico;
- Pode ser aplicado manualmente ou por projeção;
- Espessura de aplicação de 10 a 50 mm por camada;
- Resistente a carbonatação;
- Isento de clóretos;

- Ótimo acabamento;
- Excelente tempo de trabalhabilidade permitindo maior trabalhabilidade da argamassa em climas mais quentes;
- Excelente resistência mecânica;
- Baixa permeabilidade

Embalagem

Saco de 25 kg

Aplicação do Produto

Qualidade do Substrato

A superfície deverá estar limpa, isenta de graxa, óleo, partículas soltas ou produtos químicos como agentes de cura ou desmoldantes que possam prejudicar a aderência do produto. O substrato deve possuir uma resistência ao arranque (*pull off*) superior a 1,5 MPa. O substrato deve estar rugoso para a aplicação.

Preparo da Superfície

Concreto:

Remover contaminantes, poeira, concreto solto, etc, por hidrojateamento de alta pressão, lixamento mecânico ou qualquer outro método já estabelecido conforme as boas práticas para execução de reparos.

Delimite as áreas de reparo com serra circular manual com disco de corte diamantado na profundidade de 10 mm do concreto no formato geométrico de quadrado ou retângulo tomando cuidado para não cortar nenhuma armadura. A região de reparo deve ter espessura mínima de 10 mm e máxima de 50 mm.

Escarifique com equipamentos manuais ou pneumáticos o concreto solto e mal aderido até no mínimo 10 mm além da profundidade da armadura. Avançar mínimo 100 mm 100 mm de

Versão No.000
Data: 03.11.2016

MASTER®
» BUILDERS
SOLUTIONS



We create chemistry

cada lado das barras de aço da estrutura para obter o aço livre de corrosão. O objetivo é garantir a eliminação de qualquer resíduo de corrosão na barra de aço e fazer o tratamento adequado ao redor e ao longo da armadura.

Umedeça o concreto até a condição saturado e superficialmente seco (SSS).

Armaduras:

Faça a limpeza das armaduras eliminando qualquer resíduo de corrosão por meio de lixamento mecânico, jato abrasivo ou qualquer outro método já estabelecido conforme as boas práticas para execução de reparos.

Para proteção das armaduras contra corrosão, deve-se aplicar o revestimento inibidor de corrosão **MasterEmaco® P122**. Consulte a ficha técnica do produto

Preparo do Produto

Prepare o produto utilizando um misturador mecânico ou uma argamassadeira de eixo vertical de baixa rotação. Coloque a água de amassamento no recipiente de mistura (vide instrução a seguir) e adicione o **MasterEmaco® S 170** aos poucos com o misturador em rotação. Misture durante 3 a 4 minutos de forma a garantir a obtenção de uma massa homogênea e sem grumos.

Para aplicação manual, utilize 3,4 litros de água para cada saco de 25 kg do **MasterEmaco® S 170**. No caso de aplicação por projeção utilize 3,8 litros de água para cada saco de 25 kg de **MasterEmaco® S 170**.

Aplicação:

Antes de iniciar a aplicação, garantir que o substrato esteja adequadamente preparado e umedecido com água, para substratos muito absorventes, o mesmo deve ser umedecido várias vezes (úmido sobre úmido).

O **MasterEmaco® S 170** deve ser aplicado manualmente, com colher de pedreiro ou desempenadeira metálica, pressionando-o contra o substrato, do centro para as bordas do reparo e em camadas únicas de no máximo 10 a 25 mm de espessura até atingir a espessura final desejada, que deve ser de no máximo,

50mm por camada. O **MasterEmaco® S 170** também pode ser aplicado por projeção por meio de bombas de argamassa fina ou bombas de argamassa com misturador acoplado com ajuste de pressão e volume.

Após o preenchimento do reparo, aguarde o tempo de 10 a 20 minutos dependendo da temperatura e umidade ambiente da aplicação para que a argamassa **MasterEmaco® S 170** adquira resistência mínima antes de iniciar o acabamento da superfície com uma desempenadeira de madeira ou de plástico.

Temperaturas mais quentes diminuem o tempo de trabalhabilidade, enquanto as mais frias aumentam a trabalhabilidade.

Durante a aplicação, as temperaturas do substrato e do ambiente devem estar entre +5°C e +35 °C.

Inicie a cura da argamassa logo após o acabamento, por cura úmida com água ou utilizando agentes de cura química da linha MasterKure. Em áreas sujeitas a incidência de vento e sol, coloque anteparos, evitando a evaporação rápida da água.

Manuseio

Utilizar EPI's adequados: luvas e botas impermeáveis, óculos de segurança química. Evitar contato com a pele e olhos; o contato prolongado com a pele pode causar dermatites. Não beber, comer ou fumar durante o manuseio.

Limpeza das Ferramentas

As ferramentas e materiais utilizados devem ser limpos com água imediatamente após o uso. Após a cura o material somente será removido mecanicamente.

Armazenagem

Manter as embalagens fechadas em local coberto, ventilado, seco, longe das intempéries, fontes de calor, alimentos e bebidas. Evitar contato com ácidos e outros oxidantes. Minimizar a geração de poeira. Armazenar longe do alcance das crianças.

Versão No.000
Data: 03.11.2016

MASTER®
» BUILDERS
SOLUTIONS



We create chemistry

Validade

12 meses desde que armazenado adequadamente.

Observações / Limitações

- Não aplique embaixo de chuva;
- Proteja o produto aplicado da chuva por 24 horas;
- É indispensável que o substrato esteja adequadamente umedecido com água, na condição saturado e superficialmente seco, para garantir a aderência do **MasterEmaco®**

Embalagem Saco plástico com 25 kg de produto

Aspecto / Cor Pó cinza

S 170. Nunca aplique o produto sobre a superfície seca

Segurança

Consulte a Ficha de segurança (FISPQ) do **MasterEmaco® S 170**.

Em qualquer caso, é recomendável aplicar as precauções normais para manuseio de produtos químicos (Por exemplo, usar luvas e óculos de segurança).

Dados do Produto

Dados Técnicos

CARACTERÍSTICA	VALOR
Base Química	Cimento, areia de quartzo, resina acrílica e aditivos especiais
Relação água/produto	
Aplicação manual	3,4 litros de água para cada saco de 25 kg de produto Relação água/produto = 13,5%
Aplicação por projeção	3,8 litros de água para cada saco de 25 kg de produto Relação água/produto = 15,0%
Densidade (argamassa fresca)	
Relação água/produto = 13,5%	2,21 kg/l (aplicação manual)
Relação água/produto = 15,0%	2,15 kg/l (aplicação por projeção)
Consumo	
Relação água/produto = 13,5%	1948 kg/m ³ (69 sacos de 25 kg para cada 1m ²) ver cálculo 1948 kg / 25kg+3,4kg=68,59 sacos
Relação água/produto = 15,0%	1870 kg/m ³ (65 sacos de 25 kg para cada 1m ²) ver cálculo 1948 kg / 25kg+3,4kg=64,93 sacos
Espessura de Aplicação	10 a 50 mm (máximo 100 em camadas)
Trabalhabilidade (pot life da mistura) (25°C/50%UR)	35 a 40 minutos
Temperatura do substrato	+5° mín. / +35° máx.
Temperatura ambiente	+5° mín. / +35° máx.
Tempo de cura total	28 dias

Propriedades Físicas e Mecânicas

PROPRIEDADE	METODO	VALOR	
		Água/produto 13,5%	Água/produto 15,0%

Versão No.000
Data: 03.11.2016

MASTER®
» BUILDERS
SOLUTIONS



We create chemistry

		(aplicação manual)	(aplicação por projeção)
Resistência à Compressão (MPa)			
1 dia		25	20
3 dias	Norma EN 12190 (4 X 4 X 16 mm)	40	35
7 dias		45	40
28 dias		50	45

Os dados mencionados nesta ficha técnica são baseados em provas de laboratório cuidadosamente controlados. Possíveis variações podem ocorrer dentro de limites que consideramos razoáveis, mas recomendamos que o cliente realize testes previamente nas suas condições específicas para possíveis ajustes, se necessário. Em caso de dúvidas, recomendamos consultar nosso Departamento Técnico.

BASF SA Avenida das Nações Unidas, 14.171, Morumbi 04794-000 São Paulo, SP, Brasil Tel: +55 11 2718 5507 www.master-builders-solutions.basf.com.br	BASF Chile Tel: +56 2 27994300 www.master-builders-solutions.basf.cl	BASF Colombia Tel: 018000522273 o +57 1 6342099 www.master-builders-solutions.basf.com.co
BASF Mexico Tel: 01800 062 1532 o 21 22 22 00 www.master-builders-solutions.basf.com.mx	BASF Centroamérica (Costa Rica & Panamá) Tel: 506 2440 9110 o 507 301 0970 www.master-builders-solutions.centroamerica.basf.com	BASF Caribe (Puerto Rico) Tel: 1 787 258 2737 www.master-builders-solutions.caribbean.basf.com
BASF Perú Tel: +511 219 0630 www.master-builders-solutions.basf.com.pe		

Versão No.000
 Data: 03.11.2016

MASTER®
» BUILDERS
 SOLUTIONS

3.2 Super graute quartzolit

Boletim Técnico
super graute quartzolit
Pág. 1 de 3



super graute quartzolit

Graute industrializado pronto para uso

1. Descrição:

Graute industrializado, pronto para uso, que requer apenas a adição da quantidade correta de água para a obtenção de um material fluido destinado ao grauteamento de seções confinadas. É composto por cimento Portland, agregados minerais, aditivos especiais e fluidificantes.

2. Usos:

- Grauteamento e fixação de bases de equipamentos e máquinas de pequeno porte
- Preenchimento de vazios com espessuras entre 20 e 60 mm. Para espessuras maiores, deve-se adicionar até 30% de Brita 0 ou Brita 1, em massa. Nesta situação, consulte o Departamento Técnico da **Weber**.
- Reparos localizados em pisos de concreto (consulte o Departamento Técnico da **Weber** para instruções de uso).

3. Vantagens:

- Facilidade de aplicação, podendo ser vertido por gravidade ou por bombeamento
- Auto adensável
- Baixa permeabilidade e retração controlada
- Isento de cloretos
- Resistência a sulfatos

4. Instruções de uso:

4.1. Preparo da base

O substrato deve estar limpo, isento de óleos, graxas ou outros materiais contaminantes, partículas soltas ou pó. Delimite as áreas de reparo com disco diamantado e remova o concreto deteriorado até atingir o concreto sã. Armaduras existentes na estrutura devem estar limpas e isentas de produtos de corrosão. Caso seja observada qualquer contaminação nas armaduras, proceda com a sua limpeza mediante o uso de jateamento abrasivo ou turbo-jateamento e posterior tratamento com **protetor de armadura quartzolit**. Para ampliar a proteção de áreas adjacentes à região da intervenção em estruturas atacadas por cloretos, recomenda-se a instalação de pastilhas de proteção catódica galvânica da linha **weber.guard galvalshield**.

Antes da aplicação de **super graute quartzolit**, sature a superfície preparada com água, evitando-se empoçamento e deixando-a na condição de "saturada e seca". Devido à elevada fluidez do produto, é necessário o uso de formas estanques, preferencialmente seladas nas extremidades com gesso ou material equivalente de fácil remoção.

4.2. Mistura:

Em um recipiente estanque, limpo, protegido do sol, vento e chuva, adicione água na proporção indicada na embalagem, aos poucos, até se obter uma mistura pastosa e homogênea, sem grumos secos. Utilize a argamassa 2 minutos após sua mistura e no prazo máximo de 40 minutos (esses tempos podem ser maiores em temperaturas baixas ou menores em temperaturas elevadas).

4.3. Aplicação:

Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção Ltda.
Matriz: Via de Acesso João de Góes, 2.127 – Jandira/SP – Brasil – CEP 06612-000
Tel.: 55 (11) 2196 8000 – Fax: 55 (11) 2196 8301 – SAC: 0800 709 6979 – www.weber.com.br



Para grandes volumes, use um misturador de ação forçada ou, para apenas um conjunto, use uma haste metálica acoplada a uma furadeira de baixa rotação (400 a 500 rpm). A quantidade de água a ser utilizada na mistura deve ser respeitada e está descrita na lateral da embalagem, podendo-se alterar esta relação em 5% para mais ou para menos em função da trabalhabilidade e das condições do ambiente. Coloque a quantidade de água especificada num recipiente, acione a furadeira ou o misturador e adicione o **super graute quartzolit** aos poucos, misturando até constatar uniformidade e homogeneidade do material. O tempo de mistura varia de 3 a 5 minutos e as embalagens não devem ser fracionadas. Lance o **super graute quartzolit** imediatamente após a mistura.

Dependendo do tipo de aplicação, pode-se adicionar à mistura seca, em massa, até 30% de brita 0 (pedrisco) ou de brita 1, transformando o **super graute quartzolit** num microconcreto ou num concreto, respectivamente. Nestes casos, estes agregados devem ser limpos, isentos de materiais pulverulentos e secos, e a relação água/materiais secos pode sofrer alterações. Para eventuais dúvidas, consulte o Departamento Técnico da **Weber**.

4.4. Restrições de uso:

super graute quartzolit foi desenvolvido para aplicações em condições de confinamento, tais quais as descritas no item "Usos" acima. Para quaisquer outros tipos de aplicações, Departamento Técnico da **Weber**.

4.5. Cura

Após a finalização dos trabalhos, preserve as formas por, no mínimo, 24 horas e aplique membrana de cura química da linha **Weber** ou promova a cura úmida por, no mínimo, 3 dias. Não aplique os produtos sob insolação direta e, se necessário, utilize anteparos.

5. Propriedades e características:

Massa unitária	2,200 kg/dm ³
Resistência à compressão às 24 horas (NBR 5.739/07)	25 MPa
Resistência à compressão aos 3 dias (NBR 5.739/07)	35 MPa
Resistência à compressão aos 28 dias (NBR 5.739/07)	50 MPa
Tempo em aberto para lançamento a 25 °C	30 minutos
Teor de cloretos	Isento

6. Consumo teórico aproximado:

super graute quartzolit: 2.200 kg/m³

7. Fornecimento e armazenagem:

super graute quartzolit: fornecido em sacos de 25 kg. Armazene em local seco e arejado, sobre estrado elevado do solo, em pilhas com, no máximo, 1,5 m de altura, em sua embalagem original fechada. A validade é de 9 meses a contar da data de fabricação impressa na lateral da embalagem.

8. Precauções:

As medidas de higiene e de segurança do trabalho, as restrições quanto à exposição ao fogo e as indicações de limpeza e de disposição de resíduos devem seguir as recomendações constantes na FISPQ do produto.

IMPORTANTE: O rendimento e o desempenho do produto dependem das condições ideais de preparação da superfície/substrato onde será aplicada e de fatores externos alheios ao controle da **Weber**, como uniformidade da superfície, umidade relativa do ar e ou de superfície, temperatura e condições

Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção Ltda.

Matriz: Via de Acesso João de Góes, 2.127 – Jandira/SP – Brasil – CEP 06612-000
Tel.: 55 (11) 2196 8000 – Fax: 55 (11) 2196 8301 – SAÇ: 0800 709 8979 – www.weber.com.br

Boletim Técnico
super graute quartzolit
Pág. 3 de 3



climáticas, locais, além de conhecimentos técnicos e práticos do aplicador, do usuário e de outros. Em função destes fatores, o rendimento e o desempenho do produto podem apresentar variações.

Documento revisado em abril de 2015

Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção Ltda.

Matriz: Via de Acesso João de Góes, 2.127 – Jandira/SP – Brasil – CEP 08612-000
Tel.: 55 (11) 2196 8000 – Fax: 55 (11) 2196 8301 – SAC: 0800 709 6979 – www.weber.com.br

3.3 Argamassa Estrutural 250

José Emidio Alexandrino Bezerra



Ref.: E/72.050/03
Fl.: 1/3

RELATÓRIO DE ENSAIO E/72.050/03

REVESTIMENTO OBE 250

ENSAIOS DIVERSOS

Interessado: **OTTO BAUMGART INDÚSTRIA E COMÉRCIO S.A.**
Rua Coronel Marçílio Franco, 1.063
02079-001 São Paulo – S.P.

Ensaio(s): (1.827)

1. MATERIAL ENSAIADO:

Foi submetida a ensaio 01 (uma) amostra de OBE 250, fabricada pelo interessado e entregue pelo mesmo no laboratório em 17/12/02.

2. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA:

A amostra foi preparada por um misturador mecânico, conforme NBR 13.276. A argamassa foi preparada nas seguintes proporções, conforme orientação da embalagem:

Traço	Argamassa	Água	Relação Água/Argamassa
Em massa seca (kg)	7,14	1,00	0,14

3. ENSAIOS REALIZADOS:

3.1 Determinação da Densidade de Massa e do Teor de Ar Incorporado, NBR-13.278.

3.2 Determinação da resistência à compressão, conforme NBR 13.279.

3.3 Determinação da resistência à flexão e compressão, conforme projeto de revisão da NBR 13.279.

3.4 Determinação da Absorção de Água por Capilaridade, adaptada da NBR 9779.

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e, a sua utilização, sem fins promocionais, depende de aprovação prévia.

Grupo
Falcão Bauer

SÃO PAULO: Rua Aquino, 111 - S.P. - CEP 05005-070 - FONE (11) 3611-9833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: Campinas - São José dos Campos - Santos - Bauru - Rio de Janeiro - (RJ)
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br - BNA TEL: (11) 3611-0677 / ABB TEL: (11) 3611-1000





Rel: E/72-050/03
Fl.: 39.

4.4 – Determinação da Absorção de Água por Capilaridade

- Idade: 28 dias.
- Corpos de prova de (25x10)cm.

CP nº	Absorção de Água (g/cm ²)				
	60 min	120 min	180 min	240 min	300 min
1	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
2	0,03	0,05	0,06	0,06	0,05
3	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Média	0,02	0,04	0,04	0,04	0,05

(*) Resultado obtido da equação: $C = \frac{A-B}{S}$

C= Absorção de água por capilaridade, em (g/cm²).

A= Massa do corpo de prova que permanece em contato com a água durante um período de tempo, em gramas.

B= massa do corpo de prova seco, em gramas.

S= Área da seção transversal, em cm².

5. OBSERVAÇÕES:

5.1 – Ensaio finalizados em janeiro de 2.003.

5.2 – Pedido de Ensaio – PE 65.448.

NOTA IMPORTANTE:

Os resultados têm significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada.

São Paulo, 14 de fevereiro de 2.003.

L.A. FALCÃO BAUER LTDA
Centro Tecnológico de Controle da Qualidade


PATRICIA HELENA SCANDURA COSTA
Técnica em Edificações

FRac.

L.A. FALCÃO BAUER LTDA
Centro Tecnológico de Controle da Qualidade


FABIOLA RAGO
Eng^o Civil - CREA nº 5060234744

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento sem a devida autorização, para fins promocionais, depende de aprovação prévia.

Grupo
Falcão Bauer

SÃO PAULO: Rua Aquino, 111 - S.P. - CEP 05038-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: Campinas - São José dos Campos - Santos - Baurú - Rio de Janeiro - RJ
www.falcao Bauer.com.br - bauer@falcao Bauer.com.br - SNA TEL (11) 3611-0677 - ABBQ TEL (11) 3611-1899



Ref.: E/22-050/03
Fl.: 23

4. RESULTADOS OBTIDOS:

4.1 – Determinação da Densidade de Massa e do Teor de Ar Incorporado:

- Densidade da massa no estado fresco = 1,30g/cm³.
- Teor de ar incorporado = 43%.

4.2 - Determinação da resistência à compressão

- Corpos de prova de (∅5x10)cm.

Idade	CP n°	Tensão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Relativo (%)
03 dias	01	22,2	22,2	1,4
	02	22,1		
	03	22,2		
	04	22,5		
28 dias	01	37,1	36,6	1,4
	02	36,5		
	03	36,7		
	04	36,1		

4.3 – Determinação da resistência à flexão e compressão:

- Corpos de prova de (4x4x16)cm.

Idade (dias)	CP Nº	Resistência à flexão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Relativo Máximo (%)
28	01	8,1	8,6	5,8
	02	8,9		
	03	8,6		

Idade (dias)	CP Nº	Resistência à Compressão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Relativo Máximo (%)
28	01	28,5	27,3	12,1
	02	24,8		
	03	26,4		
	04	30,6		
	05	26,4		
	06	27,0		

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra analisada. A reprodução deste documento sem autorização poderá ser feita na íntegra e, à sua utilização, para fins promocionais, desde que devidamente autorizada.

Grupo
Falcão Bauer

SÃO PAULO: Rua Aquino, 111 - S.P. - CEP: 05026-070 - FONE: (11) 3611-0833 - FAX: (11) 3611-0170
Piracicaba: Campinas - São José dos Campos - Santos - Bauri - Rio de Janeiro - (RJ)
www.falcaoibauer.com.br - bauri@falcaoibauer.com.br - ZONA TEL: (11) 3611-0477 / ABDO TEL: (11) 3611-1098



Anexo 4. Ensaio de Migração de cloretos

1. Cálculo do coeficiente de difusão no estado estacionário

O cálculo do coeficiente de difusão no estado estacionário (ou coeficiente de difusão efetivo), a partir de ensaios de migração, é efetuado através da equação de Nerst-Plank modificada:

$$D_s = \frac{J_{Cl}RTl}{zFC_{Cl}\gamma\Delta\Phi}$$

Onde : D_s = coeficiente de difusão no estado estacionário (cm^2/s);

J = fluxo de íons ($\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{cm}^2)$);

R = constante de gases ($1,9872 \text{ cal}/(\text{mol}\cdot\text{K})$);

T = temperatura (K);

l = espessura do corpo-de-prova (cm);

z = valência dos íons (para cloretos = 1);

F = constante de Faraday ($23063 \text{ cal}/(\text{volt}\cdot\text{eq})$);

C_{Cl} = concentração de íons cloretos na célula catódica (mol/cm^3);

γ = coeficiente de atividade da solução da célula catódica (0,657 para Cl⁻);

$\Delta\Phi$ = média da tensão que efetivamente atravessa o corpo-de-prova durante o estado estacionário (V).

O fluxo dos íons cloreto (J_{Cl}) pode ser calculado utilizando a inclinação da parte linear do gráfico de concentração de cloretos na célula anódica versus tempo, obtido a partir do ensaio de migração.

$$J = \frac{V}{A} \cdot \frac{dC}{dt}$$

Onde : A = área da seção do corpo-de-prova exposta (cm^2);

V = volume da célula catódica (cm^3);

dC/dt = inclinação da parte linear do gráfico de concentração de cloretos x tempo.

1. Cálculo do coeficiente de difusão no estado não-estacionário

Para calcular o coeficiente de difusão no estado não-estacionário a partir de ensaios de migração faz-se necessário converter os resultados obtidos a valores equivalentes aos obtidos em ensaios de difusão natural. O tempo que os íons cloretos teriam levado para atingir, durante o ensaio de difusão natural, a mesma profundidade alcançada durante o ensaio de migração pode ser calculado por (Castellote, 2001):

$$D_{ns} = \frac{2l^2}{\tau v^2} \left[v \coth \frac{v}{2} - 2 \right]$$

Onde, τ = "time-lag" do ensaio de migração (s);

t_{dif} = tempo equivalente na difusão (s);

$$v = \frac{z.e.\Delta\Phi}{k.T};$$

k = constante de Boltzmann;

T = temperatura (K);

z = valência dos íons (para cloretos = 1);

$\Delta\Phi$ = média da tensão que efetivamente atravessa o corpo-de-prova durante o estado não-estacionário (V).

$$\frac{1}{t_{dif}} = \frac{6}{\tau V^2} \cdot \left[v \cdot \coth \frac{v}{2} - 2 \right]$$

Sendo:

t_{dif} = tempo equivalente na difusão (s);

τ = "time-lag" do ensaio de migração (s);

$$v = \frac{ze\Delta\Phi}{kT};$$

k = constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K);

T = temperatura (K);

e = carga do elétron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C)

z = valência dos íons (para cloretos = 1);

$\Delta\Phi$ = média da tensão que efetivamente atravessa o corpo de prova durante o estado não-estacionário (V).

Assim, calcula-se o coeficiente de difusão do estado não estacionário, D_{ns} , a partir da equação

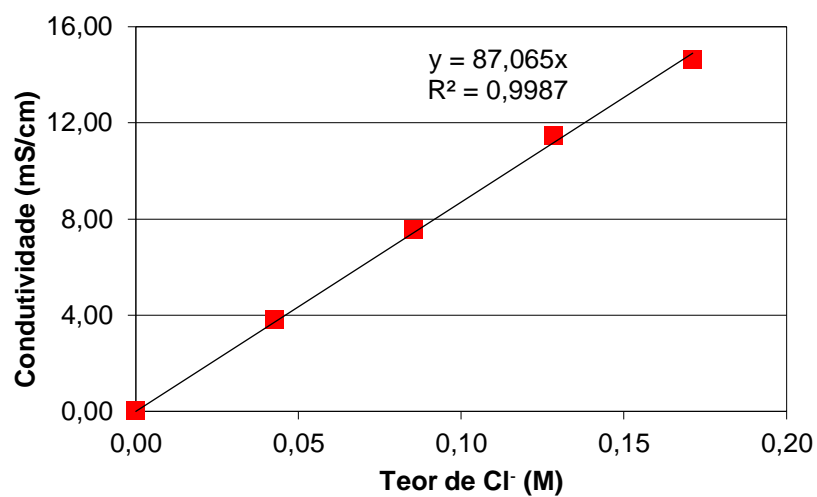
$$D_{ns} = \frac{l^2}{3t_{dif}}$$

Com a combinação entre as duas equações apresentadas acima, chega-se à equação direta

$$D_{ns} = \frac{2l^2}{\tau V^2} \cdot \left[v \cdot \coth \frac{v}{2} - 2 \right]$$

4.1 Correlação ensaio de migração

Teor NaCl (%)	Teor Na ⁺ (%)	Teor Cl ⁻ (%)	Teor NaCl (M)	Teor Cl ⁻ (M)	Condutividade (mS/cm)
0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00
0,25	0,10	0,15	0,043	0,043	3,82
0,50	0,20	0,30	0,086	0,086	7,55
0,75	0,30	0,45	0,128	0,128	11,45
1,00	0,39	0,61	0,171	0,171	14,62
1,25	0,49	0,76	0,214	0,214	-



Medições de condutividade nas pastilhas de Argamassa Polimérica (AP), Concreto 1:2:3 (C) e Graute (G).

Argamassa Polimérica (AP), Concreto (C) e Graute (G)

data de início : 02/12/2019 horas: 10

Solução 1 Molar. Volume em cada reservatório catódico: 650 ml

Calibração do condutivímetro = 0,02/0,03 mS.cm

MEDIÇÕES DE CONDUTIVIDADE (mS.cm)

					Pastilhas		
					material	Espessura	unidade
					AP	3,98	cm
					C	4,00	cm
					G	3,99	cm
data	dias	hora ensaio	minutos	Tempo (h)	AP	C	G
02/dez	0	12	0	2	0	0	0
03/dez	1	10	0	24	0,20	0,26	0,53
04/dez	2	16	0	54	0,40	0,43	0,82
05/dez	3	16	30	108	0,63	0,63	1,15
06/dez	4	16	50	152	0,74	0,74	1,28
09/dez	7	14	50	222	1,11	0,96	1,62
10/dez	8	8	35	225	1,15	1,00	1,67
11/dez	9	16	40	262	1,20	1,01	1,67
12/dez	10	17	3	250	1,27	1,12	1,82
13/dez	11	9	40	303	1,36	1,13	1,84
16/dez	14	15	30	371	1,57	1,19	1,99
17/dez	15	16	50	416	1,59	0,94	2,06
18/dez	16	13	20	407	1,06	0,96	2,07
20/dez	18	17	0	439	1,63	1,00	2,08
23/dez	21	10	0	504	1,80	1,10	2,21
26/dez	24	10	10	586	1,86	1,16	2,25
27/dez	25	10	30	630	1,84	1,15	2,20
30/dez	28	11	10	683	1,91	1,23	2,28
31/dez	29	9	0	695	1,90	1,22	2,25
02/jan	31	9	35	778	1,94	1,25	2,28

03/jan	32	11	5	774	1,90	1,22	2,23
06/jan	35	16	50	896	1,99	1,31	2,31
07/jan	36	14	45	913	1,99	1,31	2,30
08/jan	37	16	35	929	1,91	1,29	2,24
09/jan	38	14	3	919	1,95	1,30	2,25
10/jan	39	16	30	972	1,93	1,30	2,23
13/jan	42	16	0	1014	2,01	1,38	2,30
14/jan	43	13	25	1060	1,98	1,37	2,28
15/jan	44	14	40	1100	1,97	1,37	2,27
16/jan	45	9	40	1119	1,96	1,38	2,24
17/jan	46	15	0	1109	1,99	1,40	2,26

ARGAMASSA POLIMÉRICA - 09022020

Temp. °C	Umidade	Tempo (h)	Condutividade (mS)				Teor de NaCl (%)	Teor de Cl ⁻ (%)	Teor de Cl ⁻ (M)	Teor de Cl ⁻ (M) -
			CP1	CP2	MÉDIA	DESVIO				
26,6	70%	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
27,7	67%	24	0,20	0,20	0,20	0,00	0,01393	0,00845	0,00238	0,00000
30,3	60%	54	0,40	0,40	0,40	0,00	0,02786	0,01690	0,00477	0,00000
29,2	62%	108	0,63	0,63	0,63	0,00	0,04387	0,02662	0,00751	0,00000
30,1	57%	152	0,74	0,74	0,74	0,00	0,05154	0,03126	0,00882	0,00000
29,5	61%	222	1,11	1,11	1,11	0,00	0,07730	0,04689	0,01323	0,00000
30,4	60%	225	1,15	1,15	1,15	0,00	0,08009	0,04858	0,01370	0,00000
29,9	61%	262	1,20	1,20	1,20	0,00	0,08357	0,05070	0,01430	0,00000
29,9	58%	250	1,27	1,27	1,27	0,00	0,08845	0,05365	0,01513	0,00000
29,1	61%	303	1,36	1,36	1,36	0,00	0,09471	0,05746	0,01621	0,00000
29,9	62%	371	1,57	1,57	1,57	0,00	0,10934	0,06633	0,01871	0,00000
29,4	57%	416	1,59	1,59	1,59	0,00	0,11073	0,06717	0,01895	0,00000
29,1	64%	407	1,06	1,06	1,06	0,00	0,07382	0,04478	0,01263	0,00000
29,6	59%	439	1,63	1,63	1,63	0,00	0,11352	0,06886	0,01942	0,00000
29,5	58%	504	1,80	1,80	1,80	0,00	0,12536	0,07605	0,02145	0,00000
29,4	56%	586	1,86	1,86	1,86	0,00	0,12954	0,07858	0,02217	0,00000
39,2	60%	630	1,84	1,84	1,84	0,00	0,12814	0,07774	0,02193	0,00000
29,3	61%	683	1,91	1,91	1,91	0,00	0,13302	0,08069	0,02276	0,00000
29	62%	695	1,90	1,90	1,90	0,00	0,13232	0,08027	0,02264	0,00000
30,5	57%	778	1,94	1,94	1,94	0,00	0,13511	0,08196	0,02312	0,00000
30	60%	774	1,90	1,90	1,90	0,00	0,13232	0,08027	0,02264	0,00000
29,9	60%	896	1,99	1,99	1,99	0,00	0,13859	0,08407	0,02371	0,00000
27,6	64%	913	1,99	1,99	1,99	0,00	0,13859	0,08407	0,02371	0,00000
30,3	58%	929	1,91	1,91	1,91	0,00	0,13302	0,08069	0,02276	0,00000
28,2	63%	919	1,95	1,95	1,95	0,00	0,13580	0,08238	0,02324	0,00000
28,2	65%	972	1,93	1,93	1,93	0,00	0,13441	0,08154	0,02300	0,00000
27,1	68%	1014	2,01	2,01	2,01	0,00	0,13998	0,08492	0,02395	0,00000
29,1	64%	1060	1,98	1,98	1,98	0,00	0,13789	0,08365	0,02360	0,00000
29,9	58%	1100	1,97	1,97	1,97	0,00	0,13720	0,08323	0,02348	0,00000
31,1	59%	1119	1,96	1,96	1,96	0,00	0,13650	0,08281	0,02336	0,00000
28,5	60%	1109	1,99	1,99	1,99	0,00	0,13859	0,08407	0,02371	0,00000

CONCRETO 1:2:3 - 09022020

Temp. °C	Umidade	tempo (h)	Condutividade (mS)				Teor de NaCl (%)	Teor de Cl ⁻ (%)	Teor de Cl ⁻ (M)	Teor de Cl ⁻ (M) -
			CP1	CP2	MÉDIA	DESVIO				
26,6	70%	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
27,7	67%	24	0,26	0,26	0,26	0,00	0,01811	0,01098	0,00310	0,00000
30,3	60%	54	0,43	0,43	0,43	0,00	0,02995	0,01817	0,00512	0,00000
29,2	62%	108	0,63	0,63	0,63	0,00	0,04387	0,02662	0,00751	0,00000
30,1	57%	152	0,74	0,74	0,74	0,00	0,05154	0,03126	0,00882	0,00000
29,5	61%	222	0,96	0,96	0,96	0,00	0,06686	0,04056	0,01144	0,00000
30,4	60%	225	1,00	1,00	1,00	0,00	0,06964	0,04225	0,01192	0,00000
29,9	61%	262	1,01	1,01	1,01	0,00	0,07034	0,04267	0,01204	0,00000
29,9	58%	250	1,12	1,12	1,12	0,00	0,07800	0,04732	0,01335	0,00000
29,1	61%	303	1,13	1,13	1,13	0,00	0,07870	0,04774	0,01347	0,00000
29,9	62%	371	1,19	1,19	1,19	0,00	0,08287	0,05027	0,01418	0,00000
29,4	57%	416	0,94	0,94	0,94	0,00	0,06546	0,03971	0,01120	0,00000
29,1	64%	407	0,96	0,96	0,96	0,00	0,06686	0,04056	0,01144	0,00000
29,6	59%	439	1,00	1,00	1,00	0,00	0,06964	0,04225	0,01192	0,00000
29,5	58%	504	1,10	1,10	1,10	0,00	0,07661	0,04647	0,01311	0,00000
29,4	56%	586	1,16	1,16	1,16	0,00	0,08079	0,04901	0,01382	0,00000
39,2	60%	630	1,15	1,15	1,15	0,00	0,08009	0,04858	0,01370	0,00000
29,3	61%	683	1,23	1,23	1,23	0,00	0,08566	0,05196	0,01466	0,00000
29	62%	695	1,22	1,22	1,22	0,00	0,08496	0,05154	0,01454	0,00000
30,5	57%	778	1,25	1,25	1,25	0,00	0,08705	0,05281	0,01490	0,00000
30	60%	774	1,22	1,22	1,22	0,00	0,08496	0,05154	0,01454	0,00000
29,9	60%	896	1,31	1,31	1,31	0,00	0,09123	0,05534	0,01561	0,00000
27,6	64%	913	1,31	1,31	1,31	0,00	0,09123	0,05534	0,01561	0,00000
30,3	58%	929	1,29	1,29	1,29	0,00	0,08984	0,05450	0,01537	0,00000
28,2	63%	919	1,30	1,30	1,30	0,00	0,09054	0,05492	0,01549	0,00000
28,2	65%	972	1,30	1,30	1,30	0,00	0,09054	0,05492	0,01549	0,00000
27,1	68%	1014	1,38	1,38	1,38	0,00	0,09611	0,05830	0,01645	0,00000
29,1	64%	1060	1,37	1,37	1,37	0,00	0,09541	0,05788	0,01633	0,00000
29,9	58%	1100	1,37	1,37	1,37	0,00	0,09541	0,05788	0,01633	0,00000
31,1	59%	1119	1,38	1,38	1,38	0,00	0,09611	0,05830	0,01645	0,00000
28,5	60%	1109	1,40	1,40	1,40	0,00	0,09750	0,05915	0,01668	0,00000

GRAUTE

Temp. °C	Umidade	Tempo (h)	Condutividade (mS)				Teor de NaCl (%)	Teor de Cl (%)	Teor de Cl (M)	Teor de Cl (M) -
			CP1	CP2	MÉDIA	DESVIO				
26,6	70%	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	
27,7	67%	24	0,53	0,53	0,53	0,00	0,03691	0,02239	0,00632	
30,3	60%	54	0,82	0,82	0,82	0,00	0,05711	0,03464	0,00977	
29,2	62%	108	1,15	1,15	1,15	0,00	0,08009	0,04858	0,01370	
30,1	57%	152	1,28	1,28	1,28	0,00	0,08914	0,05408	0,01525	
29,5	61%	222	1,62	1,62	1,62	0,00	0,11282	0,06844	0,01931	
30,4	60%	225	1,67	1,67	1,67	0,00	0,11630	0,07055	0,01990	
29,9	61%	262	1,67	1,67	1,67	0,00	0,11630	0,07055	0,01990	
29,9	58%	250	1,82	1,82	1,82	0,00	0,12675	0,07689	0,02169	
29,1	61%	303	1,84	1,84	1,84	0,00	0,12814	0,07774	0,02193	
29,9	62%	371	1,99	1,99	1,99	0,00	0,13859	0,08407	0,02371	
29,4	57%	416	2,06	2,06	2,06	0,00	0,14346	0,08703	0,02455	
29,1	64%	407	2,07	2,07	2,07	0,00	0,14416	0,08745	0,02467	
29,6	59%	439	2,08	2,08	2,08	0,00	0,14486	0,08787	0,02479	
29,5	58%	504	2,21	2,21	2,21	0,00	0,15391	0,09337	0,02634	
29,4	56%	586	2,25	2,25	2,25	0,00	0,15670	0,09506	0,02681	
39,2	60%	630	2,20	2,20	2,20	0,00	0,15321	0,09294	0,02622	
29,3	61%	683	2,28	2,28	2,28	0,00	0,15879	0,09632	0,02717	
29	62%	695	2,25	2,25	2,25	0,00	0,15670	0,09506	0,02681	
30,5	57%	778	2,28	2,28	2,28	0,00	0,15879	0,09632	0,02717	
30	60%	774	2,23	2,23	2,23	0,00	0,15530	0,09421	0,02657	
29,9	60%	896	2,31	2,31	2,31	0,00	0,16087	0,09759	0,02753	
27,6	64%	913	2,30	2,30	2,30	0,00	0,16018	0,09717	0,02741	
30,3	58%	929	2,24	2,24	2,24	0,00	0,15600	0,09463	0,02669	
28,2	63%	919	2,25	2,25	2,25	0,00	0,15670	0,09506	0,02681	
28,2	65%	972	2,23	2,23	2,23	0,00	0,15530	0,09421	0,02657	
27,1	68%	1014	2,30	2,30	2,30	0,00	0,16018	0,09717	0,02741	
29,1	64%	1060	2,28	2,28	2,28	0,00	0,15879	0,09632	0,02717	
29,9	58%	1100	2,27	2,27	2,27	0,00	0,15809	0,09590	0,02705	
31,1	59%	1119	2,24	2,24	2,24	0,00	0,15600	0,09463	0,02669	
28,5	60%	1109	2,26	2,26	2,26	0,00	0,15739	0,09548	0,02693	

COEFICIENTES DE DIFUSAO NO ESTADO ESTACIONARIO E NAO ESTACIONÁRIO.

ARGAMASSA POLIMÉRICA

Ds	9,71E-10	Dns	1,91E-04		
t (s)=	3,45E+08	t (s)=	1759,613		
t(anos)=	10,95	t(anos)=	0,00	total	10,95
Ds			Dns		
CP (cm)	t (s)	t(anos)	CP (cm)	t (s)	t(anos)
0	0,00E+00	0,00	0	0,00E+00	0,00
1	3,45E+08	10,95	1	1,76E+03	0,00
2	1,38E+09	43,81	2	7,04E+03	0,00
3	3,11E+09	98,56	3	1,58E+04	0,00
3,5	4,23E+09	134,15	3,5	2,16E+04	0,00
4	5,53E+09	175,22	4	2,82E+04	0,00
4,5	6,99E+09	221,76	4,5	3,56E+04	0,00
5	8,63E+09	273,78	5	4,40E+04	0,00
5,5	1,04E+10	331,28	5,5	53228,29	0,00

COEFICIENTES DE DIFUSAO NO ESTADO ESTACIONARIO E NAO ESTACIONÁRIO.

CONCRETO 1:2:3

Ds	6,29E-10	Dns	1,92E-04		
t (s)=	5,33E+08	t (s)=	1742,061		
t(anos)=	16,91	t(anos)=	0,00	Total	16,91
Ds			Dns		
CP (cm)	t (s)	t(anos)	CP (cm)	t (s)	t(anos)
0	0,00E+00	0,00	0	0,00E+00	0,00
1	5,33E+08	16,91	1	1,74E+03	0,00
2	2,13E+09	67,65	2	6,97E+03	0,00
3	4,80E+09	152,20	3	1,57E+04	0,00
3,5	6,53E+09	207,16	3,5	2,13E+04	0,00
4	8,53E+09	270,58	4	2,79E+04	0,00
4,5	1,08E+10	342,46	4,5	3,53E+04	0,00
5	1,33E+10	422,79	5	4,36E+04	0,00
5,5	1,61E+10	511,57	5,5	52697,34	0,00

COEFICIENTES DE DIFUSAO NO ESTADO ESTACIONARIO E NAO ESTACIONÁRIO.

GRAUTE

Ds	1,14E-09	Dns	1,92E-04		
t (s)=	2,93E+08	t (s)=	1750,804		
t(anos)=	9,29	t(anos)=	0,00	total	9,29

Ds			Dns		
CP (cm)	t (s)	t(anos)	CP (cm)	t (s)	t(anos)
0	0,00E+00	0,00	0	0,00E+00	0,00
1	2,93E+08	9,29	1	1,75E+03	0,00
2	1,17E+09	37,18	2	7,00E+03	0,00
3	2,64E+09	83,65	3	1,58E+04	0,00
3,5	3,59E+09	113,86	3,5	2,14E+04	0,00
4	4,69E+09	148,72	4	2,80E+04	0,00
4,5	5,94E+09	188,22	4,5	3,55E+04	0,00
5	7,33E+09	232,37	5	4,38E+04	0,00
5,5	8,87E+09	281,17	5,5	52961,82	0,00

Anexo 5. Ensaio de Resistividade

PESQUISA 2		RESISTIVIDADE		Local:	UNIFOR	
CP Cilíndrico 100x200 mm : Concreto 1:2:3 em peso, Argamassa Polimérica e Graute						
moldados em		12/02/2019		cura submersa:		22/02/2019
medição	1	22/02/2019	10	2	09/03/2019	25
material	KΩ.cm	range μ.A	currente	KΩ.cm	range μ.A	currente
concreto 1	6,1	200	100%	15,1	200	100%
concreto 2	6,3	200	100%	15,9	200	100%
AP 1	4,1	200	100%	6,1	200	100%
AP 2	4,1	200	100%	6,0	200	100%
G 1	9,9	200	100%	15,8	200	100%
G2	11,0	200	100%	17,5	200	100%
medição	3	16/03/2019	32	4	23/03/2019	39
material	KΩ.cm	range μ.A	currente	KΩ.cm	range μ.A	currente
concreto 1	15,1	200	100%	18,1	200	100%
concreto 2	16,7	200	100%	18,8	200	100%
AP 1	5,7	200	100%	6,4	200	100%
AP 2	5,4	200	100%	6,3	200	100%
G 1	13,1	200	100%	16,9	200	100%
G2	13,7	200	100%	18,3	200	100%
medição	5	30/03/2019	46			
material	KΩ.cm	range μ.A	currente			
concreto 1	20,4	200	100%			
concreto 2	21,3	200	100%			
AP 1	6,4	200	100%			
AP 2	6,2	200	100%			
G 1	17,2	200	100%			
G2	18,6	200	100%			

Anexo 6. Ensaio de Ultrassom

corpo de prova 100x200	moldado em				
Concreto 1:2:3	12/02/2019				
Argamassa Polimérica	12/02/2019				
Graute Cimentício	12/02/2019				
Material	data:	Idade	veloc pulso	Tempo	Fck
		dias	m/s	µs	MPa
concreto	29/04/2019	76	3906	51,2	40
concreto			3717	55,9	32
argamassa estrutural AE1			4556	43,9	61
argamassa estrutural AE2			3711	53,9	35
graute cimentício			4219	47,4	50
graute cimentício			4367	45,8	55
concreto	04/05/2019	81	4167	48	47
concreto			4000	50	43
argamassa estrutural AE1			3788	52,8	37
argamassa estrutural AE2			3817	52,4	38
graute cimentício			4494	44,5	56
graute cimentício			4405	45,4	54
concreto	11/05/2019	88	4175	47,9	47
concreto			4082	49	45
argamassa estrutural AE1			3810	52,5	38
argamassa estrutural AE2			3766	53,1	36
graute cimentício G1			4556	43,9	59
graute cimentício G2			4474	44,7	57

Anexo 7. Ensaio de CICLOS indução cloretos.

Medições dos potenciais de corrosão em corpos de prova de concreto 1:2:3, argamassa polimérica e graute com 2 barras de aço CA 60.

Legendas:

CA – Concreto 1:2:3. AE – Argamassa Estrutural. AP – Argamassa Polimérica. G – Graute.

SP – Aço sem pintura de proteção. Ni – Aço pintado com tinta à base de Nitrito. Zn – Aço pintado com tinta à base de Zinco.

A figura com os dados coletados pode ser ampliada para permitir a leitura.

Está colocada no texto para registro e documentação dos dados.

Em anexo a Planilha com os dados e gráficos pode ser acessada.

Anexo 8. Ensaio de perda de massa no aço

MEDIÇÕES DE PERDA DE MASSA				
PESAGEM EM 07/07/2020				
Laboratório de Química Tecnológica com o Wellington				
Os ferros foram limpos com solução de ácido clorídrico a 1:1 com 3,5 g/l de hexametilenotetramina				
Os ferros foram limpos e pesados juntos da seguinte forma:				
a)	28 barras de ferros pintados com nitritos - Ni			
b)	28 barras de ferros pintados com zinco - Zn			
c)	28 barras de ferros sem pintura - SP			
Observação: houve a perda de quatro(4) barras de ferro SP				
Pesos	data	Ni	Zn	SP
Peso inicial	03/09/2019	387,1003	385,5218	388,5419
qde ferros		28	28	28
Peso inicial unitário		13,82501	13,76864	13,8765
Peso final	07/07/2020	382,4768	380,0466	328,2714
qde ferros		28	28	24
Peso final unitário		13,65989	13,57309	13,67798
perda de massa	grama	0,165125	0,195543	0,198521
perda de massa	%	1,1944%	1,4202%	1,4306%
Atenção				
A perda de massa dos ferros sem pintura e pintados com zinco foi praticamente a mesma				
Ni	1,1944%			
Zn	1,4202%			
SP	1,4306%			
	data	Ni	Zn	SP
Peso inicial	03/09/2019	13,82501	13,76864	13,8765
Peso final	07/07/2020	13,65989	13,57309	13,67798 (Emidio e Wellington)
perda de massa	grama	0,165125	0,195543	0,198521 2a limpeza com ácido
perda de massa	%	1,1944%	1,4202%	1,4306%
Ni	1,1944%			
Zn	1,4202%			
SP	1,4306%			