

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
ENGENHARIA CIVIL

JULIANA RODRIGUES SIQUEIRA

**UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS NA ANÁLISE DE ESTRUTURAS
DE CONCRETO ARMADO – ESTUDOS DE CASO**

NATAL-RN

2018

JULIANA RODRIGUES SIQUEIRA

**UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS NA ANÁLISE DE ESTRUTURAS
DE CONCRETO ARMADO – ESTUDOS DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. PHD Fábio Sérgio da Costa Pereira.

NATAL-RN

2018

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Siqueira, Juliana Rodrigues.

Utilização de ensaios não destrutivos na análise de estruturas de concreto armado – Estudos de caso / Juliana Rodrigues Siqueira. – Natal, 2018. 156f.

Orientador: Prof. PHD Fábio Sérgio da Costa Pereira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Carbonatação – Monografia. 2. Cloretos – Monografia. 3. Resistência – Monografia. I. Pereira, Fábio Sérgio da Costa. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

JULIANA RODRIGUES SIQUEIRA

**UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS NA ANÁLISE DE ESTRUTURAS
DE CONCRETO ARMADO – ESTUDOS DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNIRN) como requisito final para obtenção o título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Sérgio da Costa Pereira
Prof. Orientador

Prof. Dr. Werner Farkatt Tabosa
Prof. Coordenador das disciplinas TCC I e TCC II

Prof.^a Dr.^a Jaquelógia Brito da Silva
Prof. Externo

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me proporcionado essa conquista.

A minha família, minha avó Creusa, minha tia Joannice e minha mãe Jeanne, por acreditarem e incentivarem minha escolha acadêmica no qual não foi um caminho fácil e ajudar a suprir todas as dificuldades encontradas no caminho.

A meu namorado Heverton Yago, por enxugar minhas lágrimas e pelo apoio em todos os momentos no qual pensei que não daria certo.

A minha Sogra Graça, meu Sogro Bento e o Reitor Daladier Cunha Lima sem a ajuda deles eu não estaria onde estou hoje realizando essa conquista.

Aos professores que passaram pela minha vida acadêmica os quais passaram um pouco do seu conhecimento, em especial ao Coordenador Prof. Fábio Sérgio da Costa Pereira por sua dedicação em me orientar na elaboração deste trabalho.

Aos amigos de faculdade (Paulo, Aline e Thalles), pela ajuda nas práticas realizadas deste trabalho.

“Todas as vitórias ocultam uma
abdicação”.

(Simone de Beauvoir)

RESUMO

O Concreto armado no Brasil surgiu no século XX sendo o método construtivo mais utilizado nas edificações atualmente, no entanto existem inúmeras edificações recentes e antigas com patologias que afetam o dia a dia do proprietário, causadas por erros cometidos nas etapas de construção da obra ou devido à falta de manutenção na edificação. Em virtude disso, para evitar transtornos para o construtor e para o proprietário, este trabalho tem como objetivo apresentar a descrição das metodologias executivas de alguns ensaios não-destrutivos existentes e os resultados obtidos nos ensaios não-destrutivos realizados in-loco em pilares de concreto armado do Centro Universitário do Rio Grande do Norte. Estes ensaios servem para identificar as causas das patologias existentes e direcionar os serviços de recuperação estrutural e/ou reforço estrutural a serem executados, contribuindo assim tanto para evitar danos nas estruturas como para identificar problemas ainda no estágio inicial da construção gerando um custo inferior aos serviços de recuperação estrutural a serem realizados ou a não necessidade da realização dos mesmos, sem causar danos (destruição) aos materiais analisados, fato este importantíssimo principalmente nos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes). Os ensaios realizados neste trabalho foram: PH do concreto, presença de cloretos, presença de carbonatação, resistência à compressão através de esclerômetro. Foi realizado um estudo de caso como modelo para execução destes ensaios não destrutivos, visando a melhoria do estado das estruturas de concreto armado, bem como a diminuição das patologias nas edificações e ocorrência de colapsos estruturais. Após a análise dos resultados dos ensaios não-destrutivos realizados, e exames visuais in-loco, foi evidenciado patologias nas estruturas analisadas, devendo-se iniciar o projeto de recuperação e reforço dos pilares das estruturas do Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN), pois as mesmas necessitam de serviços de recuperação e/ou reforço estrutural, devido a existência de corrosão com ou sem perda de seção das armaduras, apresentando contaminação por cloretos e por carbonatação, além de deficiência de resistência a compressão, devendo-se realizar a seguinte metodologia executiva nos serviços: remoção do concreto desagregado com liberação das armaduras com corrosão, aplicação de um hidro jateamento de areia nas armaduras com corrosão para sua limpeza, aplicação de pintura de zinco nas armaduras antigas, aplicação de grout tixotrópico, aplicação de uma argamassa de cimento e areia no traço 1:3 para recomposição das seções e aplicação de uma argamassa polimérica externa visando o aumento da durabilidade e vida útil. Caso exista situação de perda de seção superior a 10% em alguma armadura principal ou de estribo nos pilares, deverá se proceder o reforço estrutural com introdução de nova armadura com mesmo diâmetro e comprimento, sendo a mesma ancorada no bloco de fundação, substituindo-se o grout tixotrópico pelo grout expansivo, com a introdução de formas metálicas.

Palavra-chave: Carbonatação. Cloretos. Resistência.

ABSTRACT

The history of reinforced concrete in Brazil arose in the century XX and is the method constructive more utilized in buildings in days of day, however exist numerous buildings recent and old with pathologies affecting the day by day the owner, such facts possibly occur in steps constructive the work or due the lack maintenance in buildings. Because of that to avoid disorders for the constructor and for the owner. This article has the objective to Present in the description of executive methodologies of currently existing non-destructive trials and the results obtained in the non-destructive trials performed in loco in reinforced concrete structures of Centro Universitário do Rio Grande do Norte. These tests are used to identify the causes of existing pathologies and to address recovery services and structural reinforcement to be executed, thus contributing to prevent damage in the structures as well as to identify problems still in the initial stage of construction, without causing any damages (destruction) of the material analyzed, which is extremely important mainly in structural elements (pillars, beams and slabs). The tests referred to in this article are PH of concrete, presence of chlorides, presence and depth of carbonation, integrity test of cuttings of reinforced concrete, identification and location of the armour, resistance to compression through a rebound hammer. At the end of the article it will be presented a case study, which serve as models for the execution of these non-destructive tests by the community of civil construction and improving the state of our concrete structures, as well as the decreasing of pathologies in our buildings and the occurrence of structural collapses. After analyzing the results of the non-destructive tests performed, and in-situ visual exams, pathologies were evidenced in the analyzed structures, and the recovery and reinforcement of the pillars of the structures of the Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI) -RN), since they require recovery and / or structural reinforcement services, due to the existence of corrosion with or without loss of section of the reinforcement, presenting chloride and carbonation contamination, as well as compressive strength deficiency, the application of a sandblasting in the reinforcement with corrosion for its cleaning, application of zinc paint in the old reinforcement, application of thixotropic grout, application of a cement and sand mortar in the 1: 3 trace for the recomposition of the sections and an external polymer mortar to increase durability and service life. If there is a section loss of more than 10% in some main reinforcement or abutment in the abutments, the structural reinforcement should be carried out with the introduction of new reinforcement of the same diameter and length, being anchored in the foundation block, replacing the thixotropic grout by the expansive grout, with the introduction of metallic forms.

Keywords: Carbonation. Chlorides. Resistance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Perfil típico de concentração dos cloretos ao longo do cobrimento, em um concreto contaminado por impregnação externa de soluções ricas em cloreto	44
Figura 2 – Forma de ocorrência de íons-cloreto na estrutura do concreto	45
Figura 3 – Esquema mostrando a corrosão por pite na qual os Cl^- despassivam a armadura, formam o complexo transitório e depois são reciclados para novas reações	46
Figura 4 – Diagrama de Pourbaix de equilíbrio termodinâmico	47
Figura 5 – Esquema de variação do conteúdo crítico de cloretos em função da qualidade do concreto e da umidade ambiental	48
Figura 6 – Corrosão por pites (alta concentração de cloro).....	49
Figura 7 – Representação esquemática do processo de carbonatação	51
Figura 8 – Representação esquemática de carbonatação parcial do concreto, com poros totalmente secos	52
Figura 9 – Representação esquemática da carbonatação parcial do concreto saturado com água.....	52
Figura 10 – Representação esquemática de carbonatação parcial do concreto com poros parcialmente preenchidos com água (Concreto com U.R. normal do ambiente)	53
Figura 11 – Grau de carbonatação em função da umidade relativa do ambiente	54
Figura 12 – Esquema do processo de Carbonatação	56
Figura 13 – Tabela de cores PH	58
Figura 14 – Descrição dos constituintes em relação ao Ph.....	58
Figura 15 – Detalhe da penetração de cloretos.....	59
Figura 16 – Possível precipitação de cloretos livres (branco) e cloretos combinados (marrom).....	60
Figura 17 – Medidas da frente de penetração de cloretos	61
Figura 18 – Evolução da combinação de cloretos	62
Figura 19 – Determinação da concentração ótima de nitrato de prata e do teor mínimo de cloretos.....	64
Figura 20 – Mudança de cor conforme a concentração de $AgNO_3$	65
Figura 21 – Análise da influência do Ph na mudança de cor.....	66
Figura 22 – a) Coloração para Ph=10 b) Coloração para Ph=11 c) Coloração para Ph=12 d) Coloração para Ph=13.....	67

Figura 23 – a) AgNO_3 + fluoresceína b) $\text{AgNO}_3 + \text{K}_2\text{CrO}_4$ c) AgNO_3	68
Figura 24 – Esquema do ensaio de esclerometria	69
Figura 25 – Lixamento dos pilares antes da aplicação do esclerometro	70
Figura 26 – Aplicação do esclerometro em um dos pilares do UNI-RN.....	70
Figura 27 – Vista da piscina da escola domestica (ED)	72
Figura 28 – Vista do Ginásio de Integração UNI-RN	79
Figura 29 – Vista do Ginásio Polivalente 2 do UNI-RN	95
Figura 30 – Vista do reservatório superior.....	104
Figura 31 – Aplicação de Fenofaleína no pilar	105
Figura 32 – Aplicação do Lápis medidor.....	106
Figura 33 – Aplicação de nitrato de prata no pilar	107
Figura 34 – Aplicação de nitrato de prata no pilar	107
Figura 35 – Ensaio de esclerometria no pilar 6	114
Figura 36 – Corredor do Laboratório de Engenharia Civil	114
Figura 37 – Ensaio de Esclerometria no pilar do Laboratório de Engenharia.....	132
Figura 38 – Praça de esportes Noilde Ramalho	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teor de Cl^- para concreto Armado	47
Tabela 2 – Variáveis de teste.....	63
Tabela 3 – Resumo das concentrações de $AgNO_3$ e % limite de cloretos para viragem de coloração.....	65
Tabela 4 – Índice Esclerométrico.....	69
Tabela 5 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 da piscina do ED	74
Tabela 6 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 da piscina do ED	75
Tabela 7 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 da piscina do ED	75
Tabela 8 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 da piscina do ED	76
Tabela 9 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 da piscina do ED	77
Tabela 10 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 da piscina do ED	78
Tabela 11 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 do ginásio de integração do UNI-RN.....	81
Tabela 12 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 do ginásio de integração do UNI-RN.....	82
Tabela 13 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 do ginásio de integração do UNI-RN.....	83
Tabela 14 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 do ginásio de integração do UNI-RN.....	84
Tabela 15 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 do ginásio de integração do UNI-RN.....	85
Tabela 16 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 do ginásio de integração do UNI-RN.....	86
Tabela 17 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 7 do ginásio de integração do UNI-RN.....	86
Tabela 18 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 8 do ginásio de integração do UNI-RN.....	87
Tabela 19 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 9 do ginásio de integração do UNI-RN.....	88
Tabela 20 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 10 do ginásio de integração do UNI-RN.....	89
Tabela 21 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 11 do ginásio de integração	

do UNI-RN.....	90
Tabela 22 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 12 do ginásio de integração do UNI-RN.....	91
Tabela 23 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 do ginásio polivalente 1 do UNI-RN.....	93
Tabela 24 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 do ginásio polivalente 1 do UNI-RN.....	94
Tabela 25 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 do ginásio 2 do UNI-RN	97
Tabela 26 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 do ginásio 2 do UNI-RN	98
Tabela 27 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 do ginásio 2 do UNI-RN	98
Tabela 28 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 do ginásio 2 do UNI-RN	99
Tabela 29 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 do ginásio 2 do UNI-RN	100
Tabela 30 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 do ginásio 2 do UNI-RN	101
Tabela 31 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 7 do ginásio 2 do UNI-RN	102
Tabela 32 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 8 do ginásio 2 do UNI-RN	103
Tabela 33 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 da caixa de água do UNI-RN	108
Tabela 34 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 da caixa de água do UNI-RN	109
Tabela 35 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 da caixa de água do UNI-RN	110
Tabela 36 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 da caixa de água do UNI-RN	111
Tabela 37 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 da caixa de água do UNI-RN	112
Tabela 38 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 da caixa de água do UNI-	

RN.....	113
Tabela 39 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	115
Tabela 40 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	116
Tabela 41 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	117
Tabela 42 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	118
Tabela 43 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	119
Tabela 44 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	120
Tabela 45 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 7 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	121
Tabela 46 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 8 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	122
Tabela 47 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 9 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	123
Tabela 48 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 10 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	124
Tabela 49 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 11 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	125
Tabela 50 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 12 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	126
Tabela 51 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 13 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	126
Tabela 52 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 14 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	127
Tabela 53 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 15 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	128
Tabela 54 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 16 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	129
Tabela 55 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 17 do corredor dos	

laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	130
Tabela 56 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 18 do corredor dos laboratórios de Engenharia do UNI-RN.....	131
Tabela 57 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	133
Tabela 58 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	134
Tabela 59 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	135
Tabela 60 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	136
Tabela 61 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	137
Tabela 62 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	138
Tabela 63 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 7 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	139
Tabela 64 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 8 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	139
Tabela 65 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 9 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	140
Tabela 66 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 10 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	141
Tabela 67 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 11 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	142
Tabela 68 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 12 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	143
Tabela 69 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 13 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	144
Tabela 70 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 14 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	145
Tabela 71 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 15 da praça de esportes Noilde Ramalho.....	146

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Carbonatação Simplificada.....	50
Equação 2 – Carbonatação Simplificada.....	50
Equação 3 – Lei Parabólica.....	51
Equação 4 – Média Máxima	70
Equação 5 – Média Mínima.....	70
Equação 6 – Média.....	74
Equação 7 – Resistência média	74
Equação 8 – Média.....	75
Equação 9 – Resistência média	75
Equação 10 – Média.....	76
Equação 11 – Resistência média	76
Equação 12 – Média.....	76
Equação 14 – Média.....	77
Equação 13 – Resistência média	77
Equação 15 – Resistência média	78
Equação 16 – Média.....	78
Equação 17 – Resistência média	78
Equação 18 – Média.....	82
Equação 19 – Resistência média	82
Equação 20 – Média.....	82
Equação 21 – Resistência média	83
Equação 22 – Média.....	83
Equação 23 – Resistência média	84
Equação 24 – Média.....	84
Equação 25 – Resistência média	85
Equação 26 – Média.....	85
Equação 27 – Resistência média	85
Equação 28 – Média.....	86
Equação 29 – Resistência média	86
Equação 30 – Média.....	87
Equação 31 – Resistência média	87
Equação 32 – Média.....	87

Equação 33 – Resistência média	88
Equação 34 – Média.....	88
Equação 35 – Resistência média	89
Equação 36 – Média.....	89
Equação 37 – Resistência média	90
Equação 38 – Média.....	90
Equação 39 – Resistência média	91
Equação 40 – Média.....	91
Equação 41 – Resistência média	92
Equação 42 – Média.....	93
Equação 43 – Resistência média	93
Equação 44 – Média.....	94
Equação 45 – Resistência média	94
Equação 46 – Resistência média	97
Equação 47 – Resistência média	97
Equação 48 – Média.....	98
Equação 49 – Resistência média	98
Equação 50 – Média.....	99
Equação 51 – Resistência média	99
Equação 52 – Média.....	100
Equação 53 – Resistência média	100
Equação 54 – Média.....	100
Equação 55 – Resistência média	101
Equação 56 – Média.....	101
Equação 57 – Resistência média	102
Equação 58 – Média.....	102
Equação 59 – Resistência média	103
Equação 60 – Média.....	103
Equação 61 – Resistência média	103
Equação 62 – Média.....	108
Equação 63 – Resistência média	108
Equação 64 – Média.....	109
Equação 65 – Resistência média	109
Equação 66 – Média.....	110

Equação 67 – Resistência média	110
Equação 68 – Média.....	111
Equação 69 – Resistência média	111
Equação 70 – Média.....	112
Equação 71 – Resistência média	112
Equação 72 – Média.....	113
Equação 73 – Resistência média	113
Equação 74 – Média.....	115
Equação 75 – Resistência média	115
Equação 76 – Média.....	116
Equação 77 – Resistência média	116
Equação 78 – Média.....	117
Equação 79 – Resistência média	117
Equação 80 – Média.....	118
Equação 81 – Resistência média	118
Equação 82 – Resistência média	119
Equação 83 – Média.....	119
Equação 84 – Média.....	120
Equação 85 – Resistência média	120
Equação 86 – Média.....	121
Equação 87 – Resistência média	121
Equação 88 – Média.....	122
Equação 89 – Resistência média	122
Equação 90 – Média.....	123
Equação 91 – Resistência média	123
Equação 92 – Média.....	124
Equação 93 – Resistência média	124
Equação 94 – Média.....	125
Equação 95 – Resistência média	125
Equação 96 – Média.....	126
Equação 97 – Resistência média	126
Equação 98 – Média.....	127
Equação 99 – Resistência média	127
Equação 100 – Média.....	128

Equação 101 – Resistência média	128
Equação 102 – Média.....	129
Equação 103 – Resistência média	129
Equação 104 – Média.....	130
Equação 105 – Resistência média	130
Equação 106 – Resistência média	131
Equação 107 – Média.....	131
Equação 108 – Média.....	132
Equação 109 – Resistência média	132
Equação 110 – Média.....	133
Equação 111 – Resistência média	133
Equação 112 – Média.....	134
Equação 113 – Resistência média	134
Equação 114 – Média.....	135
Equação 115 – Resistência média	135
Equação 116 – Média.....	136
Equação 117 – Resistência média	136
Equação 118 – Média.....	137
Equação 119 – Resistência média	137
Equação 120 – Média.....	138
Equação 121 – Resistência média	138
Equação 122 – Média.....	139
Equação 123 – Resistência média	139
Equação 124 – Média.....	140
Equação 125 – Resistência média	140
Equação 126 – Média.....	141
Equação 127 – Resistência média	141
Equação 128 – Média.....	142
Equação 129 – Resistência média	142
Equação 130 – Média.....	143
Equação 131 – Resistência média	143
Equação 132 – Média.....	144
Equação 133 – Resistência média	144
Equação 134 – Média.....	145

Equação 135 – Resistência média145

Equação 136 – Média.....146

Equação 137 – Média.....146

Equação 138 – Média.....147

Equação 139 – Resistência média147

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ED	Escola Domestica
EUA	Estados Unidos da América
HC	Henrique Castriciano
IE	Índice Esclerometrico
ISO	Organização Internacional de Padronização
MPa	Megapascal (Unidade de medida)
NBR	Norma Brasileira
RN	Rio Grande do Norte
UNI-RN	Centro Universitário do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA	22
1.2 JUSTIFICATIVA	22
1.3 OBJETIVOS	23
1.3.1 Objetivos Específicos	23
1.4 METODOLOGIA	23
1.4.1 Introdução	23
1.4.2 Ensaios	23
1.4.2.1 Esclerometro	24
1.4.2.2 Fenolftaleína	24
1.4.2.3 Nitrato de Prata	24
1.4.2.4 Lápis medidor de Ph	24
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	26
2.1 A PATOLOGIA INSERIDA NO CONTEXTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL	26
2.2 DEFINIÇÃO DE PATOLOGIA E OUTROS CONCEITOS	27
2.2.1 Patologia	27
2.2.2 Vida útil	27
2.2.3 Durabilidade	28
2.2.4 Desempenho de uma edificação	30
2.3 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DE VIDA ÚTIL	31
2.4 REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO E QUALIDADE	32
2.5 AS PATOLOGIAS RELACIONADAS AOS CUSTOS DA CONSTRUÇÃO	33
2.6 FATORES E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO	34
2.7 CAUSAS E ORIGENS DAS PATOLOGIAS	35
2.7.1 Falhas no projeto	36
2.7.2 Materiais inadequados	36
2.7.3 Erros na execução	37
2.7.4 Utilização indevida e manutenção ausente	39
2.7.5 Considerações finais sobre as origens das patologias	40
2.8 AÇÃO DOS CLORETOS	41
2.8.1 Período de iniciação	41

2.8.2 Ação dos cloretos (Cl)	41
2.9 AÇÃO DA CARBONATAÇÃO	49
2.9.1 Carbonatação	49
2.9.2 Avaliação da carbonatação	54
3 DIAGNÓSTICOS DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	56
3.1 MÉTODOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	56
3.1.1 Ensaio de carbonatação	56
3.1.1.1 Descrição do método	57
3.1.1.2 Norma técnica	57
3.1.2 Ensaio de ph do concreto	57
3.1.2.1 Descrição do método	58
3.1.3 Ensaio de presença de cloretos	58
3.1.3.1 Descrição do método	59
3.1.3.2 Método colorimétrico empregado nitrato de prata (AgNO ₃)	59
3.1.3.3 Influência do tipo de cimento nos resultados	61
3.1.3.4 Ponto de viragem e influência do ph	62
3.1.3.4 Outros métodos colorimétricos utilizando nitrato de prata	67
3.1.3.5 Norma técnica	68
3.1.4 Ensaio de resistência à compressão através da esclerometria	68
3.1.4.1 Descrição do método (I.E.)	69
3.1.4.2 Vantagens e aplicações do ensaio de esclerometria	71
3.1.4.3 Norma técnica	71
4 ESTUDOS DE CASOS	72
4.1 ESTUDO DE CASO 1 – PISCINA DA ESCOLA DOMESTICA (ED)	72
4.1.1 Ensaio de Carbonatação	72
4.1.2 Ensaio de pH	73
4.1.3 Ensaio de Cloreto	73
4.1.4 Ensaio de Esclerometria	74
4.2 ESTUDO DE CASO 2 – GINASIO DE INTEGRAÇÃO	79
4.2.1 Ensaio de Carbonatação	79
4.2.2 Ensaio de pH	80
4.2.3 Ensaio de Cloreto	80
4.2.4 Ensaio de Esclerometria	81

4.3 ESTUDO DE CASO 3 – GINÁSIO POLIVALENTE 1	92
4.3.1 Ensaio de Carbonatação	92
4.3.2 Ensaio de pH.....	92
4.3.3 Ensaio de cloreto	92
4.3.4 Ensaio de esclerometria	93
4.4 ESTUDO DE CASO 4 – GINÁSIO POLIVALENTE 2	95
4.4.1 Ensaio de carbonatação	95
4.4.2 Ensaio de pH.....	96
4.4.3 Ensaio de cloreto	96
4.4.4 Ensaio de esclerometria	97
4.5 ESTUDO DE CASO 5 – RESERVATORIO SUPERIOR	104
4.5.1 Ensaio de carbonatação	104
4.5.2 Ensaio de pH.....	105
4.5.3 Ensaio de cloreto	106
4.5.4 Ensaio de Esclerometria.....	108
4.6 ESTUDO DE CASO 6 – CORREDOR DOS LABORATÓRIOS DE ENGENHARIA	114
4.6.1 Ensaio de Esclerometria.....	115
4.7 ESTUDO DE CASO 7 – PRAÇA DE ESPORTES NOILDE RAMALHO.....	132
4.7.1 Ensaio de Esclerometria.....	133
5 CONCLUSÃO	148
REFERÊNCIAS.....	152

1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

As edificações são de grande importância para as atividades humanas nos dias de hoje, como atividades industriais, comerciais ou para uso residencial. Elas devem atender as exigências do cliente e corresponder às expectativas depositadas ao comprar um imóvel.

As exigências do cliente tornaram-se maiores em todas as áreas de consumo, tornando-o necessário maior atenção a qualidade do produto, no caso das edificações, é primordial que as patologias pós-obra sejam minimizadas ao máximo, ou ainda, que essas patologias fossem mostradas no cronograma de manutenção ao decorrer da utilização da estrutura.

A implantação do Código de Defesa do Consumidor em 1990 possibilitou o cliente de artifícios para fazer valer seus direitos, fazendo com que surgisse os conceitos de “qualidade”, “desempenho” e “certificações de conformidades”, exigindo melhorias em todo o processo construtivo, como material e também mão-de-obra (GONÇALVES, 2015).

No Brasil, o prazo de garantia que os construtores devem dar em suas construções é de cinco anos, prazo previsto no Código Civil. No entanto, existem poucas pesquisas para que as patologias adquiridas no intervalo de cinco anos sejam minimizadas. Segundo Degussa (2008), isso acontece porque grande prazo do aprendizado na área de engenharia estrutural é voltado para a parte de projeto e execução das estruturas, deixando de lado a reabilitação e manutenção das estruturas em geral.

A falta de manutenção faz com que pequenas manifestações patológicas, que teriam baixo custo de recuperação, evoluam para situações de desempenho insatisfatório com ambientes insalubres, de deficiente aspecto estético, de possível insegurança estrutural e de alto custo de recuperação (GONÇALVES, 2015).

1.2 JUSTIFICATIVA

- Estudar as causas da patologia do concreto armado é complexo, pois envolve fatores que causam manifestações patológicas na estrutura. A

partir dos ataques de agentes químicos até a própria sobrecarga imprevista.

- Grande parte das estruturas antigas e atuais apresentam desgaste a falta de manutenção e a má utilização.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi a aplicação de ensaios não destrutivos em edificações existentes do UNI-RN, com o intuito de identificar e solucionar as patologias encontradas para satisfação dos usuários e proprietários.

1.3.1 Objetivos Específicos

Apresentar alguns dos ensaios não destrutivos existentes, visando a sua aplicação na identificação e manutenção das construções.

Determinar os problemas das patologias detectadas nos estudos de casos.

1.4 METODOLOGIA

1.4.1 Descrição da metodologia utilizada

Este trabalho teve seu desenvolvimento baseado em revisões bibliográficas relacionando o tema de patologias, os métodos de ensaios para diagnóstico e o estudo dos ensaios de casos realizados no Centro Universitário do Rio Grande do Norte com suas respectivas análises, culminando na descrição da necessidade ou não de serviços de recuperação e/ou reforço estrutural.

1.4.2 Ensaios

Foram realizados ensaios de Carbonatação, Ph, Cloreto, esclerometria na parte externa dos pilares do Ginásio Polivalente 01 e 02, Ginásio Noilde Ramalho, Ginásio de Integração, na piscina ED, no Reservatório Superior e no Laboratório de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte com o intuito de analisar seus respectivos problemas e dar soluções para as patologias encontradas.

1.4.2.1 Esclerômetro

O esclerômetro é usado para determinação “in loco” e de forma não destrutiva do valor aproximado da resistência à compressão superficial do concreto. Ideal para uso em peças pré-fabricadas, determinações rápidas de estruturas novas, estruturas submetidas a fogo, congelamento (Perícia e Avaliações).

O esclerômetro é da marca NTD James Instruments, possuindo o indicador de 10 a 100 MPa.

1.4.2.2 Fenolftaleína

A fenolftaleína é um indicador de Ph normalmente apresenta-se como um sólido em pó branco ou em solução alcoólica como um líquido incolor. Utilizada frequentemente em titulações, na forma de soluções alcalinas, mantém-se incolor em soluções ácidas e torna-se cor de rosa em soluções básicas (WIKIPÉDIA, 2017).

A fenolftaleína utilizada na realização dos ensaios de carbonatação, foi a fenolftaleína (1%), solução Alcoólica da marca Synth, possuindo 1000 ml de solução.

1.4.2.3 Nitrato de Prata

O Nitrato de prata mantém-se incolor em soluções básicas e torna-se marrom em soluções ácidas.

Foi utilizado o nitrato de prata (1%), substância formulada pela farma fórmula, possuindo 1000ml de solução, para realização do ensaio de cloreto.

1.4.2.4 Lápis medidor de Ph

O PH é a medida de acidez ou alcalinidade de uma solução. É dividido em 3 etapas, ácido, neutro e alcalino.

O material usado para o ensaio foi o estojo com duas cartelas de cores marcadas de 0 a 13, indicando o grau do ph do material da marca pHydron.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho é baseado em revisões bibliográficas relacionadas ao tema de patologias e ensaios não destrutivos, os métodos de ensaios para diagnóstico, os casos práticos realizados no Centro Universitário do Rio grande do Norte com seus respectivos problemas e soluções das patologias encontradas.

O Primeiro capítulo descreve os tipos de patologias existentes em estruturas de concreto armado. No segundo capítulo descreve os diagnósticos das patologias citadas no capítulo anterior, ou seja, as causas das patologias descobertas pela aplicação de ensaios não destrutivos. O terceiro capítulo aborda os tipos, a execução e as normativas dos ensaios não destrutivos que compõe o TCC. O quarto capítulo descreve a execução dos ensaios não destrutivos em estruturas de concreto armado do (UNI-RN) com seus respectivos resultados.

2 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

2.1 A PATOLOGIA INSERIDA NO CONTEXTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Desde os primórdios da civilização que o homem tem se preocupado com a construção de estruturas adaptadas às suas necessidades, sejam elas habitacionais (casas e edifícios), laborais (escritórios, indústrias, silos, galpões, etc.), ou de infraestrutura (pontes, cais, barragens, metrô, aquedutos, etc.). Com isto, permitiu o desenvolvimento da tecnologia da construção, abrangendo a concepção, o cálculo, a análise e o detalhamento das estruturas, a tecnologia de materiais e as respectivas técnicas construtivas.

O crescimento sempre acelerado da construção civil, em alguns países e épocas, provocou a necessidade de inovações que trouxeram, em si, a aceitação implícita de maiores riscos. Aceitos estes riscos, ainda que dentro de certos limites, posto que regulamentados das mais diversas formas, a progressão do desenvolvimento tecnológico aconteceu naturalmente, e, com ela, o aumento do conhecimento sobre estruturas e materiais, em particular através do estudo e análise dos erros acontecidos, que têm resultado em deterioração precoce ou em acidentes.

A construção civil é uma indústria tradicional e atrasada, apresentando grande inércia a alterações, métodos de gestão ultrapassados e resistência a inovações tecnológicas. Há uma tolerância com problemas crônicos, como por exemplo, a baixa qualidade no processo e a baixa qualidade do produto final, as edificações, que apresentam inúmeras não-conformidades e patologias. Os fatores podem ser vários, sendo o principal o desleixo quanto à necessidade de manutenção e a presunção de que uma estrutura de concreto duraria ilimitadamente, dispensando manutenções.

Por muito tempo o concreto foi considerado um material extremamente durável, devido a algumas obras muito antigas ainda encontrarem-se em bom estado, porém a deterioração precoce de estruturas recentes remete aos porquês das patologias do concreto, (BRANDÃO; PINHEIRO, 1999).

No Brasil são grandes os avanços nas pesquisas como, por exemplo, as Normas Técnicas para construção, especificação de materiais e de desempenho, nos materiais e nas técnicas construtivas, com o objetivo de aumentar a qualidade final do produto e reduzindo ao máximo os custos.

2.2 DEFINIÇÃO DE PATOLOGIA E OUTROS CONCEITOS

2.2.1 Patologia

O termo “patologia”, no contexto da Construção Civil, tem similaridade com a definição encontrada na Medicina, na qual estudam-se as origens, os sintomas e a natureza das doenças. Patologias são todas as manifestações cuja ocorrência no ciclo de vida da edificação venha prejudicar o desempenho esperado do edifício e suas partes (subsistemas, elementos e componentes).

Degussa (2008), entende patologia como parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis e à terapia cabe estudar a correção e a solução desses problemas patológicos, inclusive aqueles devidos ao envelhecimento natural.

2.2.2 Vida útil

Outro termo importante que é necessário caracterizar é “vida útil”. A estrutura, ao decorrer de sua vida útil, estará naturalmente sujeita ao “desgaste”, devido à ação de cargas e sobrecargas, estáticas, dinâmicas, vibrações, impactos, assim como a recalques diferenciados em pontos da fundação com o decorrer dos anos e erosão e cavitação por ação de agentes sólidos e líquidos em reservatórios, canais, tanques. Isto leva a definir “vida útil” como o tempo que a estrutura conserva seus índices mínimos de resistência e funcionalidade. Prolongar este tempo ao máximo é um dos desejos de quem trabalha com construções de edificações (HELENE, 2011).

De acordo com a ISO (2008), entende-se por vida útil “o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo”. Observe-se que essa definição engloba o conceito de desempenho formulado pela ISO 6241 e que só recentemente, em 2010, foi introduzido na normalização brasileira através da (ABNT, 2013).

Para a ABNT (2014), item 6.2, vida útil de projeto é o:

Período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme itens 7.8 e 25.4, bem

como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

Assim, considera-se que um material chegou ao fim de sua vida útil quando suas propriedades, sob dadas condições de uso, se deterioram a tal ponto que a continuação do uso desse material é considerada insegura ou antieconômica (ANDRADE, 1997).

Souza e Ripper (1998), também definem vida útil:

Por vida útil de um material entende-se o período durante o qual as suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos especificados. O conhecimento da vida útil e da curva de deterioração de cada material ou estrutura são fatores de fundamental importância para a confecção de orçamentos reais para a obra, assim como de programas de manutenção adequados e realistas.

2.2.3 Durabilidade

Helene (2001), define durabilidade como sendo o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, até dependente da forma de utilizá-la.

Para a ABNT (2014), durabilidade “consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. No item 6.1 prescreve que:

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil (ABNT, 2014).

Isaia (2001), ensina que, no sentido estrito do termo, a durabilidade dos materiais está ligada à sua capacidade de se conservar em determinado estado, com a mesma qualidade ao longo de um dado tempo. De outra forma, é a resistência de um material ou elemento da construção à deterioração ou degradação. Este conceito, diz o autor, está intimamente conectado com o de desempenho que é o

comportamento de um produto em serviço (em utilização), sob condições de real funcionamento ou uso, com pleno atendimento às exigências do usuário.

De forma semelhante, para Neville (2001), a durabilidade significa que uma dada estrutura de concreto terá desempenho contínuo satisfatório, para as finalidades para as quais foi projetada, isto é, que manterá sua resistência e condições normais de serviço durante a vida útil especificada ou esperada. Isaia (2001) afirma que esta definição implica no conhecimento dos processos de deterioração aos quais, um dado concreto, estará exposto nas condições ambientais reais da estrutura, durante o seu tempo de duração.

Mais especificamente, uma diretriz encontrada na literatura técnica diz que a durabilidade da estrutura de concreto é determinada por quatro fatores, identificados como regra dos 4C, (HELENE, 2001):

- a) Composição ou traço do concreto;
- b) Compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura;
- c) Cura efetiva do concreto na estrutura;
- d) Cobrimento ou espessura do concreto de cobrimento das armaduras.

Por exemplo, um adensamento mal executado pode resultar em alto índice de vazios, produzindo, assim, um concreto altamente poroso. Uma cura insuficiente, por sua vez, produz baixo grau de hidratação do cimento, especialmente nas regiões superficiais, resultando em alta permeabilidade do concreto de superfície e baixa durabilidade das peças.

Tradicionalmente, a durabilidade de uma estrutura de concreto tem sido considerada através de regras implícitas, de modo determinístico, por intermédio de fatores como cobrimento mínimo, relação água/aglomerante máxima, limitação de abertura de fissuras, tipo de cimento, tipo de aditivo, etc. Estes valores são tomados a partir de pesquisas de laboratório ou de campo e lições oriundas da experiência prática. Os resultados que se tem obtido com este procedimento leva, em geral, a um grau satisfatório de durabilidade, mas com variações significativas (positivas ou negativas) devido à grande influência das condições reais do meio ambiente envolvente e do concreto real colocado nas peças estruturais (ISAIA, 2001).

Bastos (2006), cita a importância da drenagem visando a durabilidade, baseado no item 7.2 da ABNT (2014). Deve-se tomar os seguintes cuidados:

- a) Presença ou acúmulo de água proveniente de chuva ou decorrente de

- água de limpeza e lavagem, sobre as superfícies das estruturas de concreto;
- b) Superfícies expostas que necessitem ser horizontais, tais como coberturas, pátios, garagens, estacionamentos e outras, devem ser convenientemente drenadas, com disposição de ralos e condutores;
- c) Todas as juntas de movimento ou de dilatação, em superfícies sujeitas à ação de água, devem ser convenientemente seladas, de forma a torná-las estanques à passagem (percolação) de água;
- d) Todos os topos de platibandas e paredes devem ser protegidos por chapins.

Todos os beirais devem ter pingadeiras e os encontros a diferentes níveis devem ser protegidos por rufos.

A norma ABNT (2014), ainda cita outras recomendações que são importantes na busca da durabilidade de uma estrutura, no que diz respeito às formas arquitetônicas e estruturais:

- a) Disposições arquitetônicas ou construtivas que possam reduzir a durabilidade da estrutura devem ser evitadas;
- b) Deve ser previsto em projeto o acesso para inspeção e manutenção de partes da estrutura com vida útil inferior ao todo, tais como aparelhos de apoio, caixões, insertos, impermeabilizações e outros.

2.2.4 Desempenho de uma edificação

Segundo Souza e Ripper (1998), por desempenho entende-se o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção. Em uma estrutura, para que um sintoma, seja classificado como patológico, deve comprometer algumas das exigências da construção, seja ela de capacidade funcional, mecânica ou estética. Assim, observa-se que existe uma forte relação entre a manifestação patológica e o desempenho da edificação, na medida em que sua avaliação é relacionada com o comportamento da estrutura em utilização. Logo, a análise das manifestações patológicas é função também de dois aspectos fundamentais: tempo e condições de exposição, tornando-a, assim, associada aos conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho (ANDRADE; SILVA, 2005).

2.3 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DE VIDA ÚTIL

Segundo Helene (2001), a introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto pode ser efetuada, em princípio, através de um dos seguintes procedimentos de espectro amplo:

- a) Com base nas experiências anteriores;
- b) Com base em ensaios acelerados;
- c) Através de métodos deterministas, baseados nos mecanismos de transporte;
- d) Através de métodos estocásticos ou probabilistas.

O procedimento básico para análise inclui a identificação das informações necessárias para definição do estudo, a seleção ou desenvolvimento de procedimentos de ensaio, realização de ensaios, interpretação de dados e relatório dos resultados, (JOHN, 2001).

O avanço no conhecimento sobre os mecanismos de transporte de líquidos e de gases agressivos nos meios porosos como o concreto tem proporcionado uma evolução nos estudos sobre durabilidade das estruturas de concreto armado, possibilitando associar o tempo aos modelos matemáticos que expressam quantitativamente esses mecanismos. Consequentemente, passou a ser viável a avaliação da vida útil expressa em número de 27 anos e não mais em critérios apenas qualitativos de adequação da estrutura a certo grau de exposição.

Esse pode ser considerado um grande avanço na área de vida útil de estruturas de concreto armado. Porém, apesar de muitos modelos com essa finalidade estarem disponíveis atualmente, suas validações a partir de comparações com resultados de campo precisam ser realizadas e são mais demoradas por envolverem monitoramento de estruturas em condições reais de utilização, cuja degradação é relativamente lenta.

Segundo Cascudo (2001), os aspectos mais relevantes de durabilidade envolvem investigações sobre as condições da armadura (se passivada ou não), sobre as condições de carbonatação do concreto, sobre a presença de agentes agressivos tais como cloretos e sulfatos no concreto e sobre a eventual presença de agregados reativos. Uma inspeção preliminar e, posteriormente, uma inspeção detalhada fazem parte de uma avaliação sistemática do problema de corrosão das armaduras. A primeira é constituída de um exame visual para caracterizar todos os

sintomas, assim como de uma série de pequenos ensaios que permitam abalizar o problema e preparar um plano mais detalhado para desenvolver uma inspeção pormenorizada. A inspeção detalhada tem por objetivo quantificar a extensão da deterioração e caracterizar os elementos da estrutura; seu desenvolvimento exige uma ampla campanha de ensaios.

2.4 REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO E QUALIDADE

Segundo Brandão e Pinheiro (1999), as exigências da qualidade para uma estrutura de concreto podem ser classificadas em três grupos distintos, referentes, respectivamente, à segurança, ao bom desempenho em serviço e à durabilidade.

- a) Capacidade resistente: significa que a estrutura deve ter a capacidade de suportar as ações previstas de ocorrerem na construção, com conveniente margem de segurança contra a ruína ou a ruptura;
- b) Desempenho em serviço: consiste na capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante toda a sua vida útil, não devendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada;
- c) Durabilidade: consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas entre o engenheiro estrutural e o contratante.

Os requisitos relativos a segurança e ao bom desempenho em serviço devem ser observados durante toda a vida útil prevista para as estruturas, o que significa que elas devem ser projetadas e mantidas de modo que apresentem durabilidade adequada. As medidas a serem tomadas para garantir a segurança, o bom desempenho em serviço e a durabilidade de uma estrutura são baseadas nas condições de utilização e ambientais.

De forma semelhante, Rezende (1996), diz que uma estrutura de concreto tem desempenho adequado e qualidade quando apresenta segurança e condições de utilização do ponto de vista de estabilidade e mantém estas características durante o período de vida útil estabelecido em projeto.

Relativamente à durabilidade, os requisitos e critérios de desempenho visam limitar o nível de degradação dos materiais, quando submetidos a ensaios que aceleram a ação dos agentes agressivos atuantes sobre o componente ou estrutura. Buscam impedir a utilização conjunta de materiais incompatíveis físico-quimicamente e de detalhes construtivos que possam contribuir para a diminuição da vida útil da estrutura e de seus elementos, (ROQUE, 2003).

O projeto estrutural deve ser feito de forma a atender os requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, bem como considerar as condições arquitetônicas, funcionais, construtivas, de integração com os demais projetos (elétrico, hidráulico, ar-condicionado, etc.), e exigências particulares, como resistência a explosões, ao impacto, aos sismos, ou ainda relativas à estanqueidade e ao isolamento térmico ou acústico.

O projeto estrutural final deve proporcionar as informações necessárias para a execução da estrutura, sendo constituído por desenhos, especificações e critérios de projeto. As especificações e os critérios de projeto podem constar dos próprios desenhos ou constituir documento separado.

Segundo a norma, dependendo do porte da obra, o projeto estrutural deve ser conferido por um profissional habilitado, cabendo essa responsabilidade à contratante. A conferência ou avaliação da conformidade do projeto deve ser realizada antes da fase de construção e, de preferência, simultaneamente com o projeto, como condição essencial para que os resultados da conferência se tornem efetivos e possam ser aproveitados. Na seção 25 da ABNT (2014) encontram-se os critérios de aceitação e os procedimentos corretivos quando necessários.

2.5 AS PATOLOGIAS RELACIONADAS AOS CUSTOS DA CONSTRUÇÃO

Em uma obra de construção civil, sabe-se que quanto antes for diagnosticado um problema, melhor. Como numa fase de projeto, por exemplo, a fim de se evitar patologias de ordem estrutural. O custo envolvido numa recuperação da estrutura posterior ao término da construção é muito maior se comparado à alguma intervenção a nível de projeto ou execução inicial. Diante do total gasto para o erguimento de um empreendimento, os custos de projeto variam de 3% a 10% desse valor, (DAL MOLIN, 1988).

Devido à sua importância, um grande avanço na obtenção da melhoria de qualidade da construção pode ser alcançado partindo-se de uma melhor qualidade dos projetistas. É na fase de projeto que são tomadas as decisões de maior repercussão nos custos, velocidade e qualidade dos empreendimentos.

De acordo com Medeiros e Helene (2009), a manutenção e os reparos têm se tornado questões difundidas e preocupantes em alguns países, principalmente quando se analisa em termos de custos. Já que esses serviços exigem gastos de

bilhões acarretando grande impacto econômico, e chegando, até mesmo, a representar 50% dos gastos feitos em construções em algumas situações.

Couto e Couto (2007), posiciona o fator de decisão entre ações de manutenção preventiva e ações corretivas como sendo o aspecto financeiro. Contudo, a prática tem demonstrado que os custos de prevenção não são tão expressivos em relação aos custos de intervenção. De qualquer forma, o que realmente se busca é assegurar um comportamento satisfatório de uma edificação durante um período de vida útil planejado.

Os responsáveis pela execução de um projeto de edificação devem atentar para as decisões que serão tomadas durante o processo construtivo, como a compra de materiais, ou nas formas de execução. Pode-se citar como exemplo de tomada de decisão, a economia na etapa de sondagem do terreno. É verificado na história da construção civil que uma sondagem feita de modo menos detalhada pode ser decisiva no que diz respeito ao atendimento da qualidade na execução do projeto. Acidentes durante a construção do empreendimento podem levar, desde problemas mais simples como atraso da obra, a problemas mais graves como óbitos e danos materiais. Tudo isto leva a custos mais elevados ao que estava orçado anteriormente, sendo assim, uma economia que não valerá a pena no futuro.

2.6 FATORES E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

Em princípio, a deterioração do concreto pode ocorrer a partir da degradação da pasta, do agregado ou de ambos. Brandão e Pinheiro (1999), diz que na prática a degradação da pasta é apontada como a principal causa, uma vez que, sendo o agregado um tipo de rocha, possui maior resistência ao ataque químico. Além disso, os danos na pasta são, em geral, mais severos do que nos agregados.

A deterioração do concreto é iniciada, geralmente, por processos químicos, embora fatores físicos e mecânicos também possam estar envolvidos, em combinação ou não, com os processos químicos. Podem-se distinguir outros tipos de deterioração, como, por exemplo, os desencadeados por processos biológicos ou, ainda, eletroquímicos, como é o caso da corrosão de armaduras embutidas nos concretos.

Diversos agentes naturais atuam sob o concreto armado provocando o seu envelhecimento, ou seja, a perda gradual de seu desempenho estético, funcional e

estrutural. As causas de deterioração originam-se de diversas ações: mecânicas, físicas, químicas e biológicas, podendo estas ocorrer isoladamente ou simultaneamente, dependendo da velocidade de propagação principalmente, do meio que a estrutura está inserida, (ANDRADE; SILVA, 2005).

Helene (2001), indica que os mecanismos mais importantes de deterioração da estrutura de concreto são:

- a) Mecanismos de deterioração relativos ao concreto: lixiviação (águas puras e ácidas), expansão por sulfatos ou magnésio, expansão por reação álcali-agregado, reações superficiais deletérias.
- b) Mecanismos de deterioração relativos à armadura: corrosão devida à carbonatação e corrosão por elevado teor de íon cloro (cloreto).
- c) Mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita: ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas (fadiga), deformação lenta (fluência), relaxação, e outros considerados em qualquer norma ou código regional, nacional ou internacional, mas que não fazem parte de uma análise de vida útil e durabilidade tradicional.

Outro fator importante que deve ser considerado é o ambiente em que a estrutura está inserida. A ABNT (2014), destaca que a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto.

2.7 CAUSAS E ORIGENS DAS PATOLOGIAS

As causas mais comuns de patologias em obras de edificações são por consequência de:

- a) Falhas na concepção do projeto;
- b) Má qualidade dos materiais;
- c) Erros na execução;
- d) Utilização para fins diferentes dos calculados em projeto;
- e) Falta de manutenção no decorrer do tempo.

2.7.1 Falhas no projeto

Muitas falhas são possíveis de ocorrer durante a fase de concepção da estrutura, podendo se originar durante o estudo preliminar, na elaboração do anteprojeto, ou no projeto executivo.

Essas falhas podem levar ao encarecimento do processo de construção, a transtornos relacionados com a utilização da obra e a sérios problemas patológicos na estrutura. Couto e Couto (2007), lista alguns exemplos de problemas originados na etapa de elaboração do projeto:

- a) Má definição das ações atuantes ou combinação mais desfavorável para a estrutura;
- b) Deficiência na avaliação de resistências do solo, podendo levar, por exemplo, a recalques inesperados ao longo da construção e nos primeiros anos de vida da edificação;
- c) Adoção de peças com espessura de cobrimento e relação água/cimento incompatíveis com tempo e as condições de exposição da estrutura;
- d) Especificação inadequada de materiais;
- e) Dimensionamento que leva a grandes deformações na estrutura, levando ao surgimento de fissuras (peças esbeltas e utilização de grandes vãos);
- f) Utilização de juntas estruturais sujeitas à infiltração de água, próximas aos elementos estruturais;
- g) Falta de compatibilização entre os projetos (arquitetônico, estrutural, hidrossanitário, elétrico, entre outros);
- h) Detalhes construtivos impossíveis de serem executados.

2.7.2 Materiais inadequados

Definidas as especificações dos materiais na fase de projeto, deve-se controlar bem a aquisição dos insumos para fabricação do concreto, objetivando a garantia das especificações e que o concreto não seja rejeitado. É importante que a caracterização dos materiais componentes do concreto esteja em conformidade com o que recomenda a, (ABNT, 2015a).

No cimento devem ser monitorados seus aspectos físicos, como finura, início e fim de pega, resistência à compressão, expansibilidade, calor de hidratação, assim como, também, seus aspectos químicos, como perda ao fogo e resíduo insolúvel, teores de aluminato tricálcio e de álcalis.

Para os agregados faz-se necessária a análise mineralógica e química do material, para detectar a presença de contaminantes reativos no agregado, cujas reações químicas expansivas com os álcalis do cimento podem ser bastante

deletérias ao concreto. Assim como, também, é importante atentar para as características físicas dos agregados, como a sua distribuição granulométrica e seu formato dos grãos, pois diferenças nessas propriedades podem levar a uma maior variabilidade nas propriedades do concreto fresco e endurecido (ANDRADE; SILVA, 2005).

A água é um elemento do concreto de fundamental importância, logo se faz necessária à sua análise antes de sua utilização, pois aspectos como contaminação com cloretos, sulfatos, álcalis, teor do pH, entre outros fatores, podem prejudicar o desempenho do concreto ao longo do tempo. Ressalta-se que quando necessário o uso de aditivos no concreto é de fundamental importância analisá-los quanto à possível contaminação com cloretos.

Por último, como se trata de concreto armado, é imprescindível controlar a armadura, assegurando o patamar de escoamento, o limite de resistência, o alongamento mínimo, as tolerâncias de desbitolamento e dobramento.

2.7.3 Erros na execução

A ABNT (2004), define como execução da estrutura de concreto todas as atividades desenvolvidas na sua execução, ou seja, sistema fôrmas, armaduras, concretagem, cura e outras, bem como as relativas à inspeção e documentação de como construído, incluindo a análise do controle de resistência do concreto. Falhas construtivas durante a etapa de execução da obra podem causar repercussões danosas ao desempenho da estrutura de concreto.

A ocorrência dos erros é, basicamente, devido ao processo de produção, que é bastante prejudicado, por muitas vezes refletir os problemas socioeconômicos, que provocam a baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados, (SOUZA; RIPPER, 1998). Assim como, também, a falta de uma fiscalização eficiente e um fraco comando de equipes, podem, com facilidade, levar a falhas graves em determinadas atividades como, escoramentos, fôrmas, posicionamento e qualidade das armaduras, qualidade do concreto, entre outras (COUTO; COUTO, 2007).

A ABNT (2015b), descreve como etapas de execução do concreto a seguinte sequência:

- a) Caracterização dos materiais componentes do concreto, de acordo com a

- (ABNT, 2015a);
- b) Estudo de dosagem do concreto;
- c) Ajuste e comprovação do traço do concreto;
- d) Preparo do concreto.

No tocante à execução do concreto em si, as principais fases relacionadas e aspectos importantes a serem avaliados estão descritos a seguir:

- a) Mistura: Os componentes do concreto devem ser misturados até formar uma massa homogênea. Essa operação pode ser realizada em betoneiras ou em centrais dosadoras/misturadoras. É importante observar aspectos como a sequência de colocação dos materiais, o tempo de mistura, a correção da água arrastada pelos agregados e possíveis erros nas quantidades adicionadas dos materiais.
- b) Transporte: após preparada a massa de concreto, ela deve ser transferida do local da mistura até o local de lançamento. Esse transporte pode ser feito de forma simples, por meio de carros de mão, jericas, entre outros, sendo os principais problemas, a segregação do concreto no transporte, à perda do material e o tempo necessário para fornecê-lo as frentes de trabalho, comprometendo, assim, a qualidade e a produtividade do serviço. O transporte também pode ser realizado por caminhões betoneira, onde deve-se tomar cuidado com o tempo decorrido desde a saída do caminhão da usina até o descarregamento do concreto na obra, tempo este que deve ser ajustado de acordo com as características do concreto e as condições de temperatura, evitando a perda acentuada de abatimento.
- c) Lançamento: consiste na colocação do concreto para moldagem da peça, pode ser realizado com pás, carros de mão, ou bombas para alcançar grandes distâncias. No caso do uso de bombas é muito importante verificar o estado de conservação do equipamento utilizado, prevenindo, assim, possíveis problemas durante a concretagem. Outro aspecto importante a ser observado é a altura de lançamento do concreto, a concretagem de peças com altura superior a 2 metros deve ser realizada de forma cuidadosa, a fim de evitar a segregação dos agregados graúdos nas regiões inferiores da peça, originando bicheiras ou vazios.
- d) Adensamento: Trata-se da atividade de vibrar o concreto, em seu estado fresco, com o objetivo de retirar o ar aprisionado durante as etapas anteriores, proporcionando-lhe a máxima compactação. Falhas ocorridas durante essa etapa, como excesso ou deficiência de vibração, podem gerar problemas de exsudação, segregação ou bicheiras. Logo, a frequência e amplitude dos vibradores, assim como o tempo de utilização e a disposição desses equipamentos são algumas das escolhas essenciais para o sucesso da atividade.
- e) Cura: É a atividade mediante a qual se mantém o teor de umidade satisfatório, impedindo a evaporação de água da mistura, garantindo também, uma temperatura favorável ao concreto durante o processo de hidratação dos materiais aglomerantes, de modo que seja possível desenvolver as propriedades desejadas. A atividade de cura se resume no cobrimento da peça concretada com água por um tempo mínimo, que será função da relação a/c e do tipo de cimento utilizado. As características superficiais são as mais afetadas por uma cura mal executada como a presença de fissuração, a permeabilidade e a carbonatação.

É importante frisar novamente que falhas de concretagem ignoradas, ou não reparadas devidamente, podem acarretar sérias consequências à estrutura, principalmente em regiões agressivas e ou de difícil acesso à inspeção.

No tocante à armação dos elementos estruturais, cuidados importantes estão relacionados com a correta disposição da ferragem, a conformidade da quantidade e diâmetro nominal das barras com o pedido no projeto estrutural, a correta execução do cobrimento da armadura, que servirá de proteção contra agentes de despassivação (cloretos e CO₂), pois quanto maior o cobrimento e melhor a qualidade do concreto maior será o intervalo de tempo, caso agentes agressores incidam, para que esses cheguem à armadura acarretando o processo corrosivo na mesma.

Assim, o não atendimento a esses parâmetros conduz à perda da capacidade resistente e, em casos de elementos vitais, como os pilares em uma edificação pode levar a estrutura ao colapso.

2.7.4 Utilização indevida e manutenção ausente

Depois de concluída a execução da estrutura, cabe ao seu usuário cuidar de utilizá-la da maneira mais eficiente, com o objetivo de manter as características originais ao longo de toda a sua vida útil. A eficiência relaciona-se tanto com as atividades de uso, como, por exemplo, garantir que não sejam ultrapassados os carregamentos previstos em projeto, quanto com as atividades de manutenção, já que o desempenho da estrutura tende a diminuir ao longo da sua vida útil, (ANDRADE; SILVA, 2005).

A ABNT (2012b), define manutenção como o conjunto de atividades a serem desempenhadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional de uma edificação e de suas partes constituintes de forma a atender as necessidades e segurança dos usuários.

Segundo Souza e Ripper (1998), os problemas patológicos ocasionados por ausência de manutenção ou mesmo por manutenção inadequada, têm sua origem no desconhecimento técnico, na incompetência, no desleixo e em problemas econômicos. A falta de destinação de verbas para manutenção pode vir a tornar-se fator responsável pelo aparecimento de problemas estruturais de maior gravidade, implicando em grandes gastos e, dependendo da situação, pode levar até mesmo a demolição da estrutura.

2.7.5 Considerações finais sobre as origens das patologias

Durante as etapas do processo construtivo, o controle da qualidade é essencial. A etapa de concepção do projeto deve seguir as normas técnicas e legislações vigentes do país. Já a etapa de execução do empreendimento deve seguir as diretrizes constadas no projeto concebido. E para garantir isso, a realização das tarefas deve ser fiscalizada de modo a impedir que desvios não programados ocorram e que futuras patologias possam vir a ocorrer. Seguindo essa sequência construtiva de modo adequado, pode-se garantir uma extensão da vida útil da obra, que é a etapa de utilização.

As manifestações patológicas são também responsáveis por uma parcela importante da manutenção, de modo que grande parte das intervenções de manutenção nas edificações poderiam ser evitadas se houvesse um melhor detalhamento do projeto e escolha apropriada dos materiais e componentes da construção.

A compra de materiais pela área de suprimentos de uma construtora também deve ser levada em conta. Muitas vezes materiais de qualidade maior são mais caros, mas garantem de fato um bom desempenho ao serem utilizados na construção. Deve ser verificado se os fornecedores desses materiais possuem em seu processo de fabricação a aplicação das normas técnicas vigentes, para se ter a garantia de que estes materiais atenderão aos requisitos pré-estabelecidos em projeto. De um modo geral, as patologias não têm sua origem concentrada em fatores isolados, mas sofrem influência de um conjunto de variáveis, que podem ser classificadas de acordo com o processo patológico, com os sintomas, com a causa que gerou o problema ou ainda a etapa do processo produtivo em que ocorrem, além de apontar para falhas também no sistema de controle de qualidade próprio a uma ou mais atividades. Assim sendo, a realização de um diagnóstico detalhado deve ser motivo de atenção, uma vez que as falhas podem se manifestar de imediato, mesmo antes da edificação estar na fase de operação, como anos após o uso. O sucesso no tratamento das patologias estará sempre vinculado à correta identificação da causa. O tratamento do efeito não gerará conformidade e o problema tenderá a se repetir.

2.8 AÇÃO DOS CLORETOS

2.8.1 Período de iniciação

A película passiva é a grande defesa da armadura e a garantia de que esta não sofrerá corrosão. Entretanto, ela pode ser perdida, descaracterizando-se, frente a duas condições básicas:

- Presença de uma quantidade suficiente de íons cloreto; os quais podem advir tanto do meio externo e atingir a armadura por difusão, quanto podem já estar no interior do concreto devido à água de amassamento e ou a agregados contaminados, ou mesmo devido à presença de aditivos aceleradores de pega e endurecimento à base de cloreto de cálcio (CaCl_2);
- Diminuição da alcalinidade do concreto; isto pode se dar devido principalmente às reações de carbonatação ou mesmo devido à penetração de substâncias ácidas no concreto. Em casos especiais, a queda na alcalinidade pode ser oriunda da lixiviação do concreto, em que a solução alcalina intersticial é lavada pelo ataque das águas; neste caso, para que ocorra a lixiviação, é necessária uma certa pressão hidráulica no concreto associada à ação das águas.

2.8.2 Ação dos cloretos (Cl)

Nenhum outro contaminante comum está tão extensivamente documentado na literatura como causador de corrosão dos metais no concreto como estão os cloretos. Conforme comentado, estes íons podem ser introduzidos intencionalmente no concreto, como agente acelerador de pega e endurecimento, e podem vir através de agregados e água de amassamento contaminados (nestes casos diz-se que eles são incorporados à massa do concreto). Ou podem penetrar por sais anticongelantes (empregados nos invernos rigorosos de países frios), salmouras industriais e maresia ou névoa de ambiente marinho, situação está bastante comum em nosso país (nestes casos diz-se que a contaminação se deu por impregnação da superfície de concreto pelos agentes agressivos externos).

Os mecanismos de transporte que levam ao movimento e concentração iônica dos cloretos no concreto são os seguintes: absorção capilar, difusão iônica,

permeabilidade sob pressão e migração iônica. O transporte não apenas dos cloretos, mas de outras substâncias dissolvidas, de líquidos em geral e de gases no interior do concreto, é decisivamente influenciado pela estrutura porosa da pasta de cimento endurecida. Neste sentido a interconexão dos poros, constituem-se fatores de suma importância. A porosidade aberta possibilita o transporte das substâncias e caracteriza a permeabilidade da pasta; por sua vez, o tamanho dos poros interfere na velocidade de transporte. De acordo com Setzer, citado por Rostam (2001), o tamanho dos poros na pasta de cimento varia segundo diversas ordens de grandeza e eles podem ser classificados em poros de ar aprisionado (decorrentes dos processos de adensamento do concreto), poros de ar incorporado (obtidos quando do emprego de aditivos incorporadores de ar), poros capilares (oriundos da saída de água livre do concreto) e poros de gel (devidos à água de gel), tendo os três primeiros tipos de maior relevância para a durabilidade.

A seguir estão algumas considerações inerentes aos mecanismos de transporte dos cloretos no concreto.

Absorção: a absorção de soluções líquidas ricas em íons cloreto oriundos de sais dissolvidos (como a névoa salina por exemplo) geralmente representa o primeiro passo para a contaminação por impregnação externa de peças de concreto. Tal fenômeno, motivado por tensões capilares, ocorre imediatamente após o contato superficial do líquido com o substrato. A absorção capilar, portanto, é dependente da porosidade aberta, isto é, dos poros capilares interconectados entre si, permitindo o transporte das substâncias líquidas contaminadas para o interior do concreto; mas depende sobretudo do diâmetro dos poros e apresenta forças de sucção capilar tão mais intensas quanto menores forem os diâmetros dos capilares. Esta estrutura de poros caracteriza o concreto como um material hidrófilo, ou seja, um material ávido de água. Sendo assim, pode-se afirmar que as características hidrófilas do concreto e sua condição de umidade (que em menor teor favorece uma maior absorção) são aspectos de decisiva influência na capacidade absorvente do concreto. A absorção também depende significativamente de características intrínsecas do líquido, tais como viscosidade e tensão superficial. Líquidos de alta viscosidade apresentam grande dificuldade de penetração pelos poros; por sua vez uma elevada tensão superficial verificada no interior dos poros significa uma maior profundidade ou ascensão capilar, embora a absorção total deva ser menor porque o aumento da tensão superficial dificulta sobremaneira a “molhabilidade” do líquido no substrato e sua posterior penetração para o interior do concreto. Pelo processo de absorção, a solução salina pode penetrar vários milímetros em poucas horas.

Difusão iônica: excetuando-se a absorção capilar que ocorre na camada superficial, o movimento dos cloretos no interior do concreto, onde o teor de umidade é mais elevado, dá-se essencialmente por difusão em meio aquoso. A difusibilidade iônica acontece devida a gradientes de concentração iônica, seja entre o meio externo e o interior do concreto, caso seja resguardada uma certa interconexão dos capilares e haja eletrólito (sem que a difusão iônica não ocorra), as diferenças nas concentrações podem ser um fator mais significativo sob a ótica da durabilidade do que a própria permeabilidade, que

está comentada a seguir. Valores típicos de taxa de difusão para pastas de cimento plenamente saturadas são da ordem de $10\text{-}12\text{m}^2/\text{s}$ e, portanto, a penetração de cloretos numa espessura de 10mm de pasta de cimento demandaria muitos meses, segundo informações relatadas por Rosenberg et al.

Permeabilidade: a permeabilidade é um dos principais parâmetros de qualidade do concreto e representa a facilidade (ou dificuldade) como que dada substância transpõe dado volume de concreto. Como ela está relacionada com a interconexão de poros capilares, constitui-se e um fator de fundamental importância para que haja o transporte iônico via penetração de substâncias líquidas, como a já mencionada absorção capilar ou mesmo como a permeabilidade motivada por pressões hidráulicas. É importante ressaltar que a permeabilidade a líquidos sob pressão será tanto mais acentuada quanto maior for o diâmetro dos poros capilares, além obviamente da comunicação entre eles; isto na prática é obtido através de relações água/cimento relativamente altas, acima de 0,6 por exemplo. Por sua vez, à medida que se baixa esse número, vai se obtendo estruturas cada vez mais compactas, com poros capilares mais “estreitos”. Isto, apesar de favorecer uma maior absorção capilar, pelas forças de sucção aumentadas quando da redução no diâmetro dos capilares, é desejável que aconteça porque diminui de fato a absorção total e a permeabilidade. A justificativa deste fato é que com estrutura de pasta mais compacta, a despeito do favorecimento no acréscimo das pressões capilares, haverá sempre uma queda significativa na porosidade capilar e na interconexão ou comunicação entre os poros. O transporte iônico de cloretos nas estruturas de concreto, através da permeabilidade de líquidos ocasionada por pressão hidráulica, ocorre, na prática, de uma maneira muito mais restrita, se por acaso se comparar com a incidência de contaminação dada por absorção capilar. Apenas em situações especiais onde haja o acúmulo e/ou a contenção de águas, a contenção de solos, o contato com a presença do lençol freático, entre outras, é verificado o transporte de substâncias líquidas pela permeabilidade sob pressão.

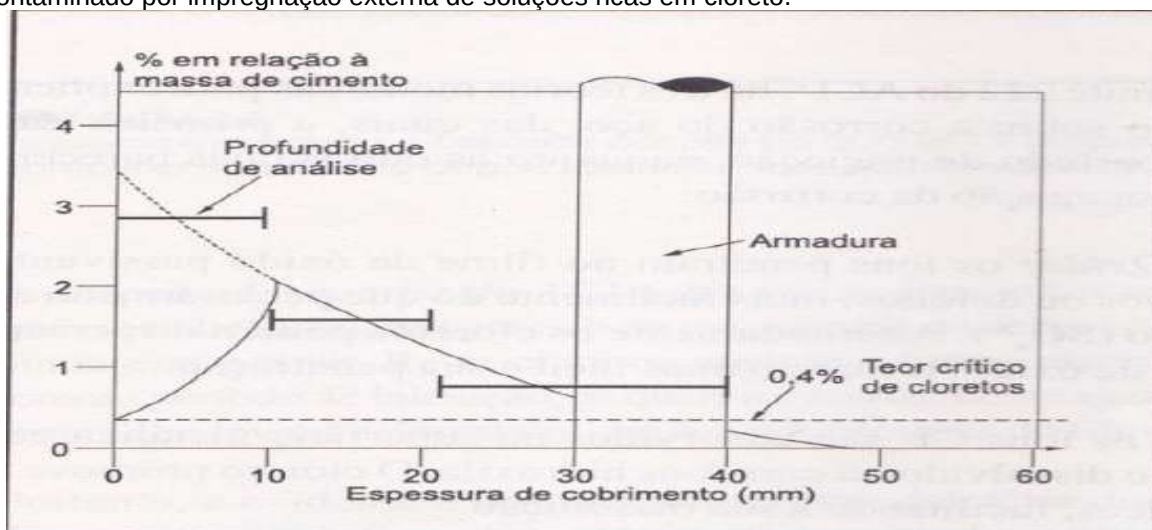
Migração iônica: sendo os cloretos íons com carga elétrica negativa, é de se esperar que a ação de campos elétricos promova uma migração iônica. No concreto a migração pode se dar pelo próprio campo gerado pela corrente elétrica do processo eletroquímico; assim como pode ser oriundo da ação de campos elétricos externos, como, por exemplo, ao se empregar a técnica de proteção catódica para o controle da corrosão.

Em suma pode-se afirmar que na grande maioria dos casos, os mecanismos de transporte dos cloretos presentes no concreto são a absorção capilar e a difusão iônica. A absorção se dá numa camada superficial do concreto, geralmente onde ocorre a molhagem e secagem do cobrimento pela ação das intempéries; mais para o interior do concreto onde a presença do eletrólito é mais constante, tem-se basicamente a difusão.

A (figura 1), destaca um perfil típico da concentração de cloretos ao longo do cobrimento de concreto, desde a superfície até a armadura, em uma peça de concreto onde a contaminação ocorre por impregnação de contaminantes do meio externo. Pode-se notar que na camada superficial onde predomina a absorção, o ramo da curva é crescente desde a superfície até um limite máximo; a concentração tende a ser pequena na superfície dada a ação de lixiviação pelas águas pluviais que se

verifica nessa zona de molhagem e secagem, o que carrega as soluções com cloretos e diminui, portanto, a concentração. Na zona de difusão, a partir do valor limite, a concentração tende a diminuir com a profundidade, isto porque a contaminação por impregnação vem de fora para dentro.

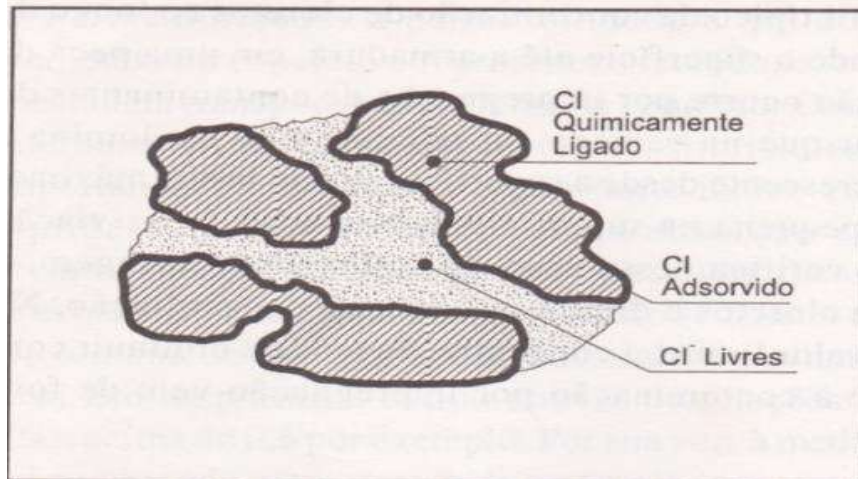
Figura 1 – Perfil típico de concentração dos cloretos ao longo do cobrimento, em um concreto contaminado por impregnação externa de soluções ricas em cloreto.



Fonte: Cascudo (1997).

Sabe-se que o cloreto se apresenta em três formas no concreto: quimicamente ligado ao aluminato tricálcico (C3A), formando cloro aluminato de cálcio ou sal de Friedel ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$); adsorvido na superfície dos poros; e sob a forma de íons-livres. Por maior que seja a capacidade de um dado concreto de ligar-se quimicamente ou adsorver fisicamente íons cloreto, haverá sempre um estado de equilíbrio entre as três formas de ocorrência desses íons, de forma que sempre existirá um certo teor de Cl^- livre na fase líquida do concreto. Esses cloretos livres são os que efetivamente causam preocupação. A (figura 2), ilustra as três possibilidades de ocorrência de Cl^- .

Figura 2 – Forma de ocorrência de íons-cloreto na estrutura do concreto.

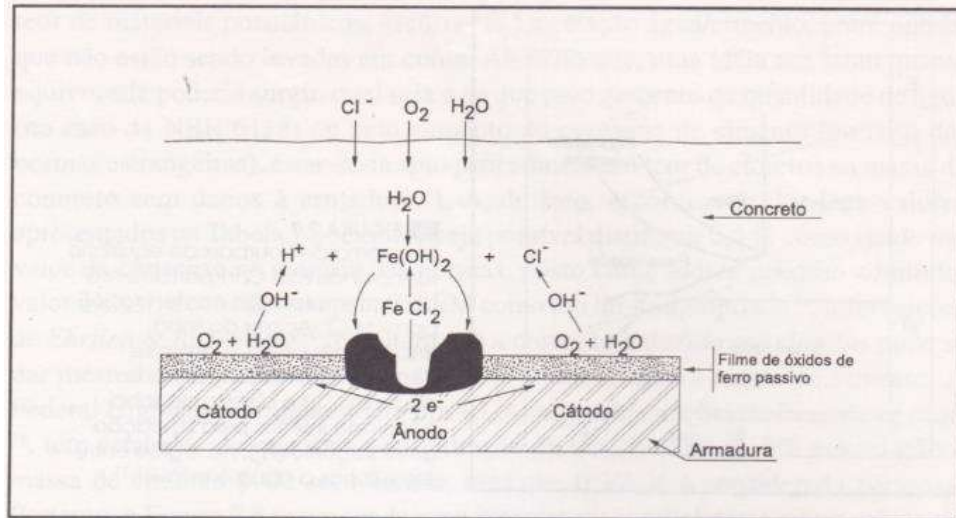


Fonte: Cascudo (1997).

Segundo o relatório do comitê 222 do ACI¹, há três teorias modernas para explicar os efeitos dos íons cloreto sobre a corrosão do aço, das quais, a primeira está explicitamente ligada ao período de iniciação, enquanto as outras duas parecem referir-se ao período de propagação da corrosão.

1. Teoria do filme óxido: os íons penetram no filme de óxido passivante sobre o aço, através de poros ou defeitos, mais facilmente do que penetram outros íons, por exemplo o sulfato (SO_4^{2-}). Alternadamente os cloretos podem dispensar-se coloidalmente no filme de óxido, tornando mais fácil a sua penetração.
2. Teoria da adsorção: Os íons Cl^- são adsorvidos a superfície metálica em competição com o oxigênio dissolvido ou com íons hidroxila. O cloreto promove a hidratação dos íons metálicos, facilitando a sua dissolução.
3. Teoria do complexo transitório: Os íons Cl^- competem com os íons hidroxila (OH^-) para produção de íons ferrosos pela corrosão. Forma-se então um complexo solúvel de cloreto de ferro. Este pode difundir-se a partir das áreas anódicas destruindo a camada protetora de $Fe(OH)_2$ e permitindo a continuação do processo corrosivo. A certa distância do eletrodo o complexo é rompido, precipita o hidróxido de ferro e os íons cloreto fica livre para transportar mais íons ferrosos da área anódica. Uma vez que a corrosão não é estancada, mais íons de ferro continuam a migrar dentro do concreto, a partir do ponto de corrosão, e reagem também com o oxigênio para formar óxidos mais altos que induzem a um volume quatro vezes maior, causando tensões internas e fissuras no concreto. A formação de complexos de cloreto de ferro pode também conduzir a forças internas que levem à fissuração e à desagregação do concreto. A (figura 3) mostra esquematicamente todo o processo.

Figura 3 – Esquema mostrando a corrosão por pite na qual os Cl^- despasseiam a armadura, formam o complexo transitório e depois são reciclados para novas reações.

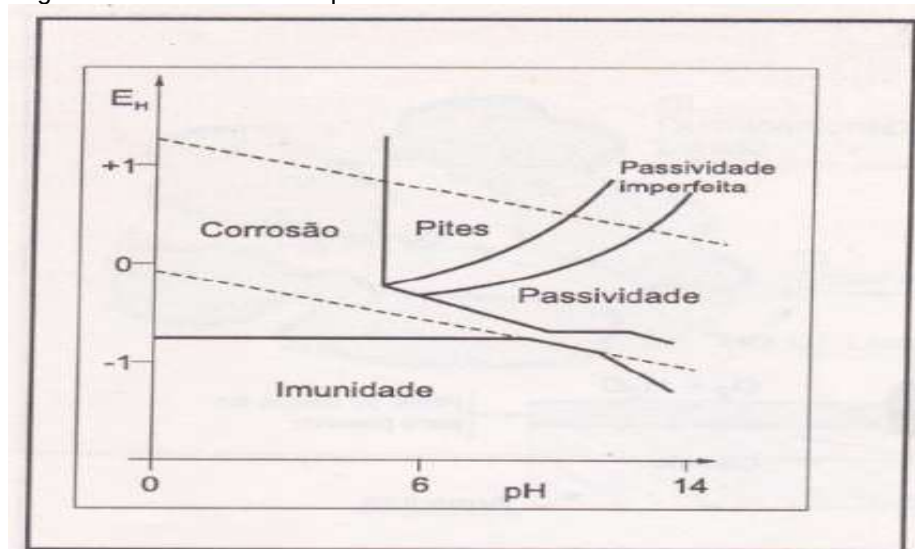


Fonte: Cascudo (1997).

A despeito das teorias do ACl e das várias discussões sobre o assunto, a verdade é que o estabelecimento preciso do mecanismo de despasseação pela ação de cloretos ainda está por vir. Resta clara, no entanto a forma macroscópica de atuação desses íons no período de iniciação, os quais invariavelmente agem provocando acidificações locais que levam a desestabilizações puntiformes do filme de óxidos passivos.

Portanto, é evidente a ação extremamente deletéria dos cloretos, que vai desde a despasseação da armadura até a participação plena no processo corrosivo; a saber, eles aumentam substancialmente a condutividade elétrica do eletrólito acelerando o processo, além de como já comentado, participarem das reações para formação dos produtos de corrosão. Afora tudo isso, deve-se essencialmente aos cloretos a ocorrência da corrosão localizada por pite (possivelmente por causa das acidificações locais mencionadas anteriormente), a qual apresenta grande gravidade do ponto de vista das estruturas de concreto, como mostra a (figura 4) abaixo:

Figura 4 – Diagrama de Pourbaix de equilíbrio termodinâmico.



Fonte: Cascudo (1997).

Um ponto bastante polêmico em relação aos cloretos seria sua concentração crítica máxima, abaixo da qual não houvesse desp passivação da armadura. A norma brasileira ABNT (2014), até antes da revisão que se realiza atualmente, fixava a quantidade máxima de cloretos Cl^- em 500mg/l em relação à água de amassamento. A maioria das normas estrangeiras fixam os teores de Cl^- em relação a massa do cimento, conforme a (tabela 1):

Tabela 1 – Teor de Cl^- para concreto Armado.

NORMAS	TEOR DE Cl^- PARA CONCRETO ARMADO (%)
EH – 88 (espanhola)	0,40
Pr EN – 206 (espanhola)	0,40
BS-8110/85(inglesa-BritishStandard)	0,20 -0,40*
ACI-318/83 (norte americana – American Concrete Institute)	0,15-0,30 – 1,00**

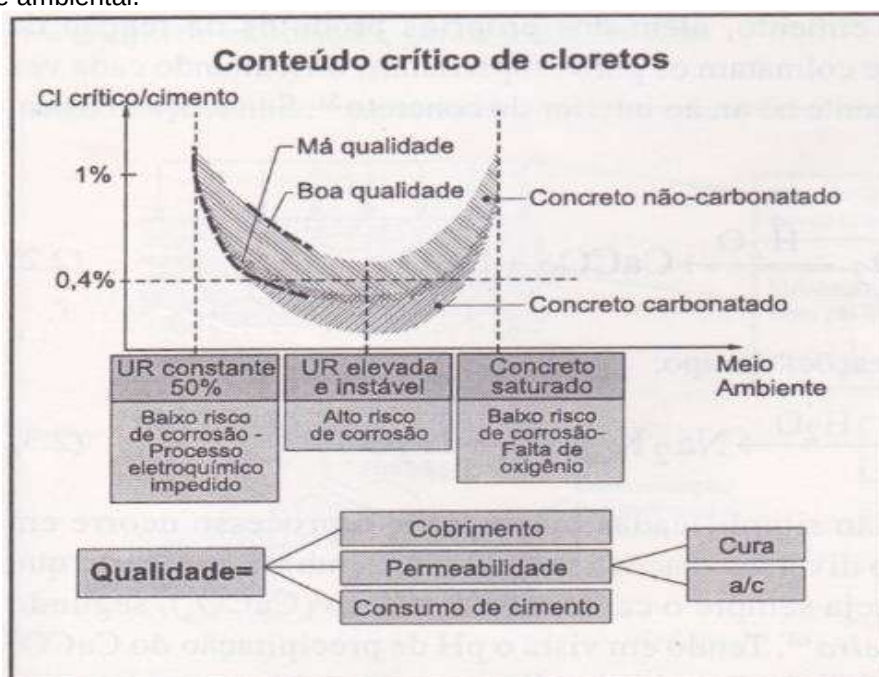
Fonte: Cascudo (1997).

*O limite varia em função do tipo de cimento; **O limite varia em função da agressividade ambiental.

Os teores limites supracitados apresentam-se de uma forma controvertida, uma vez que eles dependem de inúmeras variáveis tais como tipo de cimento (teor de C_3A , teor de materiais pozolânicos, escória etc.) e a relação água/cimento, entre outras, que não estão sendo levadas em conta. Além do que, uma ideia um tanto quanto equivocada poderia surgir, qual seja a de que pelo aumento da quantidade de água, o caso da ABNT (2014), ou pelo aumento do consumo de cimento, no caso das

normas estrangeiras, estar-se-ia apto para aumentar os teores de cloretos na massa de concreto sem danos à armadura. Isto, de fato, é controvertido. Dos valores apresentados na (Tabela 1), embora seja possível distinguir 0,4% como sendo um valor de consenso na maioria das normas, posto como índice máximo admitido, valor inclusive considerado pela RILEM como um limite apropriado, informações de Ehrlich e Rosenberg ressaltam que a corrosão induzida por cloretos pode se dar mesmo com índices da ordem de 0,15% em relação à massa de cimento. A Federal Highway Administration, nos EUA, segundo citações de Rosenberg et al, tem estabelecido que uma concentração de íon cloro de 0,15% em relação à massa de cimento pode ser tolerada, mas que 0,3% já é considerada perigosa. Portanto, a (figura 5), expressa de uma maneira mais satisfatória o teor crítico de cloreto em função da qualidade do concreto e da umidade ambiental.

Figura 5 – Esquema de variação do conteúdo crítico de cloretos em função da qualidade do concreto e da umidade ambiental.

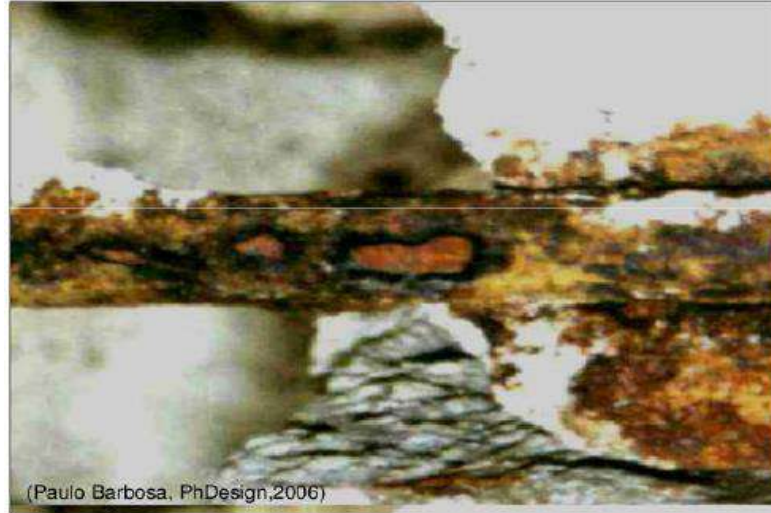


Fonte: Cascudo (1997).

Acerca da concentração crítica de cloretos, o que parece mais razoável é a proposta de Haussmann, a qual define um valor crítico de 0,6 para o quociente entre as concentrações de Cl^- e OH^- na solução dos poros do concreto ($[Cl^-]/[OH^-] = 0,6$), acima do qual tem-se o rompimento do filme passivo. É conhecida a susceptibilidade ao ataque por pites (ação dos cloretos) como função do pH, crescendo ao diminuir a

alcalinidade. Portanto, esse balanço entre a alcalinidade, dada pela atividade do íon OH^- , e a acidez, dada pela atividade do íon Cl^- , é responsável pela manutenção da capa passivadora no aço. A (figura 6) mostra a alta concentração de cloro no aço.

Figura 6 – Corrosão por pites (alta concentração de cloro).



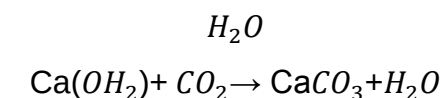
Fonte: Barbosa (2006).

2.9 AÇÃO DA CARBONATAÇÃO

2.9.1 Carbonatação

Geralmente a carbonatação do concreto é a condição essencial para o início da corrosão das armaduras. Nas superfícies expostas das estruturas de concreto, a alta alcalinidade, obtida principalmente às custas da presença de $Ca(OH_2)$ liberado das reações de hidratação do cimento, pode ser reduzida com o tempo. Esta redução ocorre essencialmente pela ação do CO_2 do ar, além de outros gases ácidos tais como SO_2H_2S . Esse processo é chamado de carbonatação e, felizmente, dá-se a uma velocidade lenta, atenuando-se com o tempo. Isto pode ser explicado pela hidratação crescente do cimento, além dos próprios produtos da reação de carbonatação ($CaCO_3$) que colatam os poros superficiais, dificultando cada vez mais o acesso de CO_2 presente no ar, ao interior do concreto. Sua reação básica simplificada, é a seguinte:

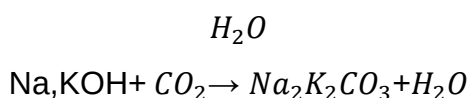
Equação 1 – Carbonatação Simplificada



Fonte: Cascudo (1997).

Embora possam ocorrer reações do tipo:

Equação 2 – Carbonatação Simplificada



Fonte: Cascudo (1997).

As equações 01 e 02 são simplificadas; na verdade o processo ocorre em várias etapas envolvendo diversas reações secundárias, embora seja certo que um dos produtos finais seja sempre o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), segundo Schiessl citado por Nogueira. Tendo em vista o Ph de precipitação do $CaCO_3$ ser da ordem de 9,4 (à temperatura ambiente), tem-se com isto uma alteração substancial das condições de estabilidade química da película passivadora do aço, muitos autores têm proposto um valor crítico de Ph entre 11,5 e 11,8, abaixo do qual não se assegura a manutenção da passivação do aço, embora já tenham sido registrados, sob certas condições, valores inferiores de Ph, sem que tenha havido quebra de passivação.

Uma característica do processo de carbonatação é a existência de uma “frente” de avanço do processo, que separa duas zonas com Ph muito diferentes. Uma com ph menor que 9 (carbonatada) e outra com ph maior que 12 (não carbonatada). Ela é comumente conhecida por frente de carbonatação e deve sempre ser mensurada com relação à espessura do concreto de cobrimento da armadura. É importante que essa frente não atinja a armadura, sob pena de despассивá-la. A (figura 7), mostra um esquema simplificado do processo de carbonatação.

Embora não válida para todos os casos, a velocidade de carbonatação em geral pode ser modelada por uma lei parabólica, de acordo com a equação 3.

Equação 3 – Lei Parabólica

$$e = k * \sqrt{t}$$

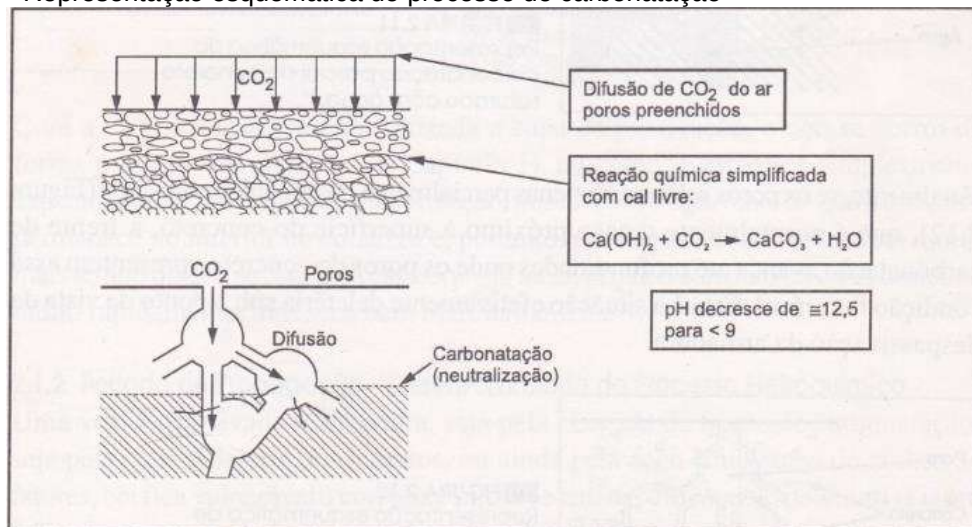
Fonte: Cascudo (1997).

Onde: e= espessura ou profundidade carbonatada, geralmente em mm;

k= coeficiente de carbonatação, depende da difusividade do CO_2 , geralmente em mm.ano;

t= tempo de exposição geralmente em anos.

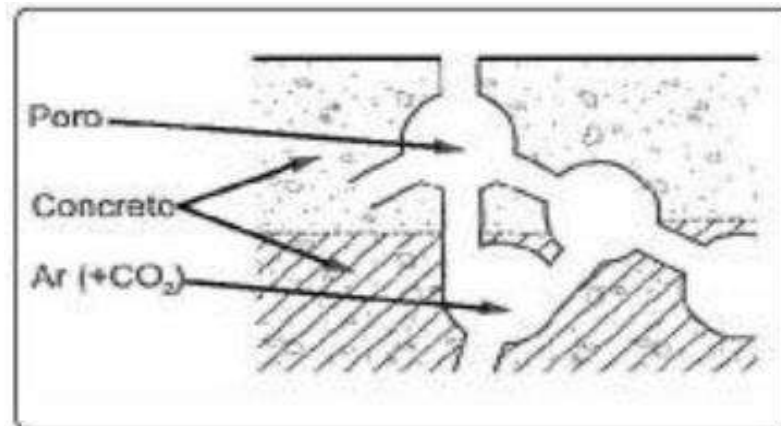
Figura 7 – Representação esquemática do processo de carbonatação



Fonte: Cascudo (1997).

É importante registrar, segundo Bakker, que existe uma grande diferença entre taxas de difusão de CO_2 no ar e na água (na água é cerca de 10^4 vezes mais baixa). Devido ao concreto ser um material microporoso, a penetração de CO_2 será determinada pela forma da estrutura do poro e se os poros do concreto são preenchidos por água ou não. Se os poros estiverem secos (Figura 8), o CO_2 se difundirá no interior deles, mas a carbonatação não ocorrerá pela falta de água. Isto é o caso, na prática, de um concreto seco em estufa.

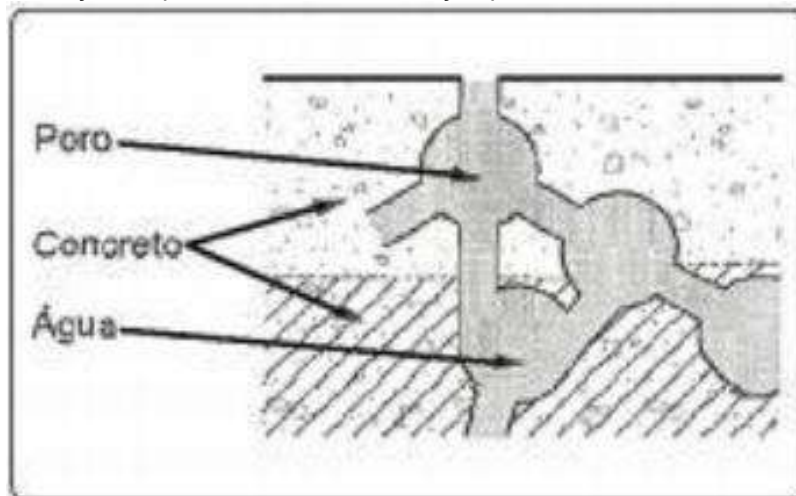
Figura 8 – Representação esquemática de carbonatação parcial do concreto, com poros totalmente secos.



Fonte: Cascudo (1997).

Se os poros estiverem preenchidos com água (Figura 9), não haverá quase carbonatação, devido à baixa taxa de difusão do CO_2 na água.

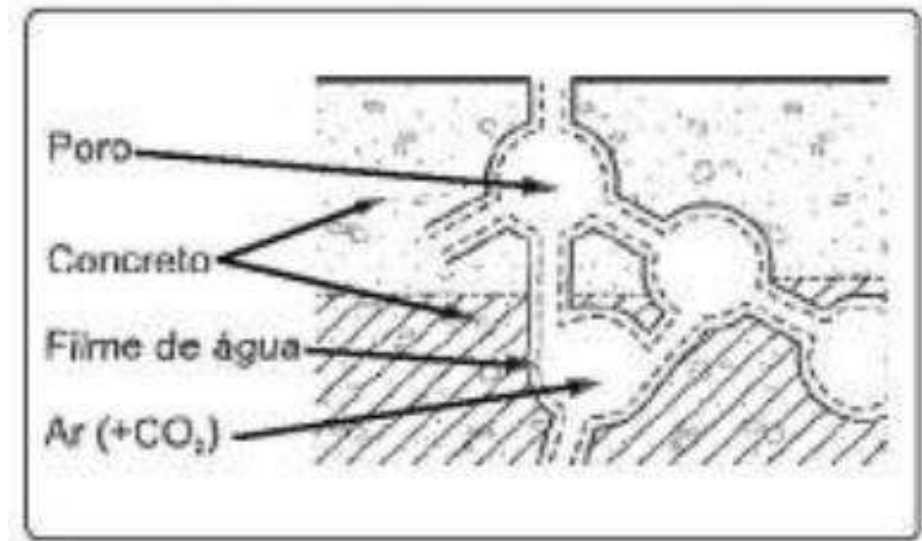
Figura 9 – Representação esquemática da carbonatação parcial do concreto saturado com água.



Fonte: Cascudo (1997).

Finalmente, se os poros estiverem apenas parcialmente preenchidos com água (Figura 10), que é normalmente o caso próximo à superfície do concreto, a frente de carbonatação avança até profundidades onde os poros do concreto apresentem essa condição favorável. Esta é a situação efetivamente deletéria sob o ponto de vista da despassivação da armadura.

Figura 10 – Representação esquemática de carbonatação parcial do concreto com poros parcialmente preenchidos com água (Concreto com U.R. normal do ambiente).



Fonte: Cascudo (1997).

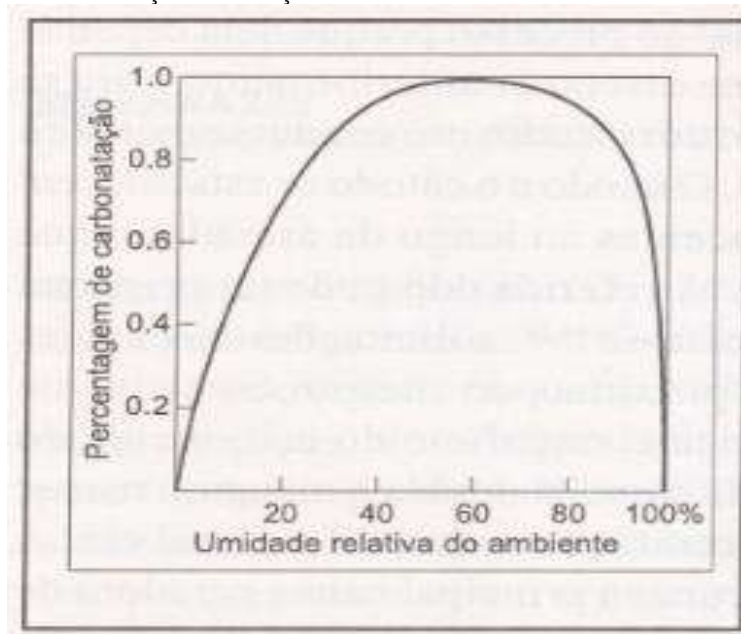
A (Figura 11), De acordo com a revista Alcoonpat e Venuat citado por Rosemberg et al. sintetiza a discussão anterior, mostrando a variação da carbonatação com a alteração da umidade relativa do ambiente.

Em suma, a carbonatação é dependente de fatores como:

- Técnicas construtivas: transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto;
- Condições ambientais (atmosferas rurais, industriais ou urbanas);
- Tipo de cimento; e
- Umidade do ambiente.

E ela será tanto maior quanto maior for a relação água/cimento

Figura 11 – Grau de carbonatação em função da umidade relativa do ambiente.



Fonte: Cascudo (1997).

Com a carbonatação, descaracterizada a capa de passivação, o aço se corrói de forma generalizada, tal como se estivesse simplesmente exposto à atmosfera sem qualquer proteção, porém com o agravante de que a umidade permanece no interior do concreto e, portanto, em contato com a armadura muito mais tempo do que se esta estivesse exposta ao ar, já que o concreto absorve umidade muito rapidamente, mas seca bem mais lentamente.

2.9.2 Avaliação da carbonatação

A avaliação da carbonatação do concreto mediante aspersão de indicadores parece ser suficientemente satisfatória para uma análise consistente do fenômeno, além de que a praticidade relacionada à sua aplicação faz dela um procedimento constante nas inspeções das estruturas de concreto.

A timolftaleína, por ter um pH de modificação teórico aproximadamente igual a 10,5, deve ser preferida em relação à fenolftaleína (pH de “viragem” igual a 9,5), isto porque com um pH de 10,5 não se assegura em sua plenitude a estabilidade dos óxidos de ferro passivos que garantem a proteção química da armadura. Sendo assim, ao se usar exclusivamente a fenolftaleína, poder-se-ia ter uma situação de início de despassivação das armaduras com um pH em torno de 10-10,5, que, entretanto, não seria acusado pelo indicador, o qual ainda exporia a cor vermelha carmim

característica de pH superior a 9,5.

É importante ainda ressaltar sobre as medidas de carbonatação, que a relação entre a espessura carbonatada e a espessura de cobrimento é o parâmetro que efetivamente deve ser inferido, não devendo ele nunca ser igual ou superior a um, sob pena da frente de carbonatação ter atingido a armadura e de se ter uma despassivação iminente ou mesmo já ocorrida. A magnitude da espessura carbonatada, tomada isoladamente, não tem um significado consistente, caso não se tenha a referência da espessura do cobrimento.

3 DIAGNÓSTICOS DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

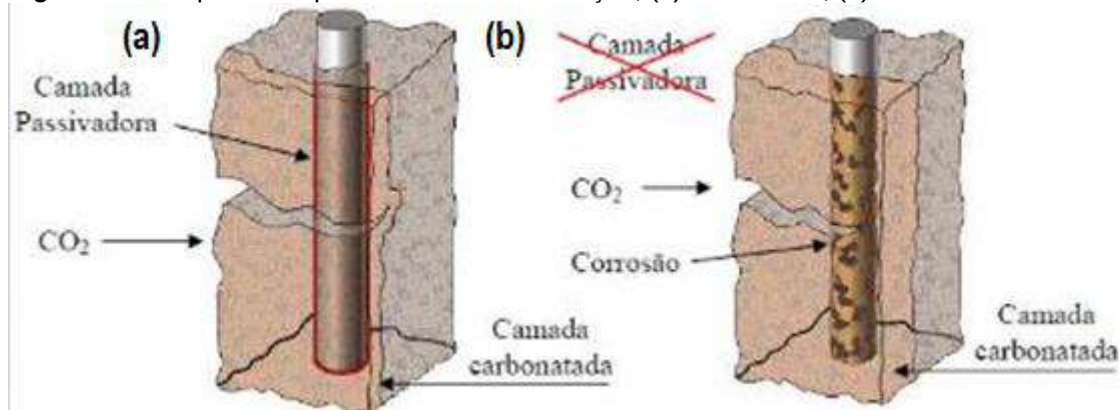
3.1 MÉTODOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

3.1.1 Ensaio de carbonatação

O processo de carbonatação do concreto é resultado de uma reação química que altera o PH do material e pode reduzir a durabilidade da estrutura. O composto químico que desencadeia o fenômeno da carbonatação quando o concreto está exposto a alta concentração é o gás carbônico isso ocorre quando o CO_2 da atmosfera penetra no concreto e reage com a umidade e a temperatura ambiente. Com isto ocorre a corrosão generalizada.

Para evitar corrosão no concreto e nas armaduras é necessária a introdução de uma camada passivadora ou protetora, como mostra a (figura 12).

Figura 12 – Esquema do processo de Carbonatação; (a) Fase inicial; (b) Fase final.



Fonte: Tula (2000).

As condições ambientais concentram alto teor de CO_2 , aumentando as chances de ataque ao concreto. Como também o traço do concreto com alteração no fator água/ cimento resultam em concretos porosos e por isso aumentam as chances de difusão de CO_2 nos poros. Um concreto com baixa permeabilidade ao compactar, dificultará a entrada de agentes agressivos.

Os danos causados são vários como: fissuração do concreto, destacamento do recobrimento do aço, redução da seção da armadura e perda de aderência desta com o concreto.

Para aberturas de fissuras maiores que 0,4 mm, segundo Souza e Ripper (1998), a carbonatação é acelerada e rumo diretamente às barras da armadura. Portanto, pode-se concluir que se o concreto estiver totalmente saturado, não haverá carbonatação, dado que a propagação do dióxido de carbono se dá através dos poros do concreto.

3.1.1.1 Descrição do método

O ensaio de carbonatação é um ensaio simples sendo um bom indicador de corrosão, tendo um custo acessível, variando seu resultado de acordo com a qualidade do concreto e a exposição a umidade. O indicador utilizado para o experimento é a fenolftaleína que é aplicada no concreto. Após a sua aplicação se a superfície do concreto ficar com coloração rosa ele não apresenta carbonatação, ou seja, despassivação da alcalinidade do concreto. Após a sua aplicação se a superfície do concreto ficar incolor ele tem carbonatação, ou seja, ocorreu a despassivação da alcalinidade do concreto.

3.1.1.2 Norma técnica

RILEM CPC-18 – Profundidade de Carbonatação

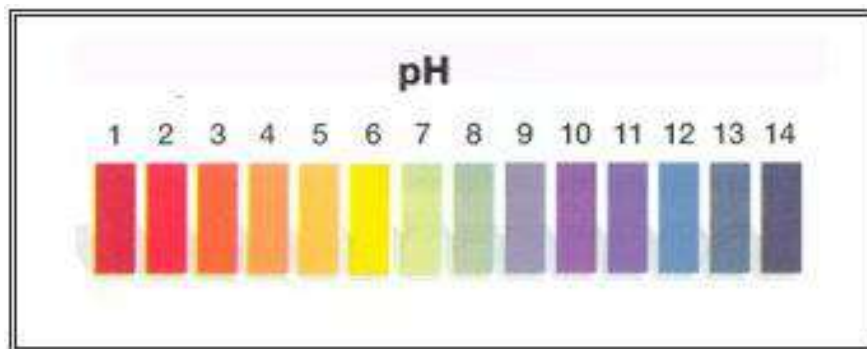
3.1.2 Ensaio de ph do concreto

O PH é a medida de acidez ou alcalinidade de uma solução. É utilizado para medir a concentração de íon hidrogênio existente na solução. O PH é dividido em 3 etapas, ácido, neutro e alcalino. Em uma solução ácida o seu PH é abaixo de 7, uma solução neutra a substância tem valores próximos a 7, e uma solução é considerada alcalina quando seus valores são maiores que 7. O Cimento tem o PH alto, então é uma substância alcalina e essa alcalinidade impede a corrosão do material metálico. Com o passar dos anos, essa alcalinidade diminui, pois, o concreto absorve gás carbônico da atmosfera com isso a armação de ferro fica propícia a corrosão. O Concreto inicialmente preparado deve ter um PH acima de 12.

3.1.2.1 Descrição do método

O Lápis medidor de PH, mostra o real ph do concreto e identifica a presença de carbonatação in-loco. Deve-se limpar o concreto nas áreas a serem analisadas, molhar e riscar a superfície com o Lápis. Em pouco tempo aparecerá a cor que informará, pela escala de cor apresentada na figura 13, a seguir, qual o valor do pH do concreto. Na figura 14, mostra a descrição dos constituintes em relação ao pH.

Figura 13 – Tabela de cores PH



Fonte: Colégio Assis Chateaubriand et al.(2011).

Figura 14 – Descrição dos constituintes em relação ao Ph.

	Valores de pH													
Timolftaleína														
Fenolftaleína														
	≤14	≤13	≤12	≤11	≤10	≤9	≤8	≤7	≤6	≤5	≤4	≤3	≤2	≤1

os constituintes do concreto relacionados com o ensaio:

PH	Constituintes
Acima de 13	Alcalinidade cáustica ou hidróxica (OH^-) Carbonato alcalino (CO_3^{2-})
Entre 12 e 11	Nada de bicarbonato (HCO_3^-) Nada de dióxido de carbono (CO_2)
Entre 9 e 8	Presença de carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-) Nada de dióxido de carbono livre e alcalinidade cáustica
Entre 5,5 e 8	Presença de bicarbonato (HCO_3^-) e dióxido de carbono livre (CO_2) Nada de carbonato (CO_3^{2-})
Abaixo de 5,5	Ácidos minerais (H_2SO_4 , HCl , HNO_3)

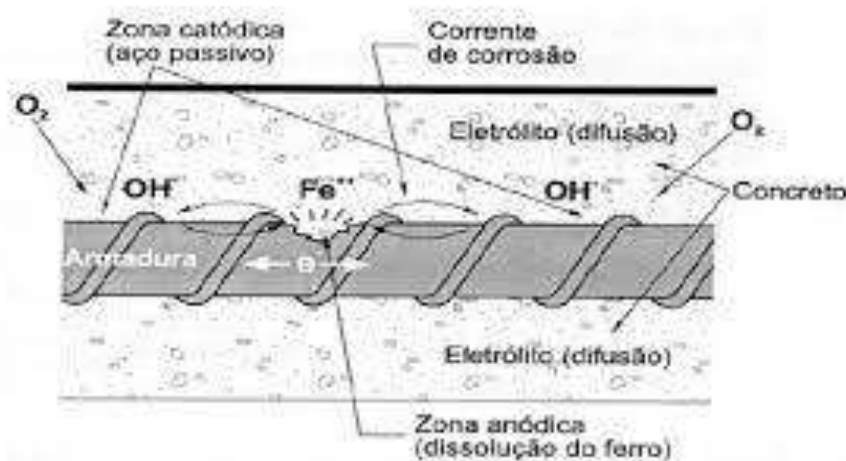
Fonte: Real (2015).

3.1.3 Ensaio de presença de cloretos

A contaminação por íons de cloreto pode acontecer na composição do concreto como agente acelerador de pega e endurecimento, e podem vir através de

agregados e água de amassamento contaminados (nestes casos diz-se que eles são incorporados a massa de concreto). Ou podem penetrar por sais anticongelantes (empregados nos invernos rigorosos de países frios), salmouras industriais e maresia, nestes casos diz-se que a contaminação se deu por impregnação da superfície de concreto pelos agentes agressivos externos). Causando assim a corrosão nas armaduras que é uma das principais causas de deterioração da estrutura. Estes íons são agressivos comparando-os com o CO_2 e outras soluções ácidas. A (figura 15) mostra a deteriorização localizada na armadura.

Figura 15 – Detalhe da penetração de cloretos.



Fonte: HUSNI (2003).

3.1.3.1 Descrição do método

O Ensaio de presença de Cloreto é um ensaio parecido com o ensaio de carbonatação, simples e prático de fazer. O indicador utilizado para o experimento foi o nitrato de prata – que foi despejado no corpo de prova. Após a aplicação se a superfície do concreto ficar incolor significa que não tem cloreto no concreto. Após a aplicação se a superfície do concreto ficar com coloração marrom ou branca significa que tem cloreto no concreto.

3.1.3.2 Método colorimétrico empregado: nitrato de prata (AgNO_3)

O desenvolvimento do método surgiu na Itália em 1970, por Collepardi. Consiste em um método qualitativo para identificar a presença de cloretos livres em

materiais com base cimentícia (FRANÇA, 2011; MOTA, 2011). O método chegou a ser normalizado na Itália, entretanto, segundo Colombo (2001), por não apresentar resultados seguros, a norma “UNI 7928” foi retirada de operação sem previsão de substituição.

A principal aplicação do método colorimétrico é a determinação da profundidade da frente de penetração de cloretos que ingressam no concreto pelos fenômenos da absorção associada a difusão. Quando a solução de nitrato de prata é aspergida na superfície do concreto, ocorre uma reação fotoquímica. Onde há presença de cloretos livres ocorre a formação de um precipitado branco de cloreto de prata. Na (figura 16) mostra a região sem cloretos ou com cloretos combinados, há formação de um precipitado marrom, o óxido de prata. Porém como a frente de penetração de cloretos não é regular, isto pode mascarar as medidas de profundidade de ingresso dos cloretos. No caso em que os cloretos estão inseridos na matriz do concreto, a visualização pode tornar-se um pouco mais difícil (MECK; SIRIVIVATNANON, 2003; FRANÇA, 2011; MOTA, 2011).

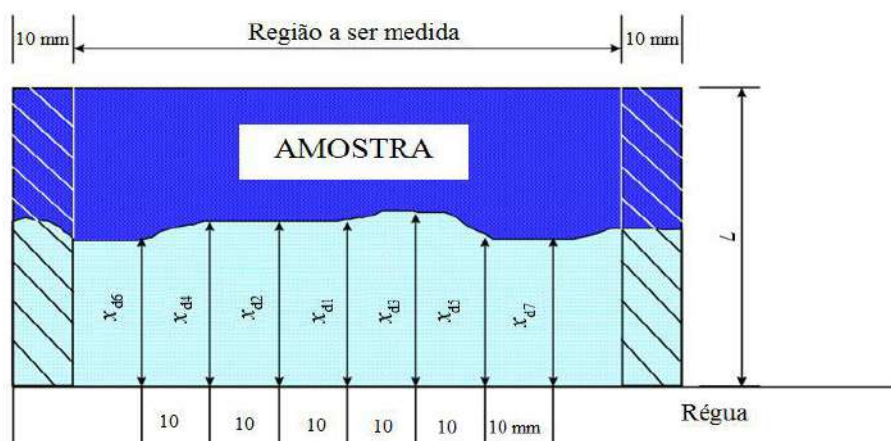
Figura 16 – Possível precipitação de cloretos livres (branco) e cloretos combinados (marrom)



Fonte: Medeiros e Helene (2009).

Como a penetração de cloretos não é uniforme, a NT BUILD 492 (2000) recomenda realizar sete medidas a cada 10 mm, sendo o resultado a média entre todas elas (Figura 17). No caso de impossibilidade de leitura pela presença de agregados, deve-se alterar o ponto de medição ou ignorar esta profundidade se houver outras cinco válidas.

Figura 17 – Medidas da frente de penetração de cloretos



Fonte: NT BUILD -492 (2000).

Aconselha-se o emprego da técnica de realcalinização do material cimentício antes a aplicação do método colorimétrico (JUCÁ, 2002), pois caso o concreto esteja carbonatado e sem contaminação por cloretos o ensaio irá resultar em falso positivo, sendo este um dos motivos de dificuldade de implementação desta técnica correntemente nas inspeções de campo.

3.1.3.3 Influência do tipo de cimento nos resultados

A técnica do nitrato de prata identifica apenas os cloretos livres do concreto, portanto os resultados podem ser influenciados pela capacidade do cimento (JUCÁ, 2002).

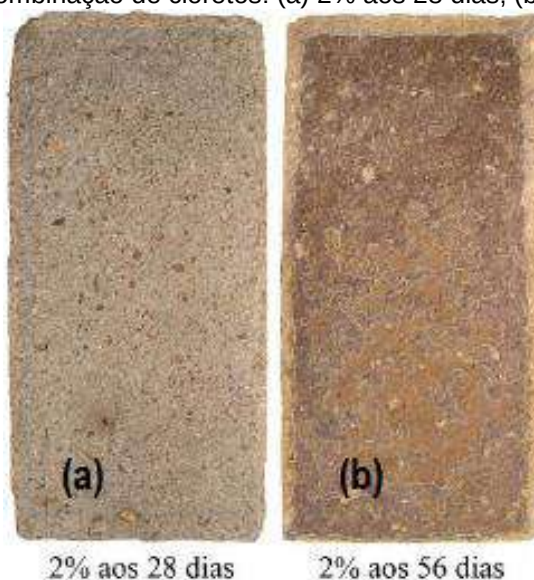
Porém, Pereira e Cincotto (2001), avaliaram a capacidade de combinação de cloretos em concretos moldados com diferentes tipos de cimento Portland (CP I S, CP II F, CP III, CP IV e CP V ARI), não observaram diferenças significativas o teor de cloretos combinados.

Em contrapartida, Jucá (2002) confeccionou corpos de prova com os mesmos cinco tipos de cimento (CP I S, CP II F, CP III, CP IV e CP V – ARI), incorporando 1 e 2% de cloretos em relação à massa de cimento às amostras. Após a aspersão do nitrato de prata, os resultados permitiram visualizar que há um período de combinação de cloretos e que o teor de aluminatos dos cimentos é um fator preponderante no processo de combinação química.

França (2011), avaliou a combinação de cloretos utilizando o método colorimétrico para 0,4 e 2% de cloretos em relação à massa dos cimentos CP II F, CP

IV e CP V – ARI e, assim como para Jucá (2002), seus resultados apresentaram que há influência do tipo de cimento na quantidade de cloretos livres. Os resultados do estudo de Mota (2011) também permitiram observar que há fixação de cloretos com o passar do tempo. Para uma argamassa produzida com 2% de cloretos em relação à massa de cimento, a região branca (que indica onde há cloretos livres) se modificou. Apesar de não haver uma frente de penetração de cloretos, já que a contaminação nessa etapa do estudo de Mota (2011) foi interna, é possível observar na Figura 18 que a área contaminada por cloretos, indicada pela alteração da coloração para esbranquiçado ao se aspergir nitrato de prata, diminuiu. Ou seja, os cloretos estariam deixando de ser livres para se combinar com o C3A. Vale salientar que as bordas claras na (Figura 18) são relativas ao efeito da carbonatação.

Figura 18 – Evolução da combinação de cloretos: (a) 2% aos 28 dias; (b) 2% aos 56 dias.



Fonte: Mota (2011).

3.1.3.4 Ponto de viragem e influência do pH

Ao se aplicar o método colorimétrico, existe um ponto de viragem de coloração. Ou seja, uma determinada concentração de cloretos e da solução de nitrato de prata que causa a mudança de cor (Formação da fronteira; border-change color), de modo a se determinar a profundidade da frente de penetração de cloretos livres. De acordo com Otsuki et. al. (1992), a concentração da solução de AgNO_3 adequada para o método colorimétrico é igual a 0,1 N. Esse valor tem sido consenso entre os diversos autores da área (ANDRADE et al., 1999; MECK; SIRIVIVATNANON, 2003;

JUCÁ, 2002; FRANÇA, 2011; MOTA, 2011).

Ainda segundo Otsuki et. al. (1992), para concentração de AgNO_3 igual a 0,1 N o teor mínimo de cloretos livres que gera essa alteração de cor é igual a 0,15% em relação à massa do cimento. Entretanto, Collepardi (1997) defende que esse teor mínimo é igual a 0,01% (JUCÁ, 2002; FRANÇA, 2011; MOTA, 2011). Já Andrade et al. (1999) encontraram, com 95% de confiabilidade, que o ponto de viragem é de $1,14\% \pm 1,4$ em relação a massa de cimento. Esse valor está em concordância ao defendido por Meck e Sirivivananon (2003), que é igual a 0,9% de cloretos em relação à massa de cimento. Em 2011, He et Al. Encontraram que esse teor crítico de cloretos está entre 0,011 e 2,27% sobre o peso de cimento. Deve-se destacar que não existe consenso sobre o teor de cloretos livres que causa a mudança de cor na solução de AgNO_3 0,1N, uma vez que os dados disponíveis nos estudos citados são tão discrepantes.

Recentemente, Kim et.al. (2013) reavaliaram as variáveis que podem influenciar a técnica. O estudo consistiu em verificar se há mudança na coloração ao se alterar o Ph do meio, a concentração de AgNO_3 e teor de cloretos. Além disso, avaliaram se a relação água/cimento influenciaria na concentração de cloretos na fronteira de mudança de cor (Border-change color) e se o método colorimétrico é aplicável in situ, ou seja, em estruturas reais. Os itens avaliados e seus detalhes estão apresentados na (Tabela 2).

Tabela 2 – Variáveis de teste

Item	O que foi avaliado?	Detalhes
Mecanismo do método clorimétrico.	Ph Concentração de NaCl (kg/m ³)	10;11;12 e 13 0,1-1,0
Influência do a/c na concentração de cloretos e na mudança de cor.	Relação água/cimento	0,4;0,5 e 0,6
Concentração ótima de AgNO_3 para se realizar o ensaio	Concentração de AgNO_3	0,03N; 0,04N;0,05N e 0,1 N
Aplicação no concreto	Em laboratório In situ	Concentração e Cl na região colorida Influência da carbonatação

Fonte: Adaptado de KIM et al. (2013).

Inicialmente foram realizados ensaios com Ph=12 e alteração das concentrações de cloretos e das soluções de nitrato de prata, como pode ser

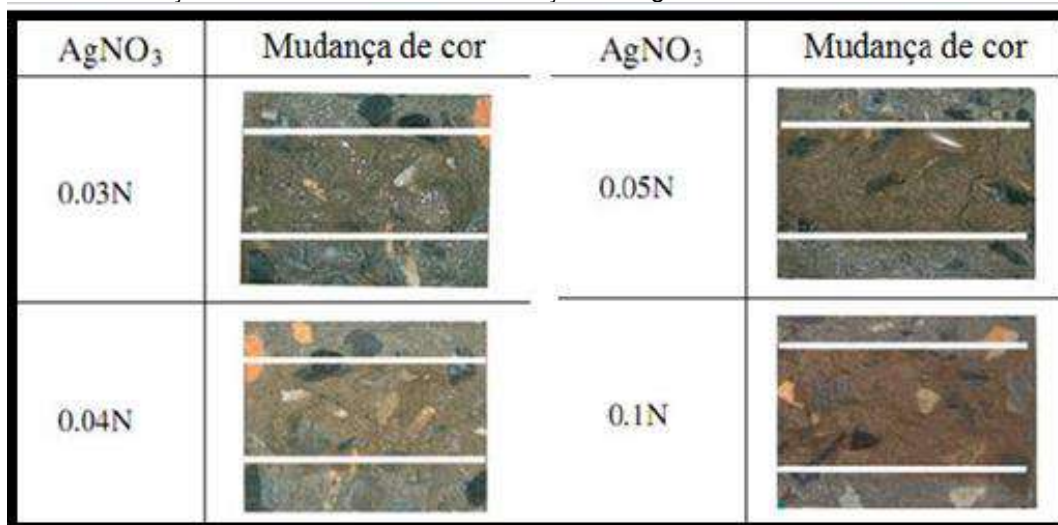
observado na figura 19 Segundo Kim et al. (2013), a alteração de cor foi mais claramente observada para concentrações de AgNO_3 superiores a 0,003N . Conforme a concentração de nitrato de prata aumenta, pode-se observar alteração na coloração. Nas baixas concentrações, essa mudança não é claramente visualizada e pode gerar erros (principalmente nas concentrações de 0,03 e 0,04N). Portanto, para mensurar a profundidade de penetração dos íons cloreto, os autores recomendam utilizar concentração de nitrato de prata acima de 0,05N.

Figura 19 – Determinação da concentração ótima de nitrato de prata e do teor mínimo de cloretos

AgNO_3	NaCl (kg/m ³)				
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.02N					
0.03N					
0.04N					
0.05N					
0.06N					
0.1N					

Fonte: Adaptado de KIM et al. (2013).

Na sequência do estudo de Kim et al. (2013), quatro corpos de prova que foram submersos em água marinha por 3 meses, foram submetidos ao ensaio de aspersão de nitrato de prata a diferentes concentrações de AgNO_3 , como se pode observar na (figura 20).

Figura 20 – Mudança de cor conforme a concentração de AgNO_3 

Fonte: Adaptado de KIM et al. (2013).

Ao analisar os valores defendidos pelos distintos autores, pode-se dizer que a concentração da solução de AgNO_3 mais indicada para o método colorimétrico é de 0,1N. porém, ainda não há um consenso quanto ao teor de cloretos que leva a mudança de cor. Mesmo as pesquisas mais atuais (HE et al., 2011; KIM et al. 2013), ainda não chegaram a valores próximos entre si, como pode ser observado na (Tabela 3).

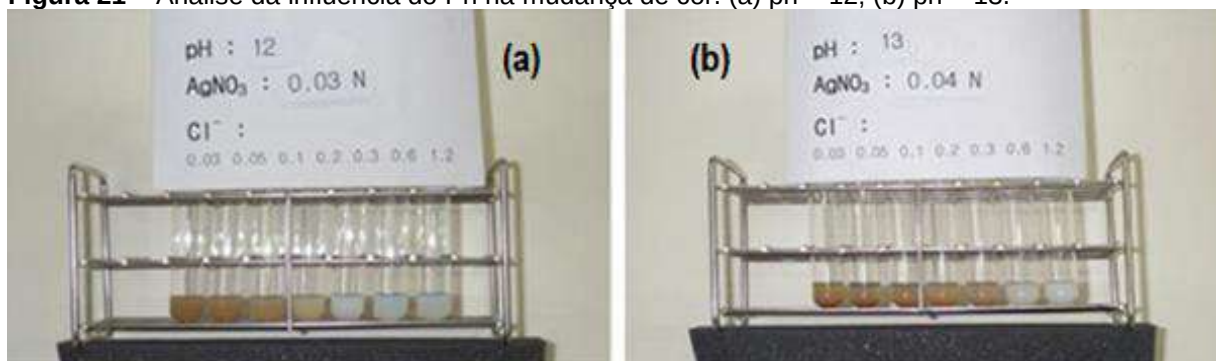
Tabela 3 – Resumo das concentrações de AgNO_3 e % limite de cloretos para viragem de coloração

Autor	Concentração de AgNO_3	% de cloretos sobre o peso de cimento
Otsuki et al. (1992)	0,1 N	0,15%
Collepari (1997)	0,1N	0,01%
Andrade et al. (1999)	0,1 N	1,14%±1,4%
Meck e Sirivvatnanon (2003)	0,1 N	0,90%
He et al. (2011)	0,1 N	0,011% a 2,27%
Kim et al. (2013)	Acima de 0,05N	0,05%

Fonte: Real (2015).

Para avaliar a influência do Ph na coloração, Kim et al. (2013) ensaiaram, como apresenta a (Figura 21), diversas concentrações de nitrato de prata e cloretos para diferentes valores de Ph.

Figura 21 – Análise da influência do Ph na mudança de cor. (a) ph = 12; (b) ph = 13.



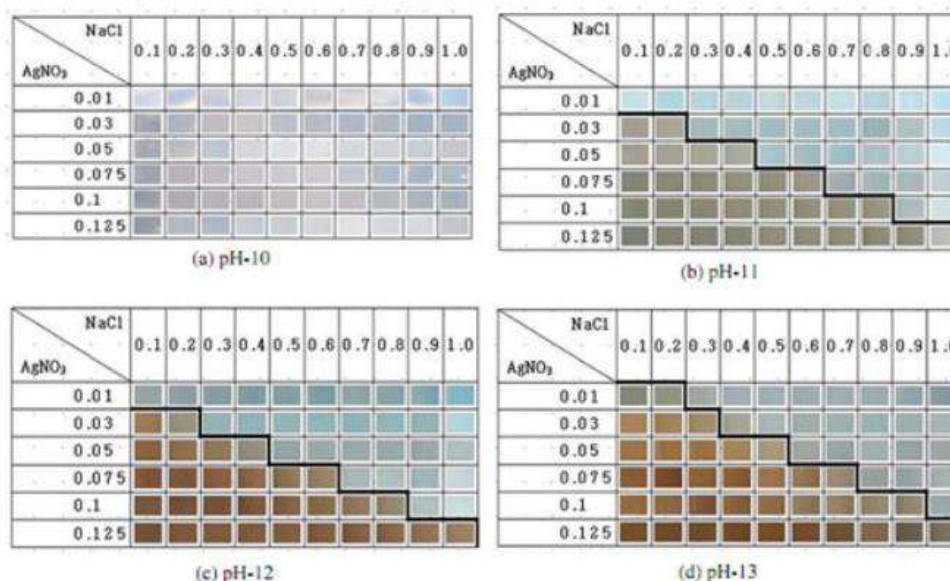
Fonte: Kim et al. (2013).

Os resultados apresentaram que quando o Ph está abaixo de 10, a medida da penetração de cloretos é impraticável (Figura 22). Portanto, quando a estrutura está exposta ao ataque por cloretos e ao CO₂, a profundidade de carbonatação deve ser mensurada antes da profundidade de cloretos. Quando a profundidade de carbonatação é superior à de penetração de cloretos, é impossível, de acordo com Kim et al. (2013) determinar a segunda variável (penetração de cloretos livres) através da aspersão de nitrato de prata.

A relação água/cimento não influenciou a concentração de cloretos na fronteira de mudança de cor (KIM et al., 2013), ou seja, ela não afeta o ponto de viragem para o método colorimétrico.

O método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata pode ser utilizado, ao menos, como primeiro passo para quantificar a penetração dos cloretos dentro do concreto (BOUNY et al., 2007). No caso de estruturas expostas a ambientes marinhos e ao CO₂, o emprego do método de aspersão de nitrato de prata torna-se complicado, sendo necessário associar o método com outros ensaios (JUCÁ, 2002; FRANÇA, 2011; MOTA, 2011). Kim et al. (2013) aplicaram o método colorimétrico a estruturas de concreto armado expostas a cloretos e a rodovias expostas a sais de degelo para confirmar a aplicabilidade do ensaio. Como a carbonatação foi mais profunda do que a penetração de cloretos, foi impossível aplicar o método colorimétrico, uma vez que ao se aspergir o nitrato de prata, a região de mudança de cor poderia indicar presença de carbonatação e não apenas a contaminação por cloretos.

Figura 22 – a) Coloração para Ph=10 b) Coloração para Ph=11 c) Coloração para Ph=12 d) Coloração para Ph=13



Fonte: KIM et al. (2013).

3.1.3.4 Outros métodos colorimétricos utilizando nitrato de prata

Desde 1970, três métodos colorimétricos baseados em AgNO_3 (AgNO_3 + Fluoresceína, AgNO_3 + K_2CrO_4 e AgNO_3) têm sido propostos para medir a profundidade de penetração de íons cloreto no concreto em campo e laboratório. Os dois métodos ainda não abordados estão descritos a seguir (HE et al., 201):

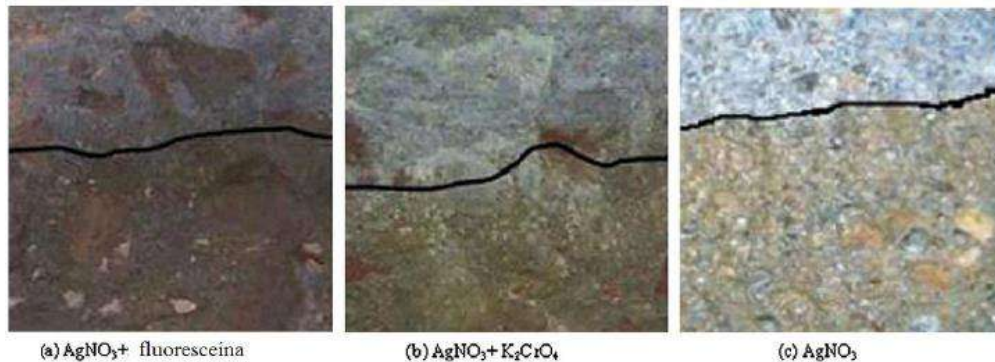
AgNO_3 + Fluoresceína: nos anos 70, Collepardi Et al. (1970;1972) desenvolveram um método colorimétrico para determinar o cloreto livre contido no concreto, no qual, primeiramente, uma solução de fluoresceína (1g/L em uma solução de 70% de álcool etílico em água) foi aspergida em uma seção de concreto com penetração de cloretos. Em seguida, foi aplicado 0,1 mol/L de solução de nitrato de prata. Imediatamente depois da aspersão de nitrato de prata, houve a formação de Ag_2O e AgCl . A fluoresceína é um ácido orgânico fraco, que em solução se desassocia em íon verde amarelado. Esse método foi definido como a Italian Standard 79-25 (1978).

AgNO_3 + K_2CrO_4 : Nesse método, primeiramente, uma solução de 0,1mol/L de AgNO_3 de ph=3-5 é aspergida em uma seção de concreto. Após uma hora de secagem natural, aplica-se a solução de K_2CrO_4 (5% em massa). Uma vez que a solução de cromato de potássio é aspergida, a zona contaminada por cloretos fica amarela devido à formação de AgCl branco e, em seguida, a aplicação da solução de K_2CrO_4 a deixa amarelada.

Comparação entre os três métodos: O método colorimétrico que utiliza apenas nitrato de prata é o mais simples entre os três; o uso de cromato de potássio e de fluoresceína exige maior tempo de reação para obter melhor efeito da coloração. O uso de AgNO_3 resulta em uma mudança clara na maioria dos casos, portanto, é o método mais utilizado. Na figura 23 é possível observar que o limite de mudança de cor entre a zona que contém cloreto e a zona livre de cloretos é visível nos três casos. Entre os três, o uso de AgNO_3 + fluoresceína e o método AgNO_3 são muito similares. No entanto,

o método AgNO_3 + fluoresceína não apresenta uma fronteira muito clara.

Figura 23 – a) AgNO_3 + fluoresceína b) AgNO_3 + K_2CrO_4 c) AgNO_3



Fonte: Adaptado de He et al. (2011).

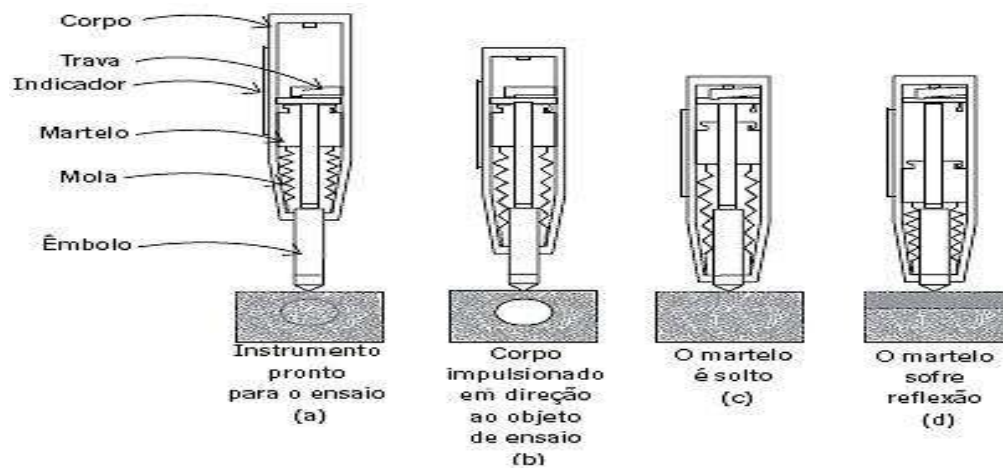
3.1.3.5 Norma técnica

ASTM C1152 e ASTM C1411 – Teor de cloreto

3.1.4 Ensaio de resistência à compressão através da esclerometria

Segundo Bungey (1989), as tentativas iniciais de medir a dureza superficial do concreto ocorreram no ano de 1930, quando inicialmente foi utilizado um método de medição no retorno de uma bola de aço fixada no pêndulo, ou atirada de uma pistola. Porém o princípio do ricochete foi o mais aceito mundialmente, que diz que “o retorno de uma massa elástica depende da dureza da superfície onde ela se choca”, entretanto o esclerômetro mais usado em vários países por anos tem sido o suíço “Schmidt Hammer”. A (figura 24) mostra o esquema do ensaio de esclerometria.

Figura 24 – Esquema do ensaio de esclerometria



Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

3.1.4.1 Descrição do método (I.E.)

Este método submete a superfície do concreto a vários impactos de forma padronizada, como mostra a figura 26, medindo-se o valor do índice esclerométrico (I.E). Tem-se verificado que não há uma correlação única entre o valor do índice esclerométrico e a resistência à compressão, devido à influência de vários fatores nessa relação: tipo e quantidade de cimento, natureza do agregado, maturidade e teor de umidade do concreto (FOCAOARU, 1984). A (figura 25) mostra o processo de lixamento do pilar antes dos impactos.

Tabela 4 – Índice Esclerométrico

IES			
IE1	IE2	IE3	IE4
IE5	IE6	IE7	IE8
IE9	IE10	IE11	IE12
IE13	IE14	IE15	IE16

Fonte: Escobar et al. (2008).

No final ao medir o índice esclerométrico faz-se uma média mínima e máxima dos valores encontrados.

Equação 4 – Média Máxima

$$MédiaMáx = \frac{SomaIES(16)}{16}$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Equação 5 – Média Mínima

$$MédiaMin = \frac{SomaIES(5)}{5}$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Figura 25 – Lixamento dos pilares antes da aplicação do esclerômetro.



Fonte: Autor (2016).

Figura 26 – Aplicação do esclerômetro em um dos pilares do UNI-RN



Fonte: Autor (2016).

3.1.4.2 Vantagens e aplicações do ensaio de esclerometria

O esclerômetro é um equipamento fácil de operar e acessível, com relação aos dados coletados possuindo grande eficiência e rapidez. Quase não há danos na superfície, sendo os mesmos praticamente nulos. O método é bom para avaliação da uniformidade do concreto, monitoramento do desenvolvimento da resistência ao longo do tempo e também para estimar a resistência do concreto. Com a utilização deste método, pode-se comparar a qualidade do concreto em diferentes áreas da estrutura sem necessidade de danificar o concreto, o que exigiria pequenos reparos, e também estimar a sua resistência com base em curvas de correlação. Devendo-se sempre relacionar os resultados obtidos com o esclerômetro com os obtidos na prensa hidráulica, por causa dos vários fatores que influenciam o ensaio de esclerometria.

3.1.4.3 Norma técnica

ABNT NBR 7584:2012 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio

4 ESTUDOS DE CASOS

Este experimento foi aplicado na parte externa do concreto, evitando que o ensaio se tornasse destrutivo.

4.1 ESTUDO DE CASO 1 – PISCINA DA ESCOLA DOMÉSTICA (ED)

Figura 27 – Vista da piscina da escola doméstica (ED).



Fonte: Autor (2016).

4.1.1 Ensaio de Carbonatação

Pilar 01 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 02 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 03 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 04 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 05 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 06 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

4.1.2 Ensaio de pH

Pilar 01 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 2, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 02 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação

Pilar 03 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 2, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 04 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 4, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 05 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 2, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 06 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

4.1.3 Ensaio de Cloreto

Pilar 01 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 02 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 03 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 04 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 05 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 06 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

4.1.4 Ensaio de Esclerometria

Tabela 5 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 da piscina do ED

IES			
IE1- 38	IE2-34	IE3-32	IE4-32
IE5-36	IE6-34	IE7-34	IE8-28
IE9-33	IE10-32	IE11-34	IE12-32
IE13-34	IE14-33	IE15-32	IE16-34

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1, IE5 e IE8.

Equação 6 – Média

$$Média = \frac{(6 \times 34) + (5 \times 32) + (2 \times 33)}{13} \quad Média = 33,07$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a)

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 18,7MPa ou 191Kgf/cm² e a tensão máxima é 24,2MPa ou 247Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 07 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(18,7 + 24,2)}{2} \quad R.Média = 21,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 6 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 da piscina do ED

IES			
IE1- 37	IE2-44	IE3-33	IE4-32
IE5-33	IE6-33	IE7-31	IE8-29
IE9-36	IE10-33	IE11-34	IE12-32
IE13-35	IE14-31	IE15-34	IE16-32

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1, IE2, IE8, IE9 e IE13.

Equação 8 - Média

$$Média = \frac{(4 \times 33) + (3 \times 32) + (2 \times 31) + (2 \times 34)}{11} \quad Média = 32,54$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 17,5MPa ou 178Kgf/cm² e a tensão máxima é 22,9MPa ou 233Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 9 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(17,5 + 22,9)}{2} \quad R.Média = 20,2MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 7 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 da piscina do ED

IES			
IE1- 33	IE2-35	IE3-36	IE4-34
IE5-28	IE6-38	IE7-36	IE8-36
IE9-29	IE10-35	IE11-40	IE12-40
IE13-40	IE14-32	IE15-36	IE16-28

Fonte: Autor (2016).

Equação 10 – Média

$$Média = \frac{(1 \times 33) + (2 \times 35) + (4 \times 36) + (1 \times 34) + (2 \times 28) + (1 \times 38) + (1 \times 29) + (3 \times 40) + (1 \times 32)}{16}$$

$$Média = 34,75$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 21,4MPa ou 218Kgf/cm² e a tensão máxima é 27,0MPa ou 275Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 11 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(21,4 + 27,0)}{2} \quad R.Média = 24,20MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 8 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 da piscina do ED

IES			
IE1- 28	IE2-30	IE3-31	IE4-31
IE5-28	IE6-30	IE7-30	IE8-31
IE9-26	IE10-30	IE11-31	IE12-40
IE13-28	IE14-32	IE15-32	IE16-30

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE9 e IE12.

Equação 12 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 28) + (5 \times 30) + (4 \times 31) + (2 \times 32)}{14} \quad Média = 30,14$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 14,8MPa ou 151kgf/cm² e a tensão máxima é 20,1 MPa ou 205kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 13 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(14,8 + 20,1)}{2} \quad R.Média = 17,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 9 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 da piscina do ED

IES			
IE1- 42	IE2-33	IE3-34	IE4-35
IE5-30	IE6-35	IE7-30	IE8-32
IE9-32	IE10-31	IE11-36	IE12-31
IE13-32	IE14-31	IE15-30	IE16-28

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1, IE11 e IE16.

Equação 14 – Média

$$Média = \frac{(1 \times 33) + (1 \times 34) + (2 \times 35) + (3 \times 30) + (3 \times 32) + (3 \times 31)}{13} \quad Média = 32$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 17,5MPa ou 178kgf/cm² e a tensão máxima é 22,9MPa ou 233kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 15 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(17,5 + 22,9)}{2} \quad R.Média = 20,20MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 10 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 da piscina do ED

IES			
IE1- 32	IE2-36	IE3-34	IE4-39
IE5-41	IE6-44	IE7-34	IE8-44
IE9-44	IE10-30	IE11-44	IE12-44
IE13-37	IE14-44	IE15-38	IE16-29

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1, IE10 e IE16.

Equação 16 – Média

$$Média = \frac{(1 \times 36) + (2 \times 34) + (1 \times 39) + (1 \times 41) + (6 \times 44) + (1 \times 37) + (1 \times 38)}{13} \quad Média = 40,23$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 28,4MPa ou 290kgf/cm² e a tensão máxima é 34,4MPa ou 351kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 17 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(28,4 + 34,4)}{2} \quad R.Média = 31,40MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

4.2 ESTUDO DE CASO 2 – GINÁSIO DE INTEGRAÇÃO

Segue a vista frontal do ginásio de Integração do UNI-RN (Figura 28).

Figura 28 – Vista do Ginásio de Integração UNI-RN.



Fonte: Autor (2016).

4.2.1 Ensaio de Carbonatação

Pilar 01 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 02 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 03 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 04 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 05 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 07 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 08 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 09 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 10 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 11 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

4.2.2 Ensaio de pH

Pilar 01 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 2, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 02 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 2, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 03 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 2, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 04 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 05 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 2, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 06 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 07 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 2, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 08 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 09 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 10 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 11 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

4.2.3 Ensaio de Cloreto

Pilar 01 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 02 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 03 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 04 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 05 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 06 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar lixado recoberto de cal observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 07 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 08 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar lixado recoberto de cal observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 09 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 10 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 11 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

4.2.4 Ensaio de Esclerometria

Tabela 11 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 do ginásio de integração do UNI-RN

IES			
IE1- 22	IE2-19	IE3-26	IE4-22
IE5-22	IE6-20	IE7-18	IE8-19
IE9-22	IE10-20	IE11-19	IE12-20
IE13-22	IE14-18	IE15-18	IE16-20

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE3.

Equação 18 – Média

$$Média = \frac{(5 \times 22) + (3 \times 19) + (4 \times 20) + (3 \times 18)}{15} \quad Média = 20,07$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 19 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 12 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 do ginásio de integração do UNI-RN

IES			
IE1- 20	IE2-22	IE3-22	IE4-12
IE5-22	IE6-20	IE7-22	IE8-14
IE9-22	IE10-24	IE11-16	IE12-12
IE13-24	IE14-24	IE15-12	IE16-10

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE16.

Equação 20 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 20) + (5 \times 22) + (3 \times 12) + (14 \times 1) + (16 \times 1) + (3 \times 24)}{15} \quad Média = 19,20$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices

esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 21 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 13 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 do ginásio de integração do UNI-RN

IES			
IE1- 24	IE2-22	IE3-25	IE4-20
IE5-22	IE6-22	IE7-24	IE8-24
IE9-24	IE10-23	IE11-23	IE12-24
IE13-25	IE14-24	IE15-22	IE16-28

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE4 e IE16.

Equação 22 – Média

$$Média = \frac{(6 \times 24) + (2 \times 25) + (4 \times 22) + (2 \times 23)}{14} \quad Média = 23,43$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 7,2MPa ou 73kgf/cm² e a tensão máxima é 11,6MPa ou 118kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 23 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(7,2 + 11,6)}{2} \quad R.Média = 9,40MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 14 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 do ginásio de integração do UNI-RN

IES			
IE1- 10	IE2-12	IE3-14	IE4-20
IE5-9	IE6-12	IE7-16	IE8-20
IE9-21	IE10-22	IE11-14	IE12-16
IE13-8	IE14-23	IE15-16	IE16-18

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1, IE5, IE9, IE10, IE13 e IE14.

Equação 24 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 12) + (2 \times 14) + (3 \times 16) + (1 \times 18) + (2 \times 20)}{10} \quad Média = 15,80$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 25 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 15 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 do ginásio de integração do UNI-RN

IES			
IE1- 32	IE2-32	IE3-30	IE4-32
IE5-34	IE6-32	IE7-30	IE8-32
IE9-30	IE10-30	IE11-32	IE12-31
IE13-32	IE14-29	IE15-30	IE16-30

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE5 e IE14.

Equação 26 – Média

$$Média = \frac{(7 \times 32) + (6 \times 30) + (1 \times 31)}{14} \quad Média = 31,07$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 16,1MPa ou 164kgf/cm² e a tensão máxima é 21,4MPa ou 218kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 27 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(16,1 + 21,4)}{2} \quad R.Média = 18,75MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 16 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 do ginásio de integração do UNI-RN

IES			
IE1- 19	IE2-22	IE3-22	IE4-21
IE5-20	IE6-20	IE7-18	IE8-20
IE9-18	IE10-16	IE11-18	IE12-16
IE13-20	IE14-18	IE15-18	IE16-18

Fonte: Autor (2016).

Equação 28 – Média

$$Média = \frac{(1 \times 19) + (2 \times 22) + (1 \times 21) + (4 \times 20) + (6 \times 18) + (2 \times 16)}{16} \quad Média = 19,00$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 29 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 17 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 7 do ginásio de integração do UNI-RN.

IES			
IE1- 22	IE2-24	IE3-24	IE4-22
IE5-24	IE6-24	IE7-22	IE8-24
IE9-21	IE10-20	IE11-22	IE12-26
IE13-22	IE14-22	IE15-24	IE16-24

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE9, IE10 e IE12.

Equação 30 – Média

$$Média = \frac{(6 \times 22) + (7 \times 24)}{13} \quad Média = 23,07$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 7,2MPa ou 73kgf/cm² e a tensão máxima é 11,6MPa ou 118kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 31 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(7,2 + 11,6)}{2} \quad R.Média = 9,40MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 18 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 8 do ginásio de integração do UNI-RN.

IES			
IE1- 24	IE2-23	IE3-22	IE4-24
IE5-23	IE6-21	IE7-22	IE8-20
IE9-24	IE10-20	IE11-20	IE12-18
IE13-22	IE14-20	IE15-18	IE16-18

Fonte: Autor (2016).

Equação 32 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 24) + (2 \times 23) + (3 \times 22) + (1 \times 21) + (4 \times 20) + (3 \times 18)}{16} \quad Média = 21,18$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 5,3MPa ou 54kgf/cm² e a tensão máxima é 9,4MPa ou 96kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 33 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(5,3 + 9,4)}{2} \quad R.Média = 7,35MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 19 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 9 do ginásio de integração do UNI-RN

IES			
IE1- 24	IE2-25	IE3-26	IE4-20
IE5-24	IE6-25	IE7-26	IE8-17
IE9-24	IE10-24	IE11-24	IE12-14
IE13-24	IE14-22	IE15-26	IE16-16

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE4, IE8, IE12, IE14 e IE16.

Equação 34 – Média

$$Média = \frac{(6 \times 24) + (2 \times 25) + (3 \times 26)}{11} \quad Média = 24,73$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 9,2MPa ou 94kgf/cm² e a tensão máxima é 13,8MPa ou 141kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 35 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(9,2 + 13,8)}{2} \quad R.Média = 11,50MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 20 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 10 do ginásio de integração do UNI-RN

IES			
IE1- 20	IE2-23	IE3-18	IE4-14
IE5-24	IE6-22	IE7-18	IE8-12
IE9-20	IE10-18	IE11-14	IE12-10
IE13-20	IE14-18	IE15-12	IE16-12

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE2, IE5, IE6 e IE12.

Equação 36 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 12) + (2 \times 14) + (4 \times 18) + (3 \times 20)}{12} \quad Média = 16,33$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 37 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 21 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 11 do ginásio de integração do UNI-RN

IES			
IE1- 20	IE2-20	IE3-23	IE4-19
IE5-19	IE6-20	IE7-19	IE8-16
IE9-20	IE10-16	IE11-20	IE12-18
IE13-20	IE14-19	IE15-20	IE16-18

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE3.

Equação 38 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 16) + (2 \times 18) + (4 \times 19) + (7 \times 20)}{15}$$

$$Média = 18,93$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 39 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 22 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 12 do ginásio de integração do UNI-RN

IES			
IE1- 10	IE2-12	IE3-15	IE4-14
IE5-13	IE6-14	IE7-12	IE8-13
IE9-12	IE10-14	IE11-12	IE12-13
IE13-13	IE14-13	IE15-13	IE16-14

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1 e IE3.

Equação 40 – Média

$$Média = \frac{(4 \times 12) + (6 \times 13) + (4 \times 14)}{14}$$

$$Média = 13,00$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 41 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

4.3 ESTUDO DE CASO 3 – GINÁSIO POLIVALENTE 1

4.3.1 Ensaio de Carbonatação

Pilar 01 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 02 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

4.3.2 Ensaio de pH

Pilar 01 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 02 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 2, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

4.3.3 Ensaio de cloreto

Pilar 01 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 02 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

4.3.4 Ensaio de esclerometria

Tabela 23 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 do ginásio polivalente 1 do UNI-RN

IES			
IE1- 40	IE2-42	IE3-36	IE4-38
IE5-34	IE6-38	IE7-34	IE8-38
IE9-36	IE10-38	IE11-39	IE12-36
IE13-40	IE14-40	IE15-40	IE16-38

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE2.

Equação 42 – Média

$$Média = \frac{(4 \times 40) + (1 \times 39) + (5 \times 38) + (3 \times 36) + (2 \times 34)}{15} \quad Média = 37,67$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 25,6MPa ou 261kgf/cm² e a tensão máxima é 31,4MPa ou 320kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 43 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(25,6 + 31,4)}{2} \quad R.Média = 28,50MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 24 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 do ginásio polivalente 1 do UNI-RN

IES			
IE1- 48	IE2-48	IE3-46	IE4-42
IE5-46	IE6-44	IE7-50	IE8-45
IE9-40	IE10-50	IE11-44	IE12-44
IE13-46	IE14-44	IE15-44	IE16-42

Fonte: Autor (2016).

Equação 44 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 50) + (2 \times 48) + (3 \times 46) + (1 \times 45) + (5 \times 44) + (2 \times 42)}{16}$$

$$Média = 42,69$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a)

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 33MPa ou 336kgf/cm² e a tensão máxima é 39,1MPa ou 399kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 45 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(33 + 39,1)}{2} \quad R.Média = 36,05MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

4.4 ESTUDO DE CASO 4 – GINÁSIO POLIVALENTE 2

Segue a vista frontal do ginásio Polivalente 2 do UNI-RN (Figura 29).

Figura 29 – Vista do Ginásio Polivalente 2 do UNI-RN.



Fonte: Autor (2016).

4.4.1 Ensaio de carbonatação

Pilar 01 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 02 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 03 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 04 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 05 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 06 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 07 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 08 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

4.4.2 Ensaio de pH

Pilar 01 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 02 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 8, ou seja, é considerado um PH alcalino com presença de carbonatação.

Pilar 03 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 04 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 2, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 05 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 6, ou seja, é considerado um PH neutro com presença de carbonatação.

Pilar 06 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 07 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 4, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Pilar 08 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

4.4.3 Ensaio de cloreto

Pilar 01 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 02 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 03 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 04 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 05 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 06 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 07 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que

ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 08 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

4.4.4 Ensaio de esclerometria

Tabela 25 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 do ginásio 2 do UNI-RN

IES			
IE1- 46	IE2-54	IE3-44	IE4-44
IE5-44	IE6-42	IE7-48	IE8-42
IE9-42	IE10-44	IE11-44	IE12-41
IE13-41	IE14-42	IE15-44	IE16-45

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1, IE2, IE7 e IE16.

Equação 46 – Resistência média

$$Média = \frac{(6 \times 44) + (4 \times 42) + (2 \times 41)}{12} \quad Média = 42,83$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 33MPa ou 336kgf/cm² e a tensão máxima é 39,1MPa ou 399kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 47 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(33 + 39,1)}{2} \quad R.Média = 36,05MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 26 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 do ginásio 2 do UNI-RN.

IES			
IE1- 52	IE2-48	IE3-48	IE4-52
IE5-50	IE6-48	IE7-52	IE8-52
IE9-56	IE10-52	IE11-52	IE12-54
IE13-48	IE14-56	IE15-54	IE16-54

Fonte: Autor (2016).

Equação 48 – Média

$$Média = \frac{(6 \times 52) + (4 \times 48) + (2 \times 56) + (3 \times 54) + (1 \times 50)}{16} \quad Média = 51,75$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 47,1MPa ou 480kgf/cm² e a tensão máxima é 53,6MPa ou 547kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 49 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(47,1 + 53,6)}{2} \quad R.Média = 50,35MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 27 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 do ginásio 2 do UNI-RN.

IES			
IE1- 48	IE2-44	IE3-46	IE4-44
IE5-48	IE6-48	IE7-44	IE8-38
IE9-44	IE10-44	IE11-44	IE12-48
IE13-42	IE14-42	IE15-44	IE16-45

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE8.

Equação 50 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 42) + (7 \times 44) + (1 \times 45) + (1 \times 46) + (4 \times 48)}{15}$$

$$Média = 45,00$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 36MPa ou 367kgf/cm² e a tensão máxima é 42,3MPa ou 431kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 51 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(36 + 42,3)}{2} \quad R.Média = 39,15MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 28 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 do ginásio 2 do UNI-RN.

IES			
IE1- 47	IE2-47	IE3-46	IE4-54
IE5-46	IE6-42	IE7-40	IE8-43
IE9-38	IE10-42	IE11-41	IE12-42
IE13-42	IE14-46	IE15-40	IE16-43

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE4 e IE9.

Equação 52 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 40) + (1 \times 41) + (4 \times 42) + (2 \times 43) + (3 \times 46) + (2 \times 47)}{14} \quad Média = 43,36$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 33MPa ou 336kgf/cm² e a tensão máxima é 39,1MPa ou 399kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 53 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(33 + 39,1)}{2} \quad R.Média = 36,05MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 29 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 do ginásio 2 do UNI-RN.

IES			
IE1- 49	IE2-42	IE3-44	IE4-46
IE5-40	IE6-39	IE7-42	IE8-46
IE9-43	IE10-37	IE11-47	IE12-38
IE13-36	IE14-40	IE15-46	IE16-42

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1, IE6, IE10, IE11, IE12 e IE13.

Equação 54 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 40) + (3 \times 42) + (1 \times 43) + (1 \times 44) + (3 \times 46)}{10} \quad Média = 43,10$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 33MPa ou 336kgf/cm² e a tensão máxima é 39,1MPa ou 399kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 55 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(33 + 39,1)}{2} \quad R.Média = 36,05MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 30 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 do ginásio 2 do UNI-RN.

IES			
IE1- 45	IE2-44	IE3-46	IE4-44
IE5-42	IE6-40	IE7-44	IE8-45
IE9-42	IE10-44	IE11-43	IE12-42
IE13-46	IE14-43	IE15-42	IE16-41

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE6 e IE16

Equação 56 – Média

$$Média = \frac{(4 \times 42) + (2 \times 43) + (4 \times 44) + (2 \times 45) + (2 \times 46)}{14}$$

$$Média = 43,71$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 34,5MPa ou 352kgf/cm² e a tensão máxima é 40,7MPa ou 415kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 57 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(34,5 + 40,7)}{2} \quad R.Média = 37,60MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 31 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 7 do ginásio 2 do UNI-RN.

IES			
IE1- 44	IE2-50	IE3-44	IE4-42
IE5-42	IE6-44	IE7-42	IE8-42
IE9-44	IE10-46	IE11-41	IE12-43
IE13-46	IE14-44	IE15-42	IE16-44

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE2 e IE11.

Equação 58 – Média

$$Média = \frac{(5 \times 42) + (1 \times 43) + (6 \times 44) + (2 \times 46)}{14} \quad Média = 43,50$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 33MPa ou 336kgf/cm² e a tensão máxima é 39,1MPa ou 399kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 59 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(33 + 39,1)}{2} \quad R.Média = 36,05MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 32 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 8 do ginásio 2 do UNI-RN.

IES			
IE1- 38	IE2-39	IE3-38	IE4-41
IE5-46	IE6-34	IE7-36	IE8-38
IE9-38	IE10-39	IE11-38	IE12-38
IE13-39	IE14-30	IE15-32	IE16-35

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE4, IE5, IE6, IE7, IE14, IE15 e IE16.

Equação 60 – Média

$$Média = \frac{(6 \times 38) + (3 \times 39)}{9} \quad Média = 38,33$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 25,6MPa ou 261kgf/cm² e a tensão máxima é 31,4MPa ou 320kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 61 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(25,6 + 31,4)}{2} \quad R.Média = 28,50MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

4.5 ESTUDO DE CASO 5 – RESERVATÓRIO SUPERIOR

Segue a vista frontal do reservatório superior do UNI-RN (Figura 30).

Figura 30 – Vista do reservatório superior



Fonte: Autor (2016).

4.5.1 Ensaio de carbonatação

Pilar 01 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 02 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 03 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 04 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 05 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Pilar 06 - Foi aplicado fenolftaleína no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou Incolor, ou seja, apresenta carbonatação.

Segue abaixo (figura 31), aplicação da fenolftaleína no Pilar.

Figura 31 – Aplicação de Fenolftaleína no pilar.



Fonte: Autor (2016).

4.5.2 Ensaio de pH

Pilar 01 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Ensaio de pH

Pilar 02 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Ensaio de pH

Pilar 03 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Ensaio de pH

Pilar 04 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Ensaio de pH

Pilar 05 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Ensaio de pH

Pilar 06 – Ao aplicar o Lápis medidor de PH no concreto, observou-se que o PH do pilar é 3, ou seja, é considerado um PH ácido com presença de carbonatação.

Segue abaixo (figura 32), aplicação do lápis medidor de Ph no Pilar.

Figura 32 – Aplicação do Lápis medidor.



Fonte: Autor (2017)

4.5.3 Ensaio de cloreto

Pilar 01 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 02 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 03 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 04 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 05 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Pilar 06 - Foi aplicado nitrato de prata no pilar com concreto exposto, observou-se que

ele ficou marrom, ou seja, apresenta cloreto.

Segue abaixo (figura 33 e figura 34), aplicação de nitrato de prata no pilar, com coloração marrom, apresenta cloreto.

Figura 33 – Aplicação de nitrato de prata no pilar



Fonte: Autor (2017).

Figura 34 – Aplicação de nitrato de prata no pilar



Fonte: Autor (2017).

4.5.4 Ensaio de Esclerometria

Tabela 33 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 da caixa de água do UNI-RN.

IES			
IE1- 37	IE2-40	IE3-38	IE4-38
IE5-34	IE6-41	IE7-37	IE8-36
IE9-32	IE10-35	IE11-34	IE12-34
IE13-34	IE14-34	IE15-36	IE16-38

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE2, IE6 e IE9

Equação 62 – Média

$$Média = \frac{(5 \times 34) + (1 \times 35) + (2 \times 36) + (2 \times 37) + (3 \times 38)}{13} \quad Média = 37,76$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 25,6MPa ou 261kgf/cm² e a tensão máxima é 31,4MPa ou 320kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 63 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(25,6 + 31,4)}{2} \quad R.Média = 28,50MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 34 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 da caixa de água do UNI-RN.

IES			
IE1- 36	IE2-38	IE3-34	IE4-36
IE5-32	IE6-36	IE7-37	IE8-38
IE9-33	IE10-35	IE11-31	IE12-32
IE13-32	IE14-33	IE15-34	IE16-38

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE11.

Equação 64 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 32) + (2 \times 33) + (2 \times 34) + (1 \times 35) + (3 \times 36) + (1 \times 37) + (3 \times 38)}{15} \quad Média = 34,93$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 21,4MPa ou 218kgf/cm² e a tensão máxima é 27MPa ou 275kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 65 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(21,4 + 27)}{2} \quad R.Média = 24,20MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 35 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 da caixa de água do UNI-RN.

IES			
IE1- 40	IE2-40	IE3-46	IE4-44
IE5-42	IE6-39	IE7-38	IE8-35
IE9-46	IE10-40	IE11-40	IE12-36
IE13-36	IE14-40	IE15-38	IE16-40

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE8.

Equação 66 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 36) + (2 \times 38) + (1 \times 39) + (6 \times 40) + (1 \times 42) + (1 \times 44) + (2 \times 46)}{15} \quad Média = 40,33$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 28,4MPa ou 290kgf/cm² e a tensão máxima é 34,4MPa ou 351kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 67 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(28,4 + 34,4)}{2} \quad R.Média = 31,40MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 36 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 da caixa de água do UNI-RN.

IES			
IE1- 39	IE2-38	IE3-30	IE4-34
IE5-34	IE6-37	IE7-37	IE8-32
IE9-36	IE10-38	IE11-41	IE12-34
IE13-36	IE14-42	IE15-34	IE16-36

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1, IE3, IE8, IE11 e IE14

Equação 68 – Média

$$Média = \frac{(4 \times 34) + (3 \times 36) + (2 \times 37) + (2 \times 38)}{11} \quad Média = 35,81$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 22,8MPa ou 232kgf/cm² e a tensão máxima é 28,5MPa ou 291kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 69 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(22,8 + 28,5)}{2} \quad R.Média = 25,65MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 37 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 da caixa de água do UNI-RN.

IES			
IE1- 36	IE2-41	IE3-36	IE4-44
IE5-34	IE6-40	IE7-42	IE8-44
IE9-34	IE10-46	IE11-48	IE12-44
IE13-34	IE14-44	IE15-36	IE16-41

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE10 e IE11

Equação 70 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 34) + (3 \times 36) + (1 \times 40) + (2 \times 41) + (1 \times 42) + (4 \times 44)}{14} \quad Média = 39,28$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 27MPa ou 275kgf/cm² e a tensão máxima é 33MPa ou 336kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 71 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(27 + 33)}{2} \quad R.Média = 30,0MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 38 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 da caixa de água do UNI-RN.

IES			
IE1- 42	IE2-45	IE3-39	IE4-39
IE5-38	IE6-36	IE7-44	IE8-41
IE9-39	IE10-39	IE11-39	IE12-42
IE13-38	IE14-38	IE15-38	IE16-39

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerometro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE2, IE6 e IE7

Equação 72 – Média

$$Média = \frac{(4 \times 38) + (6 \times 39) + (1 \times 41) + (2 \times 42)}{13} \quad Média = 39,30$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 27MPa ou 275kgf/cm² e a tensão máxima é 33MPa ou 336kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 73 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(27 + 33)}{2} \quad R.Média = 30,0MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Segue abaixo (figura 35) Ensaio de esclerometria no pilar 6 do reservatório superior.

Figura 35 – Ensaio de esclerometria no pilar 6



Fonte: Autor (2016).

4.6 ESTUDO DE CASO 6 – CORREDOR DOS LABORATÓRIOS ENGENHARIA

Segue abaixo (figura 36), vista frontal do corredor dos laboratórios de Engenharia Civil do UNI-RN

Figura 36 – Corredor dos laboratórios de Engenharia



Fonte: Autor (2016).

Para as estruturas construídas após o ano de 2003 adota-se a norma NBR 6118/2003 com o f_{ck} mínimo de 20 MPa.

4.6.1 Ensaio de Esclerometria

Tabela 39 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 29	IE2-30	IE3-33	IE4-29
IE5-32	IE6-29	IE7-30	IE8-30
IE9-30	IE10-32	IE11-30	IE12-31
IE13-32	IE14-36	IE15-32	IE16-30

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE3 e IE14.

Equação 74 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 29) + (6 \times 30) + (1 \times 31) + (4 \times 32)}{14} \quad Média = 30,42$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 14,8MPa ou 151Kgf/cm² e a tensão máxima é 20,1 MPa ou 205Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 75 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(14,8 + 20,1)}{2} \quad R.Média = 17,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está abaixo da norma NBR 6118/2003.

Tabela 40 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 27	IE2-27	IE3-25	IE4-25
IE5-24	IE6-25	IE7-25	IE8-26
IE9-26	IE10-25	IE11-25	IE12-25
IE13-26	IE14-25	IE15-26	IE16-26

Fonte: Autor (2016).

Equação 76 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 27) + (8 \times 25) + (5 \times 26) + (1 \times 24)}{16} \quad Média = 25,5$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 9,2MPa ou 94Kgf/cm² e a tensão máxima é 13,8 MPa ou 141Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 77 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(9,2 + 13,8)}{2} \quad R.Média = 11,50MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está abaixo da norma NBR 6118/2003.

Tabela 41 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 31	IE2-27	IE3-28	IE4-28
IE5-30	IE6-29	IE7-30	IE8-32
IE9-29	IE10-26	IE11-29	IE12-33
IE13-30	IE14-30	IE15-28	IE16-31

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE2, IE8, IE10 e IE12.

Equação 78 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 31) + (3 \times 28) + (4 \times 30) + (3 \times 29)}{12} \quad Média = 29,41$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 13,6MPa ou 139Kgf/cm² e a tensão máxima é 18,7MPa ou 191Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 79 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(13,6 + 18,7)}{2} \quad R.Média = 16,15MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está abaixo da norma NBR 6118/2003.

Tabela 42 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 30	IE2-31	IE3-29	IE4-28
IE5-30	IE6-26	IE7-31	IE8-32
IE9-29	IE10-27	IE11-31	IE12-26
IE13-29	IE14-26	IE15-28	IE16-38

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE8 e IE16.

Equação 80 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 26) + (1 \times 27) + (2 \times 28) + (3 \times 29) + (2 \times 30) + (3 \times 31)}{14} \quad Média = 28,64$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 13,6MPa ou 139Kgf/cm² e a tensão máxima é 18,7MPa ou 191Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 81 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(13,6 + 18,7)}{2} \quad R.Média = 16,15MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está abaixo da norma NBR 6118/2003.

Tabela 43 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 35	IE2-30	IE3-33	IE4-34
IE5-33	IE6-35	IE7-35	IE8-35
IE9-33	IE10-25	IE11-36	IE12-32
IE13-35	IE14-34	IE15-35	IE16-34

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE2, IE10, IE11 e IE12.

Equação 82 – Resistência média

$$Média = \frac{(3 \times 33) + (3 \times 34) + (6 \times 35)}{12} \quad Média = 34,25$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 20,0MPa ou 204Kgf/cm² e a tensão máxima é 25,6MPa ou 261Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 83 – Média

$$R.Média = \frac{(20,0 + 25,6)}{2} \quad R.Média = 22,8MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está acima da norma NBR 6118/2003.

Tabela 44 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 30	IE2-36	IE3-30	IE4-32
IE5-35	IE6-37	IE7-32	IE8-15
IE9-31	IE10-31	IE11-16	IE12-32
IE13-34	IE14-40	IE15-33	IE16-33

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE2, IE5, IE6, IE8, IE11, IE13 e IE14.

Equação 84 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 30) + (2 \times 31) + (3 \times 32) + (2 \times 33)}{9} \quad Média = 31,56$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 16,1MPa ou 164Kgf/cm² e a tensão máxima é 21,4MPa ou 218Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 85 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(16,1 + 21,4)}{2} \quad R.Média = 18,75MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está abaixo da norma NBR 6118/2003.

Tabela 45 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 7 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 34	IE2-35	IE3-35	IE4-33
IE5-27	IE6-32	IE7-35	IE8-35
IE9-32	IE10-32	IE11-32	IE12-32
IE13-30	IE14-19	IE15-32	IE16-36

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE5, IE13, IE14 e IE16.

Equação 86 – Média

$$Média = \frac{(4 \times 35) + (1 \times 34) + (1 \times 33) + (6 \times 32)}{12} \quad Média = 33,25$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 18,7MPa ou 191Kgf/cm² e a tensão máxima é 24,2MPa ou 247Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 87 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(18,7 + 24,2)}{2} \quad R.Média = 21,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está acima da norma NBR 6118/2003.

Tabela 46 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 8 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 34	IE2-33	IE3-34	IE4-34
IE5-38	IE6-37	IE7-35	IE8-37
IE9-36	IE10-38	IE11-35	IE12-35
IE13-38	IE14-40	IE15-37	IE16-33

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado apenas IE14.

Equação 88 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 33) + (3 \times 34) + (3 \times 35) + (1 \times 36) + (3 \times 37) + (3 \times 38)}{15} \quad Média = 35,6$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 22,8MPa ou 232Kgf/cm² e a tensão máxima é 28,5MPa ou 291Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 89 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(22,8 + 28,5)}{2} \quad R.Média = 25,65MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está acima da norma NBR 6118/2003.

Tabela 47 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 9 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 35	IE2-40	IE3-41	IE4-37
IE5-39	IE6-41	IE7-38	IE8-32
IE9-33	IE10-38	IE11-40	IE12-41
IE13-34	IE14-38	IE15-40	IE16-36

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1, IE4, IE8, IE9, IE13 e IE16.

Equação 90 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 41) + (3 \times 40) + (1 \times 39) + (3 \times 38)}{10} \quad Média = 39,6$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 28,4MPa ou 290Kgf/cm² e a tensão máxima é 34,4MPa ou 351Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 91 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(28,4 + 34,4)}{2} \quad R.Média = 31,4MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está acima da norma NBR 6118/2003.

Tabela 48 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 10 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 38	IE2-38	IE3-38	IE4-38
IE5-37	IE6-39	IE7-35	IE8-38
IE9-34	IE10-38	IE11-34	IE12-33
IE13-38	IE14-40	IE15-39	IE16-31

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE12, IE14 e IE16.

Equação 92 – Média

$$Média = \frac{(7 \times 38) + (1 \times 37) + (2 \times 39) + (1 \times 35) + (2 \times 34)}{13} \quad Média = 37,23$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 24,2MPa ou 247Kgf/cm² e a tensão máxima é 30,0MPa ou 306Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 93 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(24,2 + 30,0)}{2} \quad R.Média = 27,1MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está acima da norma NBR 6118/2003.

Tabela 49 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 11 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 37	IE2-37	IE3-36	IE4-34
IE5-38	IE6-38	IE7-38	IE8-41
IE9-38	IE10-36	IE11-36	IE12-38
IE13-38	IE14-38	IE15-37	IE16-39

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE4, IE8 e IE16.

Equação 94 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 37) + (3 \times 36) + (7 \times 38)}{13} \quad Média = 37,3$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 24,2MPa ou 247Kgf/cm² e a tensão máxima é 30,0MPa ou 306Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 95 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(24,2 + 30,0)}{2} \quad R.Média = 27,1MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está acima da norma NBR 6118/2003.

Tabela 50 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 12 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 32	IE2-35	IE3-38	IE4-34
IE5-34	IE6-35	IE7-36	IE8-32
IE9-35	IE10-36	IE11-36	IE12-36
IE13-35	IE14-35	IE15-38	IE16-36

Fonte: Autor (2016).

Equação 96 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 32) + (5 \times 35) + (2 \times 38) + (2 \times 34) + (5 \times 36)}{16} \quad Média = 35,18$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 21,4MPa ou 218Kgf/cm² e a tensão máxima é 27,0MPa ou 275Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 97 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(21,4 + 27,0)}{2} \quad R.Média = 24,2MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está acima da norma NBR 6118/2003.

Tabela 51 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar13 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 26	IE2-25	IE3-26	IE4-26
IE5-25	IE6-27	IE7-26	IE8-26
IE9-22	IE10-20	IE11-26	IE12-26
IE13-25	IE14-24	IE15-28	IE16-28

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a

resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE9, IE10 e IE14.

Equação 98 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 25) + (7 \times 26) + (1 \times 27) + (2 \times 28)}{13} \quad Média = 26,15$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 10,2MPa ou 104Kgf/cm² e a tensão máxima é 15,0MPa ou 153Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 99 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(10,2 + 15,0)}{2} \quad R.Média = 12,6MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está abaixo da norma NBR 6118/2003.

Tabela 52 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 14 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 39	IE2-26	IE3-28	IE4-27
IE5-28	IE6-30	IE7-29	IE8-29
IE9-30	IE10-29	IE11-29	IE12-22
IE13-30	IE14-27	IE15-26	IE16-24

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE12 e IE16.

Equação 100 – Média

$$Média = \frac{(5 \times 29) + (2 \times 26) + (2 \times 28) + (2 \times 27) + (3 \times 30)}{14} \quad Média = 28,35$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 12,5MPa ou 127Kgf/cm² e a tensão máxima é 17,6MPa ou 179Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 101 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(12,5 + 17,6)}{2} \quad R.Média = 15,05MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está abaixo da norma NBR 6118/2003.

Tabela 53 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 15 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 34	IE2-35	IE3-36	IE4-33
IE5-32	IE6-35	IE7-38	IE8-37
IE9-33	IE10-36	IE11-38	IE12-31
IE13-36	IE14-36	IE15-40	IE16-36

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE5, IE12 e IE15.

Equação 102 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 33) + (1 \times 34) + (2 \times 35) + (5 \times 36) + (1 \times 37) + (2 \times 38)}{13} \quad Média = 35,61$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 22,8MPa ou 232Kgf/cm² e a tensão máxima é 28,5MPa ou 291Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 103 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(22,8 + 28,5)}{2} \quad R.Média = 25,65MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

De acordo com o resultado acima o fck mínimo está acima da norma NBR 6118/2003.

Tabela 54 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 16 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 34	IE2-34	IE3-30	IE4-27
IE5-35	IE6-41	IE7-32	IE8-30
IE9-30	IE10-32	IE11-32	IE12-30
IE13-29	IE14-27	IE15-30	IE16-31

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE4, IE6, IE13 e IE14.

Equação 104 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 34) + (5 \times 30) + (1 \times 35) + (3 \times 32) + (1 \times 31)}{12} \quad Média = 31,67$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 17,5MPa ou 178Kgf/cm² e a tensão máxima é 22,9MPa ou 233Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 105 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(17,5 + 22,9)}{2} \quad R.Média = 20,2MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 55 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 17 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 33	IE2-33	IE3-33	IE4-31
IE5-32	IE6-34	IE7-34	IE8-30
IE9-35	IE10-33	IE11-34	IE12-31
IE13-38	IE14-34	IE15-29	IE16-34

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE8, IE13 e IE15.

Equação 106 – Resistência média

$$Média = \frac{(4 \times 33) + (2 \times 31) + (1 \times 32) + (5 \times 34) + (1 \times 35)}{13} \quad Média = 33,15$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 18,7MPa ou 191Kgf/cm² e a tensão máxima é 24,2MPa ou 247Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 107 – Média

$$R.Média = \frac{(24,2 + 30,0)}{2} \quad R.Média = 27,1MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 56 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 18 do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.

IES			
IE1- 35	IE2-35	IE3-33	IE4-35
IE5-33	IE6-34	IE7-34	IE8-34
IE9-32	IE10-33	IE11-30	IE12-33
IE13-32	IE14-36	IE15-30	IE16-32

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE14.

Equação 108 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 35) + (4 \times 33) + (3 \times 34) + (3 \times 32) + (2 \times 30)}{15}$$

$$Média = 33$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 18,7MPa ou 191Kgf/cm² e a tensão máxima é 24,2MPa ou 247Kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 109 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(18,7 + 24,2)}{2} \quad R.Média = 21,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Segue abaixo (figura 37), ensaio de esclerometria realizado no pilar do corredor dos laboratórios de engenharia civil do UNI-RN.

Figura 37 – Ensaio de Esclerometria no pilar do corredor dos laboratórios de engenharia do UNI-RN.



Fonte: Autor (2016).

4.7 ESTUDO DE CASO 7 – PRAÇA DE ESPORTES NOILDE RAMALHO

Segue abaixo (figura 38), vista da praça de esporte Noilde Ramalho.

Figura 38 – Praça de esportes Noilde Ramalho.



Fonte: Autoria própria (2016).

4.7.1 Ensaio de Esclerometria

Tabela 57 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 1 da praça de esportes Noilde Ramalho

IES			
IE1- 22	IE2-20	IE3-19	IE4-18
IE5-22	IE6-22	IE7-22	IE8-20
IE9-23	IE10-23	IE11-21	IE12-24
IE13-22	IE14-19	IE15-24	IE16-24

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE4

Equação 110 – Média

$$Média = \frac{(5 \times 22) + (2 \times 20) + (2 \times 19) + (2 \times 23) + (1 \times 21) + (3 \times 24)}{15}$$

$$Média = 21,80$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 6,3MPa ou 64kgf/cm² e a tensão máxima é 10,5MPa ou 107kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 111 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(6,3 + 10,5)}{2} \quad R.Média = 8,40MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 58 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 2 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 24	IE2-25	IE3-24	IE4-23
IE5-25	IE6-24	IE7-24	IE8-22
IE9-25	IE10-25	IE11-26	IE12-25
IE13-25	IE14-26	IE15-23	IE16-24

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE8

Equação 112 – Média

$$Média = \frac{(5 \times 24) + (6 \times 25) + (2 \times 23) + (2 \times 26)}{15}$$

$$Média = 24,53$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 8,1MPa ou 83kgf/cm² e a tensão máxima é 12,7MPa ou 129kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 113 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(8,1 + 12,7)}{2} \quad R.Média = 10,40MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 59 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 3 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 25	IE2-23	IE3-23	IE4-22
IE5-24	IE6-24	IE7-24	IE8-20
IE9-25	IE10-25	IE11-22	IE12-24
IE13-24	IE14-23	IE15-22	IE16-22

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE8

Equação 114 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 25) + (3 \times 23) + (4 \times 22) + (5 \times 24)}{15}$$

$$Média = 23,47$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 7,2MPa ou 73kgf/cm² e a tensão máxima é 11,6MPa ou 118kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 115 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(7,2 + 11,6)}{2} \quad R.Média = 9,40MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 60 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 4 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 22	IE2-21	IE3-22	IE4-21
IE5-23	IE6-21	IE7-22	IE8-19
IE9-19	IE10-18	IE11-17	IE12-18
IE13-19	IE14-16	IE15-19	IE16-20

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE5, IE11 e IE14.

Equação 116 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 22) + (3 \times 21) + (4 \times 19) + (2 \times 18) + (1 \times 20)}{13}$$

$$Média = 20,07$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 117 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 61 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 5 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 24	IE2-26	IE3-20	IE4-24
IE5-22	IE6-21	IE7-20	IE8-24
IE9-20	IE10-19	IE11-19	IE12-23
IE13-21	IE14-21	IE15-20	IE16-22

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE2.

Equação 118 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 24) + (4 \times 20) + (2 \times 22) + (3 \times 21) + (2 \times 19) + (1 \times 23)}{15}$$

$$Média = 21,33$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 5,3MPa ou 54kgf/cm² e a tensão máxima é 9,4MPa ou 96kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 119 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(5,3 + 9,4)}{2} \quad R.Média = 7,35MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 62 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 6 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 19	IE2-19	IE3-22	IE4-18
IE5-23	IE6-22	IE7-22	IE8-23
IE9-24	IE10-26	IE11-26	IE12-26
IE13-24	IE14-26	IE15-24	IE16-23

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE4.

Equação 120 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 19) + (3 \times 22) + (3 \times 23) + (3 \times 24) + (4 \times 26)}{15}$$

$$Média = 23,27$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 7,2MPa ou 73kgf/cm² e a tensão máxima é 11,6MPa ou 118kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 121 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(7,2 + 11,6)}{2} \quad R.Média = 9,40MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 63 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 7 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 24	IE2-25	IE3-25	IE4-26
IE5-26	IE6-24	IE7-24	IE8-24
IE9-25	IE10-23	IE11-24	IE12-24
IE13-24	IE14-25	IE15-24	IE16-25

Fonte: Autor (2016).

Equação 122 – Média

$$Média = \frac{(8 \times 24) + (5 \times 25) + (2 \times 26) + (1 \times 23)}{16}$$

$$Média = 24,50$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 8,1MPa ou 83kgf/cm² e a tensão máxima é 12,7MPa ou 129kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 123 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(8,1 + 12,7)}{2} \quad R.Média = 10,40MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 64 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 8 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 20	IE2-20	IE3-20	IE4-20
IE5-20	IE6-18	IE7-18	IE8-19
IE9-19	IE10-16	IE11-18	IE12-16
IE13-16	IE14-16	IE15-16	IE16-14

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE16.

Equação 124 – Média

$$Média = \frac{(5 \times 20) + (3 \times 18) + (2 \times 19) + (5 \times 16)}{15}$$

$$Média = 18,13$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 125 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 65 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 9 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 28	IE2-24	IE3-18	IE4-18
IE5-21	IE6-24	IE7-23	IE8-19
IE9-21	IE10-24	IE11-23	IE12-22
IE13-26	IE14-22	IE15-20	IE16-25

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1, IE13 e IE16.

Equação 126 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 24) + (2 \times 18) + (2 \times 21) + (2 \times 23) + (1 \times 19) + (2 \times 22) + (1 \times 20)}{13}$$

$$Média = 21,46$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 5,3MPa ou 54kgf/cm² e a tensão máxima é 9,4MPa ou 96kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 127 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(5,3 + 9,4)}{2} \quad R.Média = 7,35MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 66 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 10 da praça de esportes Noilde Ramalho

IES			
IE1- 20	IE2-21	IE3-17	IE4-14
IE5-20	IE6-19	IE7-18	IE8-21
IE9-22	IE10-21	IE11-23	IE12-17
IE13-22	IE14-23	IE15-20	IE16-17

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE4.

Equação 128 – Média

$$Média = \frac{(3 \times 20) + (3 \times 21) + (3 \times 17) + (1 \times 19) + (1 \times 18) + (2 \times 22) + (2 \times 23)}{15} \quad Média = 20,07$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 129 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 67 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 11 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 21	IE2-22	IE3-22	IE4-20
IE5-18	IE6-22	IE7-20	IE8-20
IE9-20	IE10-18	IE11-22	IE12-22
IE13-18	IE14-22	IE15-22	IE16-24

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE16.

Equação 130 – Média

$$Média = \frac{(1 \times 21) + (7 \times 22) + (4 \times 20) + (3 \times 18)}{15}$$

$$Média = 20,60$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 5,3MPa ou 54kgf/cm² e a tensão máxima é 9,4MPa ou 96kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 131 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(5,3 + 9,4)}{2} \quad R.Média = 7,35MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 68 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 12 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 20	IE2-20	IE3-22	IE4-21
IE5-18	IE6-20	IE7-18	IE8-20
IE9-18	IE10-20	IE11-22	IE12-21
IE13-16	IE14-20	IE15-22	IE16-22

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE13.

Equação 132 – Média

$$Média = \frac{(6 \times 20) + (4 \times 22) + (2 \times 21) + (3 \times 18)}{15}$$

$$Média = 20,27$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 133 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 69 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 13 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 18	IE2-20	IE3-20	IE4-21
IE5-18	IE6-21	IE7-20	IE8-19
IE9-21	IE10-16	IE11-22	IE12-22
IE13-20	IE14-20	IE15-20	IE16-22

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE10.

Equação 134 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 18) + (6 \times 20) + (3 \times 21) + (1 \times 19) + (3 \times 22)}{15}$$

$$Média = 20,27$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 4,5MPa ou 46kgf/cm² e a tensão máxima é 8,4MPa ou 86kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 135 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(4,5 + 8,4)}{2} \quad R.Média = 6,45MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 70 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 14 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 24	IE2-24	IE3-26	IE4-22
IE5-24	IE6-25	IE7-23	IE8-25
IE9-24	IE10-24	IE11-20	IE12-20
IE13-25	IE14-23	IE15-22	IE16-24

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foi descartado o valor de IE3.

Equação 136 – Média

$$Média = \frac{(6 \times 24) + (2 \times 22) + (3 \times 25) + (2 \times 23) + (2 \times 20)}{15}$$

$$Média = 23,27$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 7,2MPa ou 73kgf/cm² e a tensão máxima é 11,6MPa ou 118kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 137 – Média

$$R.Média = \frac{(7,2 + 11,6)}{2} \quad R.Média = 9,40MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Tabela 71 – Resultado do Índice Esclerométrico no pilar 15 da praça de esportes Noilde Ramalho.

IES			
IE1- 20	IE2-24	IE3-22	IE4-23
IE5-23	IE6-24	IE7-23	IE8-22
IE9-23	IE10-27	IE11-23	IE12-26
IE13-25	IE14-25	IE15-28	IE16-22

Fonte: Autor (2016).

Foram descartados os valores que se destoam da mediana, ou seja, os valores muito baixos ou muito altos, pois o esclerômetro pode ter mostrado a resistência da argamassa ou ter medido a resistência da brita. Foram descartados os valores de IE1, IE10, IE12 e IE15.

Equação 138 – Média

$$Média = \frac{(2 \times 24) + (3 \times 22) + (5 \times 23) + (2 \times 25)}{12} \quad Média = 23,25$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

Para obter-se a tensão mínima e máxima do pilar, usa-se a tabela dos índices esclerométricos. A tensão mínima do pilar testado foi de 7,2MPa ou 73kgf/cm² e a tensão máxima é 11,6MPa ou 118kgf/cm².

Para descobrir a resistência média, é feito a média das tensões máximas e mínimas obtidas.

Equação 139 – Resistência média

$$R.Média = \frac{(7,2 + 11,6)}{2} \quad R.Média = 9,40MPa$$

Fonte: Adaptada ABNT (2012a).

5. CONCLUSÕES

Segue resumo dos resultados obtidos nos estudos de casos:

ESTUDO DE CASO 1 – PISCINA DA ESCOLA DOMÉSTICA (ED)

Ensaio de carbonatação – foram analisados 6 pilares, ao aplicar fenoftaleína, todos os pilares ficaram incolor, apresentando presença de carbonatação.

Ensaio de Ph – Foram analisados 6 pilares, ao aplicar o lápis medidor de ph, todos os pilares foram considerados ph ácido, com cor vermelha e laranja. 3 pilares apresentando ph 2; 2 pilares apresentando ph 3 e 1 pilar apresentando ph 4.

Ensaio de esclerometria - Devido as estruturas analisadas no estudo de caso do Centro Universitário do Rio Grande do Norte serem antigas, a NBR6118:1978 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, especifica que o fck deve ser acima de 18MPa. Para estruturas mais recentes, está em vigor a NBR 6118:2014. Foram analisados 6 pilares 5 com resistência média acima de 20 MPa, e 1 pilar com resistência media abaixo de 18 MPa, é necessário recuperação e reforço dessa estrutura.

ESTUDO DE CASO 2 – GINÁSIO DE INTEGRAÇÃO

Ensaio de carbonatação-Foram analisados 11 pilares, ao aplicar fenoftaleína todos os pilares ficaram incolor, apresentando carbonatação.

Ensaio de Ph- Foram analisados 11 pilares, ao aplicar o lápis medidor de Ph, observou-se que todos os pilares foram considerados Ph ácido.

4pilares apresentaram ph = 2; 6 pilares apresentaram ph =3.

Ensaio de cloreto - Foram analisados 11 pilares, ao aplicar nitrato de prata, todos ficaram marrons, apresentando presença de cloreto na estrutura.

Ensaio de esclerometria- Devido as estruturas analisadas no estudo de caso do Centro Universitário do Rio Grande do Norte serem antigas, a NBR6118:1978 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, especifica que o fck deve ser acima de 18MPa. Para estruturas mais recentes, está em vigor a NBR 6118:2014. Foram analisados 11 pilares, 10 com resistência media abaixo da norma, e 1 com resistência média acima de 18MPa.

ESTUDO DE CASO 3 – GINÁSIO POLIVALENTE 1

Ensaio de carbonatação – foram analisados 2 pilares, ao aplicar fenoftaleína, todos os pilares ficaram incolor, apresentando presença de carbonatação.

Ensaio de Ph – Foram analisados 2 pilares, ao aplicar o lápis medidor de ph, todos os pilares foram considerados ph ácido, com cor vermelha e laranja. 1 pilar com Ph=3 e o outro pilar com Ph=2;

Ensaio de esclerometria - Devido as estruturas analisadas no estudo de caso do Centro Universitário do Rio Grande do Norte serem antigas, a NBR6118:1978 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, especifica que o fck deve ser acima de 18MPa. Para estruturas mais recentes, está em vigor a NBR 6118:2014. Foram analisados 2 pilares com resistência média acima de 18MPa.

ESTUDO DE CASO 4 – GINÁSIO POLIVALENTE 2

Ensaio de carbonatação – foram analisados 8 pilares, ao aplicar fenoftaleína, todos os pilares ficaram incolor, apresentando presença de carbonatação.

Ensaio de Ph – Foram analisados 8 pilares, ao aplicar o lápis medidor de ph, todos os pilares foram considerados ph ácido, neutro e alcalino. 4 pilares com ph = 3; considerado ácidos. 1 pilar com ph =2, 1 pilares com ph = 4, considerado ácido. 1 pilar com ph =8, considerado alcalino e 1 pilar com ph =6 considerado neutro.

Ensaio de esclerometria - Devido as estruturas analisadas no estudo de caso do Centro Universitário do Rio Grande do Norte serem antigas, a a NBR6118:1978 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, especifica que o fck deve ser acima de 18MPa. Para estruturas mais recentes, está em vigor a NBR 6118: 2014. Foram analisados 8 pilares, todos com resistência média acima de 20 MPa.

ESTUDO DE CASO 5 – RESERVATÓRIO SUPERIOR

Ensaio de carbonatação – foram analisados 6 pilares, ao aplicar fenoftaleína, todos os pilares ficaram incolor, apresentando presença de carbonatação.

Ensaio de Ph – Foram analisados 6 pilares, ao aplicar o lápis medidor de ph, todos os pilares foram considerados ph =3 ácido.

Ensaio de esclerometria - Devido as estruturas analisadas no estudo de caso do Centro Universitário do Rio Grande do Norte serem antigas, a NBR6118:1978 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, especifica que o fck deve ser acima de 18MPa. Para estruturas mais recentes, está em vigor a NBR 6118:2014. Foram analisados 6 pilares, todos com resistência média acima de 20 MPa.

ESTUDO DE CASO 6 – LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL

Devido o pilar estar pintado, só foi realizado o ensaio de esclerometria Para as estruturas construídas após o ano de 2003 adota-se a norma NBR 6118/2003 com o fck mínimo de 20 MPa. Para estruturas mais recentes, está em vigor a NBR 6118:2014. Foram analisados 18 pilares, 7 pilares com resistência média abaixo da norma, 11 pilares com resistência média acima de 20 MPa.

ESTUDO DE CASO 7 - PRAÇA DE ESPORTES NOILDE RAMALHO

Devido as estruturas analisadas no estudo de caso do Centro Universitário do Rio Grande do Norte serem antigas, a NBR6118:1978 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, especifica que o fck deve ser acima de 18MPa. Para estruturas mais recentes, está em vigor a NBR 6118:2014. Foram analisados 15 pilares, todos os 15 com resistência média abaixo da norma.

Após a análise dos resultados dos ensaios não-destrutivos realizados, e exames visuais in-loco, foi evidenciado patologias nas estruturas analisadas, devendo-se iniciar o projeto de recuperação e reforço dos pilares das estruturas do Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN), pois as mesmas necessitam de serviços de recuperação e/ou reforço estrutural, devido a existência de corrosão com ou sem perda de seção das armaduras, apresentando contaminação por cloretos e por carbonatação, além de deficiência de resistência a compressão, devendo-se realizar a seguinte metodologia executiva nos serviços: remoção do concreto desagregado com liberação das armaduras com corrosão, aplicação de um hidro jateamento de areia nas armaduras com corrosão para sua limpeza, aplicação de pintura de zinco nas armaduras antigas, aplicação de grout tixotrópico, aplicação de uma argamassa de cimento e areia no traço 1:3 para recomposição das seções e

aplicação de uma argamassa polimérica externa visando o aumento da durabilidade e vida útil. Caso exista situação de perda de seção superior a 10% em alguma armadura principal ou de estribo nos pilares, deverá se proceder o reforço estrutural com introdução de nova armadura com mesmo diâmetro e comprimento, sendo a mesma ancorada no bloco de fundação, substituindo-se o grout tixotrópico pelo grout expansivo, com a introdução de formas metálicas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. **Patologia das estruturas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (ed.). **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Ibracon, 2005.

ANDRADE, J.J.O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado**: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco. Porto Alegre, 1997. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12654**: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto: Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT 2015a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto: procedimento. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: Concreto endurecido avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações: Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012b.

BARBOSA, Paulo. **Despassivação pela presença de cloretos**. PhDesign, 2006.

BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, I. M. Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto. **Cadernos de Engenharia de**

Estruturas, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.

Bouny, B. V. et al. (2007), AgNO₃ spray tests: **advantages, weaknesses, and various applications to quantify chloride ingress into concrete**. Part 1: Non-steady-state diffusion tests and exposure to natural conditions. Materials and Structures, p. 759-781.

Bungey, J. H., 1989, The Testing of Concrete in Structures, 2 ed., London, Surrey University Press.

CASCUDO, O. Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto com problemas de corrosão da armadura. In.: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**: Inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: Pini, 1997.

CASCUDO, O. Técnicas de laboratório e de campo para avaliação da durabilidade de estruturas de concreto. **Workshop sobre durabilidade das construções**. São José dos Campos, 2001.

CASTRO, R. **Diferença de pH no concreto desencadeia corrosão nas armaduras**. São Paulo: {s.n.}, 2007.

COUTO, J. P.; COUTO, A. M. Importância da revisão dos projectos na redução dos custos de manutenção das construções. In: **Congresso Construção 2007**, 3, 2007, Coimbra, Portugal. Universidade de Coimbra, 2007.

CRAUSS, C. **Penetração de cloretos em concretos com diferentes tipos de cimento submetidos a tratamento superficial**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS). Santa Maria, 2010.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado**: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do rio grande do sul. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1988.

FENOLFTALEÍNA. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia

Foundation, 2017. Disponível em:

<<https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Fenolftale%C3%ADna&oldid=49310564>>.

Acesso em: 21 de outubro 2017.

FIGUEIREDO, E. P. Mecanismo de transporte de fluidos no concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

FOCAOARU, I., 1984, “ **Romanian Achievements in Nondestructive Strength of Concrete**”, In Situ/Nondestructive Testing of Concrete, Special Publication SP-82, American Concrete Institute, Detroit, pp.35-56.

FRANÇA, C. B. **Avaliação de cloretos livres em concretos pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2001.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015. 174 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

He, F. et al. (2011), **Calculation of chloride concentration at color change boundary of AgNO₃**. Construction and Building Materials, v. 41, n. 11, p. 1095-1103, 2011.

HELENE, P. R. L. Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto. **Workshop sobre durabilidade das construções**. São José dos campos, 2001.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 13823**: General principles on the design of structures for durability. Genebra: Iso, 2008.

ISAIA, G. C. Durabilidade do concreto ou das estruturas de concreto. **Workshop sobre durabilidade das construções**, São José dos Campos, 2001.

JOHN, V. M. Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira. **Workshop sobre durabilidade das construções**. São José dos Campos, 2001.

JORGE, A. C. Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos. Rio de Janeiro: [s.n.], 2002.

JUCÁ, T. R. P. **Avaliação de cloretos livres em concretos e argamassas de cimento portland pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2002.

Kim, M. et al. (2013), **Application of the colorimetric method to chloride diffusion evaluation in concrete structures.** Construction and Building Materials. v. 41, p. 239-245.

MARTINS, P. A.; PIZOLATO JÚNIOR, J. C. Inspeção de fissuras em alvenaria utilizando visão computacional. **DIncon 2011, 10ª Conferencia brasileira de dinâmica, controle e aplicação**, 28 ago. a 1º set. 2011. São Paulo, 2011.

MECK, E.; SIRIVIVATNANON, V. Field indicator of chloride penetration depth. **Cement and concrete research**, v. 33, p. 1113-1117, 2003.

MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. R. L. Durabilidade e proteção do concreto armado. **Revista Técnica**, São Paulo, 2009.

MEHTA P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MOTA, A. C. M. **Avaliação da presença de cloretos livres em argamassas através do método colorimétrico de aspersão da solução de nitrato de prata.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Recife, 2011.

NEVILLE, A. Consideration of durability of concrete structures: past, present and future. Materials and Structures. Nova Iorque, 2001.

NTBUILD-492, NORDTEST METHOD: Concrete, Mortar And Cement-Based Repair Materials: **Chloride Migration Coefficient** From Non-Steady-State Migration Experiments. 2000.

Otsuki, N.; Nagataki, S; Nakashita, K. (1992), **Evaluation of AgNO₃ solution spray method for measurement of chloride penetration into hardener cementitious matrix materials.** ACI Materials Journal. v. 89, n. 6, p. 587-592.

PEREIRA, L. F. C.; CINCOTTO, M. A. Determinação de cloretos em concreto de cimentos portland: influência do tipo de cimento. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. São Paulo, 2001.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Apostila para Curso de Extensão, Ed. Depto. Estruturas da Escola de Engenharia da UFRG, Belo Horizonte, 1997.

REAL, L. V. et al. Método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata para avaliação da penetração de cloretos em concreto: estado da arte. **Revista da Associação Latinoamericana de Controle de Qualidade, Patologia y Recuperação da Construção**, Universidade Federal do Paraná (UFPR), v. 5, n. 2, maio/ago. 2015. Disponível em: <<http://www.revistas-conacyt.unam.mx/alconpat/index.php/ra>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

REZENDE, I. V. S. Resistência do concreto dosado em central: classificação e aspectos de durabilidade. **Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil**. Florianópolis, 1996.

RODRIGUES, F. **Fenolftaleína**. Maringá: [s.n.], 2012.

RODRIGUES, F. **Pacometro**, Maringá: [s.n.], 2012.

RODRIGUES, Fernando Pereira Moutinho (Ed.). **Perícias e Avaliações**. Disponível em: <<http://www.peritos.eng.br/ferramentas/esclerometro/>>. Acesso em: 08 set. 2017.

ROQUE, J. A. **Sistema construtivo em aço patinável e bloco de concreto celular autoclavado**: análise de protótipo de moradia de interesse social. Dissertação (Mestrado). PPGSS-ECM – Universidade São Francisco. Itatiba, 2003.

SAMANIEGO, Y. **Ensaio não destrutivo para avaliação da resistência do concreto**: estudo de aplicação em obras. Brasília: [s.n.], 2014.

SANTOS, A. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação**. Bahia: [s.n.], 2015.

SOUZA, V.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

TULA, L. S. **Contribuição ao estudo da resistência à corrosão de armaduras de aço inoxidável**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

ZAMBERLAN, R. **Avaliação da dureza superficial: ensaio com esclerômetro de reflexão**. Paraná: [s.n.], 2012.