UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

ANTÔNIO CARLOS DE ALBUQUERQUE MELO

ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS MARQUISES DE CONCRETO ARMADO DO RECIFE

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Eliana Cristina Barreto Monteiro

Recife, PE

2011

ANTONIO CARLOS DE ALBUQUERQUE MELO

ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS MARQUISES DE CONCRETO ARMADO DO RECIFE

BANCA EXAMINADORA:

Orientadora:

_____

Prof[a]. Dr[a]. Eliana Cristina Barreto Monteiro

Examinadores:

_____

Professor examinador interno
Prof. Dr. Arnaldo Cardim de Carvalho Filho

_____

Professor examinador externo
Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene
Universidade de São Paulo – USP

_____

Professor examinador externo
Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva
Universidade Católica de Pernambuco

Recife, PE

2011

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, falecidos, por todo sacrifício feito para minha formação.

A minha esposa Eliane, meus filhos Antonio Carlos, Nara, Hugo e Elisa por toda paciência e incentivo.

A minha neta Maria, motivação maior para a conclusão dessa dissertação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ter dado saúde, paciência e perseverança durante o transcorrer de todo mestrado.

A minha orientadora, Prof[a]. Dr[a]. Eliana Cristina Barreto Monteiro, pelos seus ensinamentos, dedicação e constante estimulo durante a elaboração da dissertação.

Ao Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva pelo seu incentivo, conselhos e apoio durante essa nova etapa de formação.

Aos Professores Carlos Fernando de Araujo Calado e Alexandre Gusmão, pela oportunidade e credibilidade dada para participar desse mestrado.

Aos professores do mestrado, pelos ensinamentos e incentivos.

A Sr[a]. Lucia Rossani, secretária do PEC, pela paciência, dedicação e profissionalismo.

A todos os alunos, que participaram de alguma forma direta e indiretamente nas pesquisas que levaram ao aprofundamento desse trabalho.

Ao aluno João Ribeiro de Carvalho, pela participação e incentivo constante.

A TECOMAT, por ter cedido seu laboratório gratuitamente para elaboração de ensaios.

"Conscientemente ou não, o homem somente se realiza plenamente, quando se esquece de sua individualidade, se eleva e se projeta como parte integrante do imenso corpo social ao qual pertence."

Professor Fernando Figueira

RESUMO

ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS MARQUISES DE CONCRETO ARMADO DO RECIFE

Devido às constantes quedas de marquises em diversas cidades brasileiras, muitas delas com vítimas fatais e ao descaso existente com a manutenção por parte dos responsáveis pelas edificações, bem como pelas autoridades governamentais do nosso Estado, pela ausência de uma lei específica, as marquises têm apresentado problemas com elevado grau de deterioração, muitas vezes levando-as ao colapso. Este trabalho tem o objetivo de avaliar o estado de conservação das marquises de concreto armado de edificações localizadas no Centro da Cidade do Recife – PE, no que tange aos aspectos de estabilidade, segurança, mudança de uso, manifestações patológicas e manutenção, buscando contribuir para o aumento da durabilidade e de sua vida útil. Através de vistorias e ensaios destrutivos e não destrutivos, buscou-se obter informações sobre as manifestações patológicas predominantes, mecanismos de ocorrência e seu estado de conservação. Conclui-se que a maioria das marquises apresentam um percentual elevado de manifestações patológicas, tendo como principal às manchas de umidade devido as infiltrações, apresenta na sua maioria ausência de manutenção, observando-se assim a necessidade da elaboração de diretrizes especificas para inspeção e a inclusão das marquises entre as estruturas especiais.

Palavras chave: Concreto armado, marquises, durabilidade, vida útil.

ABSTRACT

STUDY OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS IN THE MARQUISES OF REINFORCED CONCRETE OF RECIFE

Because of the constant falls of marquises in several Brazilian cities, many of them with casualties and to disregard existing maintenance on the part of responsible buildings, as well as by the governmental authorities of our State, by the absence of a specific law, the marquises has presented problems with high degree of deterioration, often causing them to collapse. This work aims to assess the conservation status of marquises of reinforced concrete buildings located in the Centre of the city of Recife – PE, with respect to the aspects of stability, security, change of use, maintenance, and pathological manifestations, seeking to contribute to the increased durability, and lifespan. Through surveys and destructive and nondestructive tests, sought information about the pathological manifestations, mechanisms of predominant occurrence and its conservation status. It is concluded that the majority of marquises present a high percentage of pathological manifestations, having as main stains of moisture due to infiltration, presents mostly lack of maintenance, noting the need to draw up specific guidelines for inspection and the inclusion of marquises between special structures.

Keywords: Reinforced concrete, marquises, durability, service life.

LISTA DE FOTOS

Foto 1 - Desabamento de marquise do Anfiteatro da Universidade Estadual de Londrina (Fonte: HELENE, 2008) 24
Foto 2 - Queda da marquise do Hotel Canadá no Rio de Janeiro (Fonte: HELENE, 2008) 24
Foto 3 - Queda de Marquise no Rio de Janeiro (Fonte: MASSET, 2006) 25
Foto 4 - Desabamento da marquise da Escola Monteiro Lobato – Porto Alegre -RS (Fonte: Robinson Estrásulas /Zero Hora/Ag. RBS) 27
Foto 5 - Marquise de supermercado cai sobre carros em Florianópolis (Fonte: Ricardo Duarte/Diário Catarinense/Ag. RBS) 28
Foto 6 - Marquises de prédios históricos do Recife Antigo correm risco de desabar (Fonte: http://www.defender.org.br/marquises-de-predios-historicos-do-recife-antigo-correm-risco-de-desabar/)..... 29
Foto 7 - A marquise que desabou na Rua Marquês de Olinda. (Fonte: http://www.defender.org.br/marquises-de-predios-historicos-do-recife-antigo-correm-risco-de-desabar/)..... 29
Foto 8 - Marquise no Centro da Cidade do Recife 31
Foto 9 - Eflorescência em grande parte da marquise..... 51
Foto 10 - Bolor (mofo) em marquise..... 60
Foto 11 - Limos em estruturas de marquises. 60
Foto 12 - Infiltração em quase toda a área da marquise. 62
Foto 13 - Medição da profundidade de carbonatação após aspersão de Fenolftaleína..... 82
Foto 14 - Fissura, lodo e infiltração, com característica de deficiência da impermeabilização. ... 97
Foto 15 - Vista longitudinal da marquise M1, com destaque para a ausência de juntas de dilatação nessa extensão e na grande presença de umidade..... 97
Foto 16 - Detalhe do desplacamento e da armadura da viga de apoio da marquise, exposta e com corrosão na região de tração da viga. 98
Foto 17 - Medição do cobrimento nominal da M1 fazendo uso de um paquímetro..... 99
Foto 18 - Desplacamento do revestimento argamassado, lodo, ausência de selante na junta de dilatação e infiltração, característica de deficiência na impermeabilização. 99
Foto 19 - Tubulação de drenagem 102
Foto 20 - Tubulação de drenagem da edificação, vegetação e indícios de infiltração. 102

Foto 21 - Detalhe da área demolida de parte da laje da M02 para colocação de poste de iluminação pública, com destaque para as fissuras 103
Foto 22 - Desenvolvimento de vegetação..... 104
Foto 23 - Vegetação e lodo..... 104
Foto 24 - Escoramento aplicado na extremidade da marquise, estoque de materiais de construção, andaimes e tabuas soltas, operários e torres de andaimes apoiados diretamente sobre a mesma 105
Foto 25 - Vista da foto 50 em outro ângulo, com destaque para os operários sobre as torres de andaimes. 106
Foto 26 - Escoramento executado com madeira emendada, escorando o bordo da marquise, destaque para local com armaduras expostas 107
Foto 27 - Marquise M4..... 111
Foto 28 - Marquise M5..... 111
Foto 29 - Destaque para a escada e o corrimão 114
Foto 30 - Destaque para fissura na face inferior da laje, característica de flexão 117
Foto 31 - Imagem aproximada da foto 67, com destaque para as fissuras transversais na laje de M4..... 118
Foto 32 - Entupimento da tubulação de drenagem 119
Foto 33 - Declividade incorreta e dreno entupido, gerando acumulo d'água..... 119
Foto 34 - Crescimento de vegetação junto da tubulação de drenagem 120
Foto 35 - Detalhe da tubulação da drenagem da coberta..... 120
Foto 36 - Infiltração em parede e teto de ambiente interno da edificação..... 121
Foto 37 - Vegetação na região de apoio entre a parede e a marquise M5 123
Foto 38 - Lixo, bolor, lodo e vegetação na parte superior da marquise 123
Foto 39 - Armadura inferior exposta com desplacamento do concreto..... 124
Foto 40 - Fissura transversal, desplacamento de concreto e descolamento de pintura 124
Foto 41 - Colapso parcial de marquise no Centro do Recife..... 127
Foto 42 - Ampliação do detalhe "A" da Foto 82, onde se observa o local onde era o console, engastados na estrutura e onde era a laje da marquise, sem vinculo estrutural com a edificação128
Foto 43 - Trecho da Marquise que colapsou lajes e consoles 22, 23 e 24..... 128
Foto 44 - Detalhe do console 23, com destaque para a armadura do console colapsado totalmente oxidada..... 129

Foto 45 - Console C1 com armaduras expostas e Lajes L1 e L2, fissuradas e com infiltração .. 130
Foto 46 - Ampliação do detalhe “A” da Foto 86, com destaque para fissura e vegetação em L01 e desplacamento e corrosão com perda de seção nas armaduras com perda dos estribos 130
Foto 47 - Detalhe da laje L2, deformada, estando atirantada e vegetação sobre L3 131
Foto 48 - Infiltração nas lajes e vegetação sobre console C7 132
Foto 49 - Infiltração, fissura e lodo em L7, no local abaixo da vegetação apresentada na foto anterior 132
Foto 50 - Detalhe da tubulação de águas pluviais da edificação vizinha, drenando sobre o trecho da marquise que colapsou 133
Foto 51 - Ampliação do detalhe “A” da foto anterior, com destaque para a boca da tubulação de drenagem e para a fissura no console de apoio da sacada da janela 134
Foto 52 - Laje L20, deformada e com infiltração, característica de deficiência de impermeabilização 134
Foto 53 - Detalhe do escoramento ao longo da marquise 135
Foto 54 - Escoramento executado e área selecionada por conter sucessivas camadas de revestimento cimentício 136
Foto 55 - Ampliação do detalhe “A” com destaque para as sucessivas camadas de revestimentos cimentício (3). 136
Foto 56 - Vista de trecho da marquise 138
Foto 57 - Desplacamento na viga por corrosão na armadura 139
Foto 58 - Fissura, infiltração, fungo e descolamento de pintura 139
Foto 59 - Detalhe da junta estrutural, com destaque para o fechamento na testada da marquise. 140
Foto 60 - Fissura na superfície superior da marquise no sentido da armadura principal. 140
Foto 61 - Infiltração com descolamento de pintura, característica de deficiência de impermeabilização 141
Foto 62 -Infiltração e fissuras no revestimento, característico de deficiência e ausência do respingador. 141
Foto 63 - Vista da fachada frontal 145
Foto 64 - Fissura vertical na parede de apoio da marquise 145
Foto 65 - Infiltração na viga a qual a marquise encontra-se engastada 146
Foto 66 - Fissura horizontal e desplacamento do revestimento da parede de apoio à marquise . 146

Foto 67 - Manchas escuras na testada da marquise 147
Foto 68 - Localização dos locais na parte superior da marquise para remoção do revestimento 150
Foto 69 - Malha de 9 x 9 centímetros para o ensaio de esclerometria 151
Foto 70 - Ensaio de esclerometria sendo executado 151
Foto 71 - Execução do ensaio de ultrassom 162
Foto 72 - Execução do ensaio de ultrassom 162
Foto 73 - Garra fixada na armadura 170
Foto 74 - Utilização do Potencial de Corrosão 170
Foto 75 - Eletrodo colocado na superfície do concreto 171
Foto 76 - Aspersão de Fenolfetaleina 177
Foto 77 - Área aspergida, apresentando a região carbonatada 178
Foto 78 - Demarcação da área para posterior medição da profundidade de carbonatação. 178
Foto 79 - Carbonatação em cor violeta (acima) e cloretos, incolor (abaixo). 183

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Casos de desabamento de marquises no Brasil (Fonte: HELENE, 2008) 25
Tabela 2 - Limites para deslocamento (Fonte: NBR 6118, (2007)) 45
Tabela 3 - Resumo das principais origens e causas da deterioração do concreto (Fonte: Andrade, 2005). 50
Tabela 4 - Faixas de agressividade, com base na vida útil das estruturas. (Fonte : MEIRA, 2004) 69
Tabela 5- Classes de Agressividade Ambiental (Fonte: NBR 6118, (2007)). 70
Tabela 6 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto (Fonte: NBR 6118, (2007)). 71
Tabela 7 - Correspondência entre Classe de Agressividade Ambiental e cobrimento nominal para Δc = 10 mm (Fonte: NBR 6118, (2003)). 72
Tabela 8 - Potenciais de corrosão e probabilidade de ocorrência (Fonte: Norma ASTM 876 ,1991) 75
Tabela 9 - Classificação do concreto em função da velocidade do pulso ultrassônico (Fonte: CÁNOVAS, 1998) 78
Tabela 10 - Indicador de carbonatação (Fonte: PONTES,2008) 81
Tabela 11- Índice de reflexão da marquise M4 152
Tabela 12 - Média do índice de reflexão da marquise M4 152
Tabela 13 - Índice de reflexão médio e dureza superficial através do ábaco do esclerômetro com fck de referência, conforme Apêndice I 153
Tabela 14 - Índice de reflexão da marquise M5 154
Tabela 15 - Média do índice de reflexão da marquise M5 155
Tabela 16 - Índice de reflexão médio e dureza superficial através do ábaco do esclerômetro com fck de referencia, conforme Apêndice I 155
Tabela 17 - Índice de reflexão da marquise M7 156
Tabela 18 - Média do índice de reflexão da marquise M7 157
Tabela 19 - Índice de reflexão médio e dureza superficial da marquise M7 através do ábaco do esclerômetro com fck de referencia, conforme Apêndice I 157
Tabela 20 - Índice de reflexão da marquise M8 158
Tabela 21 - Média do índice de reflexão da marquise M8 159

Tabela 22 - Índice de reflexão médio e dureza superficial da marquise M8 através do ábaco do esclerômetro com fck de referencia, Apêndice I 159
Tabela 23 – Leituras do tempo da velocidade de propagação do em microssegundo 163
Tabela 24 - Leituras do tempo da velocidade de propagação do som em microssegundo 165
Tabela 25 - Leituras do tempo da velocidade de propagação do som em microssegundo 166
Tabela 26 - Leituras do tempo da velocidade de propagação do som em microssegundo 168
Tabela 27 - Potencial de Corrosão em mv de cada área 171
Tabela 28 - Potencial de Corrosão em mv de cada área 173
Tabela 29 - Potencial de Corrosão em mv de cada área 174
Tabela 30 - Potencial de Corrosão em mv de cada área 175
Tabela 31 - Conjunto de variáveis das marquises 188
Tabela 32 - Diretrizes para elaboração de Laudo Técnico de Marquises 189

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Flexão em uma estrutura bi-apoiada (Fonte: Flexão em estruturas – PUCPR) 32
Figura 2 - Cargas provenientes da ação do vento (Fonte: ROCHA, 1986). 34
Figura 3 - Cargas atuantes na marquise 35
Figura 4 - Detalhe de uma marquise engastada em laje de piso 37
Figura 5 - Detalhe de uma marquise engastada em viga 37
Figura 6 - Fissuras devido à carga imposta (Fonte: CEB, 1989). 43
Figura 7 - Fissuras de retração plástica no concreto 47
Figura 8 - Ataque de íons cloreto na estrutura de uma marquise (Fonte: IME – Instituto Militar de Engenharia, 2008). 56
Figura 9 - Sistema de Drenagem de águas pluviais em Marquises. (JORDY; MENDES, 2006) . 63
Figura 10 - Atividades envolvidas na rotina de inspeção (Fonte: CASTRO, 1994) 66
Figura 11 - Esquema do ensaio de potencial de corrosão (Fonte: OLIVEIRA, 2002) 74
Figura 11 - Esquema do ensaio de potencial de corrosão (Fonte: OLIVEIRA, 2002) 75
Fura 12 - Esquema de funcionamento do aparelho de Ultrassonografia (Fonte : VEIRA,2002).. 80
Figura 13 - Representação esquemática das condições de apoio 88
Figura 14 – Gráfico das incidência das manifestações patológicas encontradas nas marquises do centro do Recife 89
Figura 15 – Gráfico da exposição de armaduras em marquises 91
Figura 16 - Percentual de marquises com armadura exposta e com cobrimento menor que o exigido pela NBR 6118 (2007). (Fonte: ABNT, 2007) 92
Figura 17 - Percentual das marquises com rotina de manutenção 93
Figura 18 - Percentual de marquises que passaram por intervenção indevida 94
Figura 19 - Percentual de intervenções indevidas mais comuns nas marquises 94
Figura 20 - Detalhe esquemático da marquise M1 e seu vínculo estrutural 96
Figura 21 - Detalhe esquemático da marquise M2 e seu vínculo estrutural. 100
Figura 22 - Planta de locação da Marquise M2 101
Figura 23 - Detalhe esquemático da marquise M3 e seu vínculo estrutural, como projetado. 108
Figura 24 - Modelo da marquise (M3) sem escoramento e seu diagrama de momento (adaptado de Fonte: MEDEIROS, GROCHOSKI, HELENE, 2006) 108

Figura 25 - Modelo da Marquise (M3), com escoramento incorreto nas extremidades do balanço e seu diagrama de momento (adaptado da Fonte: MEDEIROS, GROCHOSKI, HELENE, 2006). 109
Figura 26 - Modelo da Marquise (M3), com escoramento incorreto nas extremidades do balanço e com uma sobrecarga não prevista, seu diagrama de momento é alterado (adaptado da Fonte: MEDEIROS, GROCHOSKI, HELENE, 2006)..... 109
Figura 27 - Marquise com escoramento correto e seu diagrama de momento (Fonte: MEDEIROS, GROCHOSKI, HELENE, 2006) 110
Figura 28 - Planta baixa da marquise M4 com a localização dos elementos estruturais, onde o "L" representa as lajes e os "C" os consolos que estão em tracejado 112
Figura 29 - Planta baixa de trecho da marquise..... 113
Figura 30 - Detalhe do corte A-A aplicado na Figura anterior..... 113
Figura 31 - Possíveis condições de apoio..... 114
Figura 32 - Posicionamento das armaduras das lajes da marquise..... 116
Figura 33 - Detalhe das armaduras principais de uma marquise com viga e console 117
Figura 34 - Planta baixa com localização dos elementos estruturais da marquise M5 onde "L01" representa laje. 122
Figura 35 - Detalhe esquemático e corte na marquise..... 122
Figura 36 - Planta de situação e locação com a indicação dos elementos estruturais e trecho colapsado 126
Figura 37 - Corte transversal na marquise, mostrando seus elementos, console e laje 127
Figura 38 - Detalhe em planta baixa da marquise 137
Figura 39 - Detalhe do corte A-A e esquema do vínculo 138
Figura 40 - Detalhe da projeção da lâmina da edificação..... 143
Figura 41 - Detalhe dos possíveis vínculos da marquise..... 143
Figura 42 - Configuração estrutural da marquise 144
Figura 43 - Figura 7 do Apêndice I (Avaliação da qualidade do concreto em função do IEM) . 149
Figura 44 - Comparação entre a dureza superficial e a tensão de compressão (fck) de referenciação sugerida no apêndice I, da marquise M4..... 154
Figura 45 - Comparação entre a dureza superficial e a tensão de compressão (fck) de referenciação sugerida no apêndice I, da marquise M5..... 156

Figura 46 - Comparação entre a dureza superficial e a tensão de compressão (fck) de referenciação sugerida no apêndice I, da marquise M7..... 158
Figura 47 - Comparação entre a dureza superficial e a tensão de compressão (fck) de referenciação sugerida no apêndice I, da marquise M8..... 160
Figura 48 – Dureza superficial média e fck de referencia, conforme Apêndice I, de todas as marquises ensaiadas..... 161
Figura 49 – Gráfico da velocidade média ultrassônica de M4 164
Figura 50 – Gráfico da velocidade média ultrassônica de M5 165
Figura 51 – Gráfico da velocidade média ultrassônica de M7 167
Figura 52 – Gráfico da velocidade média ultrassônica de M8 168
Figura 53 – Gráfico da média dos potenciais de corrosão em cada superfície de M4 172
Figura 54 – Gráfico da média dos potenciais de corrosão em cada superfície de M5 173
Figura 55 – Gráfico da média dos potenciais de corrosão em cada superfície de M7 174
Figura 56 – Gráfico da média dos potenciais de corrosão em cada superfície de M8 176
Figura 57 - Profundidade de carbonatação M4 179
Figura 58 - Profundidade de carbonatação M5 180
Figura 59 - Profundidade de carbonatação da marquise M7..... 181
Figura 60 - Profundidade de carbonatação da marquise M7..... 182
Figura 61 - Espessura da camada de concreto reagente ao Nitrato de Prata na M4..... 184
Figura 62 - Espessura da camada de concreto reagente ao Nitrato de Prata na M5..... 185
Figura 63 - Espessura da camada de concreto reagente ao Nitrato de Prata na M7..... 186
Figura 64 - Espessura da camada de concreto reagente ao Nitrato de Prata na M8..... 187

Sumário

1 INTRODUÇÃO 20

1.1 Importância do trabalho 20

1.2 Acidentes com Marquises 23

1.3. Objetivo 30

***1.3.1. Objetivo Geral* 30**

***1.3.2. Objetivo específico* 30**

2. MARQUISES 31

2.1. Definição 31

2.2. Concepção e Calculo Estrutura de marquises em concreto armado 32

2.2.1. *Princípios para a elaboração do Cálculo Estrutural* 33

2.3. Manifestações patológicas em marquises 38

2.3.1. *Manifestações patológicas decorrentes de fissuração* 39

2.3.1.1. *Fissuras provenientes das variações térmicas* 40

2.3.1.2. *Fissuras devido a sobrecargas* 41

***2.3.1.3. Fissuras por excesso de deformação* 42**

2.3.1.4. *Fissuras devido à retração* 46

2.3.1.5. *Fissuras devido alterações químicas dos materiais* 48

***2.3.2. Manifestações Patológicas devido aos fenômenos químicos no concreto* 49**

***2.3.2.1. Eflorescências* 51**

2.3.2.2. *Ataque por sulfato* 53

2.3.2.3. *Ataque por ácidos* 53

2.3.2.4. *Ataque por cloretos* 54

2.3.3. *Ataques Físicos* 56

2.3.4. *Corrosão das Armaduras* 57

2.3.5. *Bolor e Limo* 59

2.3.6. *Umidade* 61

2.3.7. *Anomalias Devido a Projeto e Execução* 63

3. METODOLOGIA DAS INSPEÇÕES E DOS ENSAIOS 65

3.1. Introdução 65
3.2. Inspeção Preliminar 66
3.3. Inspeção Detalhada 67
3.4. Caracterização do meio ambiente 68
3.5. Classes de Agressividade Ambiental 69
3.6. Classe de agressividade, a qualidade do concreto e o cobrimento 71
3.7.1. *Potencial de Corrosão* 73
3.7.2. *Ultrassom* 77
3.7.3. *Profundidade de carbonatação* 80
3.7.4. *Determinação da presença de cloretos* 82
3.7.5. *Ensaio de esclerometria* 83
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 87
4.1. Análise quantitativa das manifestações patológicas 88
4.2. Análise quantitativa referente à exposição de armadura, rotina de manutenção e sobrecargas e intervenções indevidas. 90
4.3. Amostragem das manifestações patológicas mais comuns, encontradas através de inspeção visual 95
***4.3.1. Estudo de Caso 1 (M1)* 96**
***4.3.2. Estudo de Caso 2 (M2)* 100**
***4.3.3. Estudo de Caso 3 (M3)* 105**
***4.3.4. Estudo dos Casos 4 (M4) e 5 (M5)* 110**
***4.3.4.1. Marquise M4* 112**
***4.3.4.2. Marquise M5* 121**
***4.3.5. Estudo de Caso 6 (M6-Colapso)* 125**
***4.3.6. Estudo de Caso 7 (M7)* 137**
***4.3.7. Estudo de Caso 8 (M8)* 142**
4.4. Resultados obtidos através da realização de ensaios 147
4.4.1. Calibração e referenciação entre Índice de Reflexão e Resistência a Compressão 148
4.5. Ensaio de esclerometria 149
***4.5.1. Marquise M4* 152**
***4.5.2. Marquise M5* 154**

4.5.3. Marquise M7 ..... **156**
4.5.4. Marquise M8 ..... **158**
4.6. Ultrassom **161**
4.6.1. Marquise M4 ..... **163**
4.6.2. ***Marquise M5*** **164**
4.6.3. Marquise M7 ..... **166**
4.6.4. Marquise M8 ..... **167**
4.7. Potencial de Corrosão **169**
4.7.1. Marquise M4 ..... **171**
4.7.2. Marquise M5 ..... **172**
4.7.3. Marquise M7 ..... **174**
4.7.4. Marquise M8 ..... **175**
4.8. Aspersão de Fenolfetaleina **176**
4.8.1. Marquise M4 ..... **179**
4.8.2. Marquise M5 ..... **179**
4.8.3. Marquise M7 ..... **180**
4.8.4. Marquise M8 ..... **181**
4.9. Cloretos **182**
4.9.1. Marquise M4 ..... **183**
4.9.2. Marquise M5 ..... **184**
4.9.3. Marquise M7 ..... **185**
4.9.4. Marquise M8 ..... **186**
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS **192**
REFERÊNCIAS **195**
APÊNDICE I – Referenciação entre Índice de Reflexão e Resistência à Compressão **203**
ANEXO I – CHECK-LIST **213**

1 INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil até o final do século 19 dispunha de poucas condições técnicas para a execução de edificações verticais, chegando os edifícios a terem, no máximo, 4 ou 5 pavimentos.

No inicio do Século 20, com a maior utilização do Cimento Portland e do concreto armado, torna-se assim possível a construção de grandes edifícios, iniciando o processo de verticalização das edificações nas cidades brasileiras.

Nos centros urbanos, essas edificações, normalmente de uso misto, ou seja, comércio no térreo e residência ou escritórios na parte superior, ocupavam toda a área dos terrenos e tinham suas portas e janelas do pavimento térreo abrindo direto para as calçadas da rua.

Devido à circulação das pessoas, que poderiam ser atingidas por qualquer objeto que viesse a cair dos pavimentos superiores e, existindo também a necessidade de se proteger os acessos a essas edificações, passou-se a fazer uso das marquises.

Hoje, muitas das edificações verticais possuem marquises e os arquitetos buscam cada vez mais ousar em seus projetos buscando tirar proveito de formas e da diversificação de materiais construtivos existentes, passando muitas vezes as marquises a ser uma obra de arte, mais do que simplesmente um elemento de proteção.

1.1 Importância do trabalho

A modernização dos procedimentos e técnicas construtivas é um assunto bastante atual e que vem crescendo aceleradamente no ramo da construção de edifícios. A preocupação com a qualidade dos materiais empregados, a geração de entulhos, gestão de projetos, entre outros

tópicos, vão abrindo espaço para conceitos, antes adormecidos no mundo construtivo, como a durabilidade e vida útil das edificações.

Estes conceitos, cada vez mais, vêm sendo utilizados desde a fase de projetos, execução da obra e manutenção, sendo hoje, uma das principais ferramentas para os profissionais da construção civil para a conservação dos elementos estruturais e para a manutenção preventiva das edificações.

Objetivamente, as causas da deterioração podem ser as mais diversas, desde a má conservação, a utilização de materiais inapropriados, o envelhecimento natural da estrutura, associados à agressividade do meio ambiente, e de produtos químicos existentes ou adicionados à mesma durante o processo de execução.

Até o início da década de 70, durabilidade de edificações não era um assunto de grande interesse no Brasil, a não ser para a preservação de monumentos históricos. Não existia uma cultura de manutenção periódica para preservar ou prolongar a vida útil das edificações, buscava-se mais destruir o antigo para dar lugar ao novo. Com o início da crise econômica mundial, na década de 70, surgiu a preocupação com a durabilidade e a vida útil de uma edificação, pois era necessário diminuir os custos ao máximo. Entretanto, apesar desta preocupação crescente com o estado de conservação das edificações, principalmente dos seus elementos estruturais de concreto armado, constatou-se a existência de estruturas com desempenho insatisfatório para as finalidades a que se propunham.

Uma maneira de saber a qualidade das edificações é através da realização de estudos qualitativos e quantitativos sobre o conjunto de obras estudadas. De acordo com Castro (1994), estudos sobre lesões em edificações têm sido desenvolvidos em diversos países, através de entidades públicas ou privadas.

Dentre todos os elementos estruturais existentes nas edificações, optou-se no presente trabalho por estudar o estado de conservação e a durabilidade das marquises, tendo em vista que esta peça estrutural é bastante presente nas edificações, principalmente nos centros comerciais, como é o caso do centro da cidade do Recife, e por possuir uma função de proteção e abrigo para a população que por ali transitam.

Marquise é um elemento constitutivo das fachadas das edificações que apresenta determinadas peculiaridades: mesmo sendo parte integrante da estrutura da edificação, se projeta sobre o logradouro público e sua estrutura caracteriza-se normalmente por balanços engastados na fachada.

Muitos casos de instabilidade, chegando ao desabamento, têm ocorrido nas estruturas de marquises de centros urbanos em diversas partes do mundo. A maioria destes acidentes estruturais resulta em consequências imprevisíveis, geralmente com vítimas fatais e interdições em calçadas e vias de passagem.

No caso do elemento estrutural Marquise, normalmente desprezado ou sem importância para proprietários e até para alguns profissionais da engenharia, temos o agravante de que a maior parte das vistorias para inspeções limita-se às partes visíveis da estrutura, a parte inferior, e por falta de condições de acesso, ou até de conhecimento, despreza-se a região superior onde existe a maior parte da concentração dos esforços de tração, fissuras provenientes do trabalho da estrutura, do efeito da dilatação térmica e as fissuras ocasionadas por sobrecargas indevidas. Tais fissuras funcionam como caminho facilitador de agentes deletérios das armaduras oxidando-as, perdendo sua capacidade de atender aos esforços solicitantes para os quais foram dimensionadas e entrando no processo de escoamento. Ao mesmo tempo, o concreto não suporta os esforços de tração que a armadura deixa de combater, aumenta a fissuração no mesmo, levando assim a estrutura a colapsar e na maioria das vezes, bruscamente.

Nos grandes centros urbanos o meio ambiente é bastante agressivo, tanto pela emissão de gases poluentes, como pelas chuvas acidas e também pela presença de névoa salina, quando em cidades litorâneas como o Recife e a maioria das capitais dos estados brasileiros. Sendo assim, os aspectos inerentes à durabilidade das estruturas, classes ambientais, cobrimento de armaduras, detalhes executivos e sistemas de proteção estão previstos nas novas normas técnica relacionadas ao concreto.

Uma vez que é crescente o número de marquises que apresentam instabilidade estrutural, bem como, os casos de desmoronamentos com vitimas, este trabalho passa a ter sua relevância acentuada, pois apresenta uma amostragem muito significativa no numero de Marquises

vistoriadas e de ensaios realizados, apresentando resultados quantitativos e qualitativos da realidade atual das mesmas, passando a ser um subsidio que vem a corroborar com a necessidade das Marquises serem dimensionadas no Estádio I, onde não é permitido fissuramento no concreto, bem como, venha-se a adotar medidas que levem a obrigatoriedade de vistorias e manutenções periódicas executadas por profissionais da engenharia habilitados, buscando assim eliminar o numero de sinistros ocasionados pela mesma.

1.2 Acidentes com Marquises

As marquises passaram a ser fonte de preocupação desde 1937, onde a sua ausência levava perigo aos transeuntes que circulavam nas calçadas das edificações. Com essa preocupação, foi criado na cidade do Rio de Janeiro em 1937 o Dec. 6000/37, que impôs condições para construção de marquises, e tornou obrigatória a sua construção em prédios comerciais, visando à proteção dos pedestres.

No ano de 1970, também na cidade do Rio de Janeiro foi editado o Dec. 3800/70 que mantinha a obrigatoriedade de construção de marquises ao longo de toda a extensão da fachada em edificações comerciais. No ano de 1991 com o Dec. 10426/91 extingui-se a obrigatoriedade de construção da marquise. (RIZZO, 2007).

Conforme Nakaguma (2006), mesmo após o fim da obrigatoriedade da construção das marquises, estas continuaram a ser construídas, tornando-se parte da cultura da construção de edifícios.

A queda da marquise do Anfiteatro do Centro de Ciências Sociais Aplicadas (CESA) da Universidade Estadual de Londrina (UEL) (Foto1) com duas vitimas fatais e 21 feridos (entre os quais dois tiveram membros amputados) em 2006 e o desabamento da marquise do Hotel Canadá no Rio de Janeiro (Foto 2), com duas vitimas fatais e quatorze feridos, ocorrido em fevereiro de 2007, vieram como um alerta, transformando-se em preocupação, observando-se que acidentes com marquises estavam ocorrendo com mais frequência em todo o país.

Foto 1 - Desabamento de marquise do Anfiteatro da Universidade Estadual de Londrina (Fonte: HELENE, 2008)

Foto 2 - Queda da marquise do Hotel Canadá no Rio de Janeiro (Fonte: HELENE, 2008)

Contradizendo a tudo, os jornais estamparam: “A Cidade do Rio de Janeiro não pode ter marquises”. Esse é um dos artigos do Decreto da Prefeitura do Rio de Janeiro, de n.º 27.663, publicado no dia 12 de março de 2007, no Diário Oficial do Município. O ato da Prefeitura do

Rio veio em resposta à tragédia do desabamento da marquise de um hotel no bairro de Copacabana que resultou em duas mortes no dia 26 de fevereiro de 2007 (Foto 3).

Foto 3 - Queda de Marquise no Rio de Janeiro (Fonte: MASSET, 2006)

Tabela 1 - Casos de desabamento de marquises no Brasil (Fonte: HELENE, 2008)

Edificação	Ano do acidente	Idade da edificação	Vitimas	Tipo da estrutura	Agentes causadores
Edf. Mercúrio (RJ)	1990	Não declarado	1 morto	Laje sobre viga engastada	Corrosão de armadura com cobrimento insuficiente
Edf. Terminus (RJ)	1992	Não declarado	1 morto e 2 feridos	Laje sobre viga engastada	Corrosão de armaduras e sobrecarga devido a camadas sobrepostas de impermeabilização
Restaurante da Tijuca (RJ)	1992	37 anos	Nenhuma	Laje sobre viga engastada	Dimensionamento incorreto e corrosão das armaduras
Prédio do BANDERN (RN)	1993	> 50 anos	Nenhuma	Laje engastada em parede de alvenaria	Corrosão de armaduras
Edf. Tavares (RJ)	1995	Não declarado	1 ferido	Laje engastada	Sobrecarga por falta de drenagem e letreiro sobre a marquise

Hospital Municipal Barata Ribeiro (RJ)	1996	48 anos	Nenhuma	Laje engastada	Mal posicionamento da armadura, água não drenada e sobreposição de impermeabilização
Hotel Palace (BA)	2000	66 anos	1 morto e 2 feridos	Não declarado	Corrosão de armaduras e excesso d'água não drenada
Edf. M. D'Almeida	2001	Não declarada	1 morto e 7 feridos	Não declarado	Corrosão de armaduras e excesso d'água não drenada
Edf. Granville	2004	24 anos	Nenhuma	Laje engastada	Mal posicionamento da armadura negativa
Centro de Ciências Sociais Aplicadas (PR)	2006	7 anos	2 mortos e 21 feridos	Laje sobre viga engastada	Corrosão de armaduras e excesso d'água não drenada
Bar Parada Obrigatória – Vila Isabel (RJ)	2006	50 anos	3 mortos e 4 feridos	Não declarado	Corrosão de armaduras
Hotel Canadá (RJ)	2007	40 anos	2 mortos e 14 feridos	Não declarado	Corrosão de armaduras e sobrecargas

Além desses acidentes citados na Tabela 1, podemos elencar outros acidentes envolvendo marquises através de matérias publicadas pela imprensa nacional envolvendo, como mostramos nas Fotos 4, 5 e 6.

Foto 4 - Desabamento da marquise da Escola Monteiro Lobato – Porto Alegre -RS (Fonte: Robinson Estrásulas /Zero Hora/Ag. RBS)

"A marquise da Escola Monteiro Lobato (Foto 4), em Porto Alegre, desabou na madrugada desta quinta-feira (27/12/07). A área foi isolada para que o Instituto Geral de Perícias (IGP) realize a vistoria do prédio. Segundo informações da Polícia Militar, ninguém ficou ferido com o incidente. A Secretaria Municipal de Obras e Viação (Smov) informou que o imóvel estava com a situação regularizada". Fonte:(http://g1.globo.com/Noticias/Brasil)

Foto 5 - Marquise de supermercado cai sobre carros em Florianópolis (Fonte: Ricardo Duarte/Diário Catarinense/Ag. RBS)

"A marquise de um supermercado no centro de Florianópolis (Foto 5) caiu sobre pelo menos dez carros e deixou duas pessoas feridas, nesta sexta-feira (7/11/08). Os veículos pertenciam a clientes e funcionários". (Fonte: http:g1.globo.com/noticias/Brasil).

"Quem circula pelo Bairro do Recife já percebeu o perigo de passar por baixo de marquises de prédios seculares; exemplo disso é o acidente recente na Marquês de Olinda. A marquise que desabou está há quase um mês na calçada, na Rua Marquês de Olinda, um dos pontos mais visitados por turistas no bairro do Recife Antigo. A área de risco está cercada por vigas de madeira, mas os tapumes que impediam o acesso das pessoas foram roubados. A marquise caiu no dia 27 de fevereiro de 2009 e ninguém ficou ferido. Mas o perigo foi grande: três dias antes, milhares de pessoas ocupavam as ruas do Recife Antigo para acompanhar os blocos de carnaval ou assistir às apresentações no Marco Zero" (Fotos 6 e 7) (Fonte: http://www.defender.org.br/marquises-de-predios-historicos-do-recife-antigo-correm-risco-de-desabar/).

.

Foto 6 - Marquises de prédios históricos do Recife Antigo correm risco de desabar (Fonte: http://www.defender.org.br/marquises-de-predios-historicos-do-recife-antigo-correm-risco-de-desabar/)

Foto 7 - A marquise que desabou na Rua Marquês de Olinda. (Fonte: http://www.defender.org.br/marquises-de-predios-historicos-do-recife-antigo-correm-risco-de-desabar/)

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo Geral

Avaliar através de inspeção visual e ensaios não destrutivos, o estado de conservação das marquises de concreto armado de edificações localizadas no centro da Cidade do Recife – PE, quanto aos aspectos de estabilidade da estrutura, segurança, mudança de uso, manifestações patológicas e manutenção e buscar contribuir para o aumento da durabilidade dessas estruturas, permitindo o estabelecimento de prioridades para as ações necessárias para preservação da sua vida útil.

1.3.2. Objetivo específico

Fazer uso das informações obtidas para definir qual a estrutura predominante, quais as manifestações patológicas mais graves, quais as sobrecargas mais usuais e as condições de manutenção das mesmas, visando formar um banco de dados necessário para o desenvolvimento da pesquisa.

Através da formação desse banco de dados, levantado por vistorias, buscar obter um diagnóstico preciso da estrutura, levantando as causas, mecanismos de ocorrência e origem dos problemas.

Elaborar diretrizes que forneçam parâmetros específicos para a realização de vistorias em marquises, servindo como orientação para os profissionais de engenharia e outros, que sejam responsáveis pela manutenção e fiscalização dessas estruturas.

2. MARQUISES

2.1. Definição

De acordo com o CEPD (2008), as marquises são elementos estruturais, que em sua maioria são construídas em concreto armado, situadas em edificações que se caracterizam por um balanço conectado à fachada e que se projeta sobre o logradouro público, protegendo as pessoas que passam, da chuva, do sol e de algo que posa cair dos edifícios, alem disso, são elementos que pelas características podem ajudar no projeto de uma arquitetura harmônica (Foto 8).

Ainda segundo o CEPD (2008), as estruturas deste tipo construídas em concreto armado têm uma característica bastante peculiar: são submetidas a esforços de flexão junto ao apoio no lado superior, e por esse motivo devem ser avaliadas quanto às condições de segurança, desempenho e durabilidade. Com a correria do dia-a-dia a maioria das pessoas nem percebe que está passando ou que está parada debaixo de uma marquise. O problema é que algumas dessas estruturas apresentam risco de desabamento, o que pode provocar ferimentos ou até mortes.

Foto 8 - Marquise no Centro da Cidade do Recife

2.2. Concepção e Calculo Estrutura de marquises em concreto armado

O Concreto Armado é um material formado pela união do concreto com o aço (material dúctil) resultando em um material flexível. Com isso, o concreto armado suporta deformações e apresenta fissuração admissível, que ao ser ultrapassada, vem a formar um quadro de fissuras de espessura maior que a admissível, podendo chegar ao colapso.

As marquises de concreto armado também estão sujeitas a deformação e fissuração, só que com um agravante, as fissuras geralmente ocorrem na região superior, no engastamento, seja em laje ou em console, e devido a falta de manutenção ou sobrecargas indevidas, as mesmas terminam por vir a sofrer uma ruptura brusca.

Segundo a PUCPR (2008), as estruturas de marquises por serem, em sua maioria, estruturas isostáticas construídas em concreto armado que são submetidas a esforços de flexão (Figura 1), junto ao apoio no lado superior.

Em uma estrutura de concreto armado, os esforços de tração representam a tensão máxima desenvolvida na superfície de um elemento estrutural submetido à flexão e como o concreto sozinho não combate esses esforços, os mesmos passam a ser combatidos pelas barras de aço da estrutura.

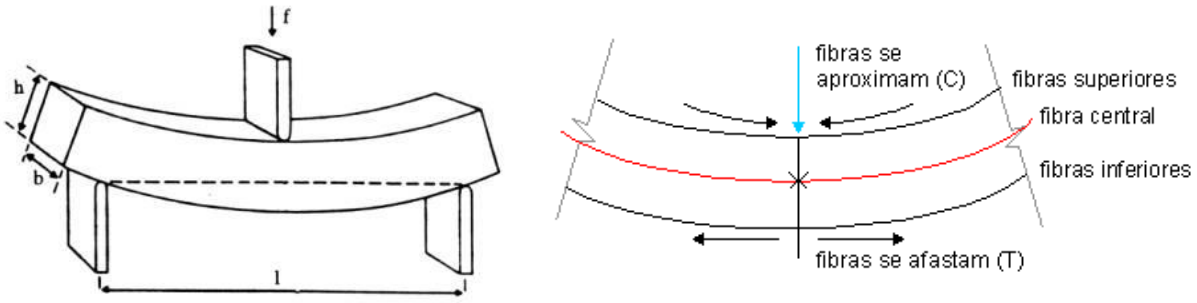


Figura 1 - Flexão em uma estrutura bi-apoiada (Fonte: Flexão em estruturas – PUCPR)

No caso das marquises, o elemento estrutural de ligação da marquise com o restante da estrutura, tem sua zona tracionada na face superior desse elemento, e o aço de suas armaduras, material principal para o combate aos esforços de tração termina por ficar em contato direto, com os agentes externos; água da chuva, variação de temperatura, agentes químicos presentes na atmosfera poluída, etc., devido à falta de falta de manutenção e do aparecimento de fissuras. Tal fato incide no surgimento de diversas manifestações patológicas, entre elas, a mais grave de toda a corrosão. Corrosão das armaduras, em uma região não vistoriada, sem manutenção, implica exclusivamente na redução da durabilidade e da vida útil da estrutura, na redução da seção do aço, no seu escoamento, terminando com o desmoronamento abrupto da marquise.

2.2.1. *Princípios para a elaboração do Cálculo Estrutural*

Não iremos aqui apresentar o dimensionamento de todos os tipos de marquises, buscaremos apenas, elencar os principais fatores que devem ser levados em consideração quando da execução do calculo estrutural e para isso, consideramos como exemplo o tipo de marquise mais usual que é a marquise engastada na laje de piso ou em viga.

Para elaborarmos o cálculo estrutural de uma marquise, de conformidade com a NBR 6118 (2007), devem-se conhecer quais as cargas atuantes na mesma, tais como: o peso próprio, as sobrecargas; revestimento, pessoas que eventualmente venha a subir na mesma, coberta, forro, placas, alvenaria, ação do vento, entre outras. Também será necessário levar em consideração a agressividade do meio ambiente e determinar o tipo do concreto que será aplicado.

Segundo Rocha (1986), a sobrecarga a ser considerada nas marquises é pequena, e se destina a prever o carregamento eventual de pessoas e ação do vento. Em casos comuns onde às marquises apresentam pouca inclinação e a ação do vento é desprezível, basta considerar uma sobrecarga no valor de 50 kg/m². Para as marquises usuais, com altura não superior a 10 metros, com muita inclinação em relação a horizontal, teremos que considerar a seguinte carga

proveniente da ação do vento, p=60senα, sendo α o ângulo que a marquise faz com a horizontal, como mostra a Figura 2.

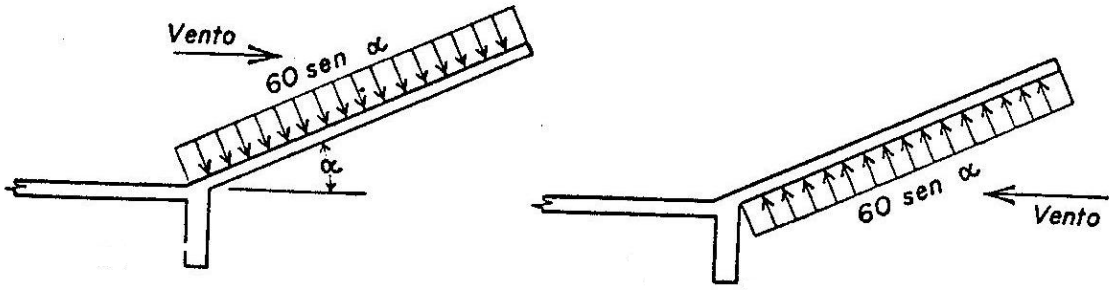


Figura 2 - Cargas provenientes da ação do vento (Fonte: ROCHA, 1986).

De acordo com Botelho, Marchetti (2006) o peso próprio depende da espessura da laje da marquise, podendo ser avaliado em função da espessura média, quando a mesma não é constante. O revestimento deve ser avaliado em cada caso, uma vez que as exigências relativas à impermeabilização podem solicitar sistemas construtivos especiais, dando lugar a valores, para a carga por metro quadrado do revestimento das marquises, diferentes dos que usualmente são adotados nos pisos em geral.

Existem marquises que possuem na sua extremidade pequenas muretas, ou ate mesmo paredes, cujo peso próprio deve ser avaliado e computado no cálculo dos momentos fletores e esforços cortantes, como mostra a Figura 3.

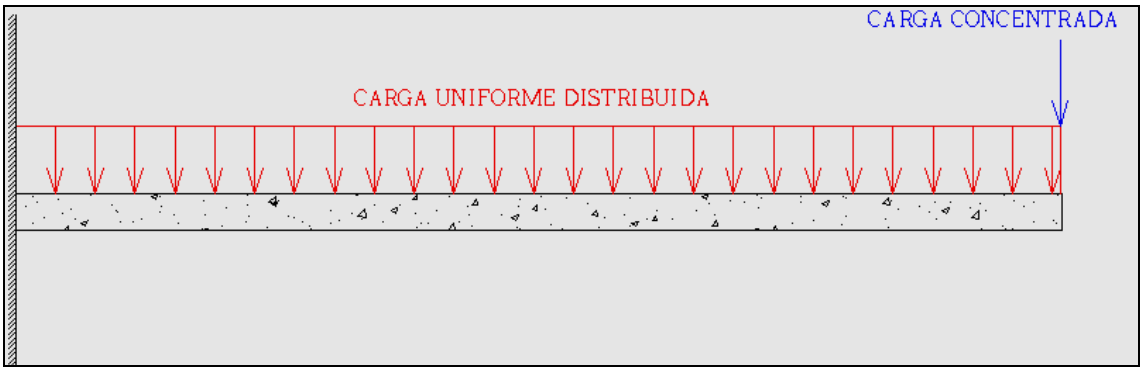


Figura 3 - Cargas atuantes na marquise

Segundo Araújo (2003), com o valor das cargas atuantes apenas por metro quadrado nas marquises, calcula-se o momento máximo e a força cortante máxima os quais serão na seção de engastamento. O momento máximo (X) e a força cortante (Q) respectivamente serão:

$$X = (q.l^2)/2 \qquad \text{(Equação 1)}$$

$$Q = (q.l) \qquad \text{(Equação 2)}$$

Onde: “q” é a carga atuante na marquise e “l" o comprimento.

Quando a marquise apresentar carga concentrada na extremidade, como é o caso de muretas, ou qualquer outro tipo de carregamento diferente, esses devem ser acrescentados aos momentos e aos esforços cortantes. Como por exemplo, uma carga concentrada na extremidade da marquise, no seu momento e na força cortante, deverá ser acrescentada respectivamente:

$$X = p.l \qquad \text{(Equação 3)}$$

$$Q = p \qquad \text{(Equação 4)}$$

Onde “p” é a carga concentrada na extremidade da marquise.

Com os valores do momento e do cortante dimensiona-se à área da seção transversal da armadura de tração necessária para suportar ambos. Para dimensionar essa seção de aço é

necessário ter adotado uma espessura para a laje, onde, segundo a NBR 6118 (2007), deve ser de no mínimo 7 cm, seja para lajes de piso ou em balanço, fck > 20 Mpa e deve-se considerar o recobrimento mínimo, de acordo com a Classe de Agressividade Ambiental na qual a estrutura será executada.

Segundo a NBR 6118 (2007), "todas as barras das armaduras devem ser ancoradas de forma que os esforços a que estejam submetidas sejam igualmente transmitidos ao concreto, seja por meio de aderência ou de dispositivos mecânicos ou combinação de ambos". Na região dos maiores momentos nas lajes, o espaçamento das barras da armadura principal não deve ser maior que 20 cm. Nas lajes armadas numa única direção, esse espaçamento não deve, também, ser maior que 2h. Quanto ao espaçamento das barras de distribuição, o mesmo não deve ser maior que 33 cm. O transpasse, quando necessário, deve ser de uma vez e meia o comprimento do vão de cálculo, para dentro da laje de piso onde ocorrerá a ancoragem, como mostram as Figura 4 e 5.

Apesar de não ser obrigatória e nem prevista por norma, a armação de composição, localizada na face inferior das marquises, quando região de compressão, deveria ser sempre utilizada, pois em uma provável queda brusca ela seria o elemento e sustentação, onde sustentaria a laje e impediria a queda da marquise, dando alguma sustentabilidade e segurança as pessoas que trafegam sob ela.

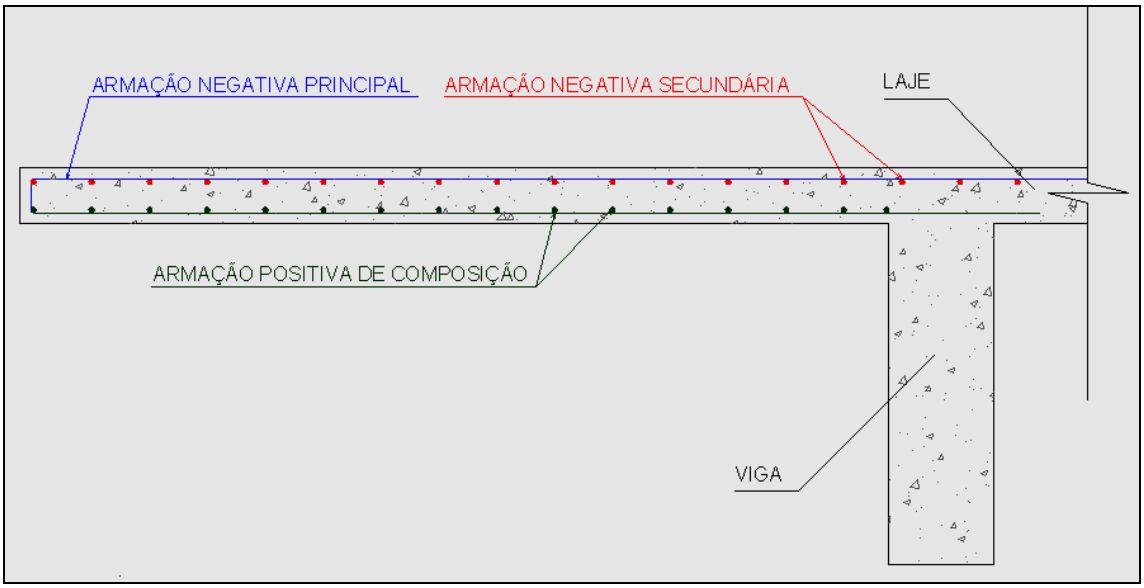


Figura 4 - Detalhe de uma marquise engastada em laje de piso

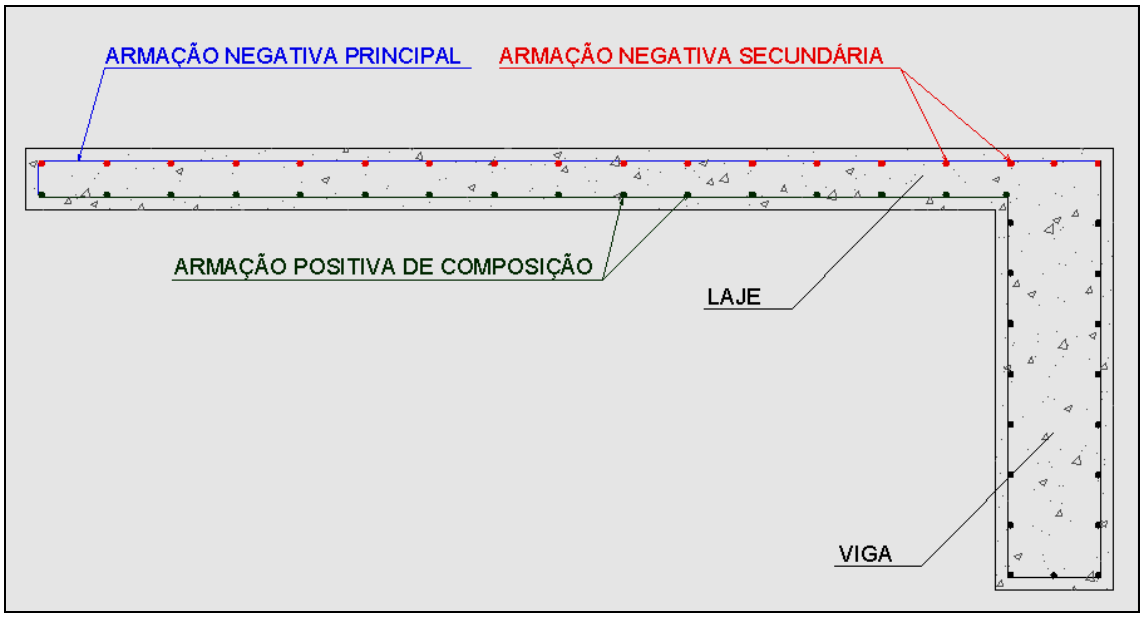


Figura 5 - Detalhe de uma marquise engastada em viga

2.3. Manifestações patológicas em marquises

Patologia é o estudo das doenças, causas, sintomas e origem, tendo a mesma definição quando se trata da patologia humana como das estruturas de concreto armado.

Helene (1992), diz que podemos entender patologia como a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis.

Já Helene (2003), acrescenta: "Os problemas patológicos podem ser atribuídos a: 40% em projetos; 28% em execução; 18% a materiais; 10% a mau uso e 4% ao mau planejamento", mostrando que 40% das patologias poderiam ser evitadas quando da gestão dos projetos, reduzindo os custos de manutenção e de recuperação.

Sabe-se ainda que a falta de qualidade dos materiais componentes do concreto também pode influir sobre suas características gerando anomalias. O concreto é um material formado por cimento, agregados, água e algumas vezes aditivos, portanto, os defeitos desses materiais podem influenciar, sobre as características mais importantes do concreto, que é a resistência mecânica, estabilidade e durabilidade. A resistência mecânica, a estabilidade e a durabilidade estão intimamente relacionadas com a homogeneidade e a compacidade e, estas duas características estreitamente relacionadas, dependem da qualidade da dosagem do concreto e da adequada tecnologia empregada em sua fabricação e manejo.

As patologias apresentam manifestações externas características e através desses sintomas podem-se determinar quais os mecanismos, causas e suas origens, e através de vistorias periódicas e ensaios pode-se chegar a um diagnóstico que venha a dar soluções para a recuperação e prolongamento da sua vida útil.

As marquises apresentam como os principais mecanismos de deterioração, os mesmos que são inerentes a todas as estruturas de concreto armado, sendo:

- Fissuração;

- Ataques químicos;
- Ataques físicos;
- Corrosão de armaduras;
- Defeitos devido à construção, concepção de projeto e detalhamento.

Para Jordy (2006), no seu trabalho Análise e Procedimentos Construtivos de Estruturas de Marquises com Propostas de Recuperação Estrutural, existe três grupos de patologias em marquises, conforme discriminado abaixo:

- Anomalias do concreto (fissuração, corrosão, lixiviação e demais processos físicos degenerativos);
- Anomalias provenientes das instalações de drenagem das águas pluviais e,
- Anomalias dos sistemas de proteção (como falhas de impermeabilização).

2.3.1. *Manifestações patológicas decorrentes de fissuração*

A presença de fissuras em estruturas de concreto armado não é, necessariamente, indicação de deficiência de sua resistência ou do seu funcionamento. A própria NBR 6118 (2007) fornece na Tabela 13.3, valores limites para a abertura característica (wk) das fissuras, visando garantir proteção adequada das armaduras quanto a corrosão.

Sendo as fissuras decorrentes das tensões atuantes na estrutura, provenientes do seu peso próprio e sobrecargas, como também, das movimentações devido a variação nas sobrecargas atuantes, nas movimentações térmica dos materiais ou dos demais componentes da estrutura, nas marquises pode-se dizer que as fissuras são provenientes das:

- Variações térmicas;

- Sobrecargas atuantes;
- Deformações;
- Retração
- Alterações químicas dos materiais.

Quando essas fissuras ultrapassam os limites estabelecidos na Tabela 13.3 da NBR 6118 (2007), elas passam a ser uma ameaça para a durabilidade das estruturas e o meio principal para a ocorrência de manifestações patológicas que agredi a estrutura e principalmente as armaduras.

2.3.1.1. *Fissuras provenientes das variações térmicas*

Cada material empregado no concreto armado têm o seu coeficiente de dilatação térmica, variando diferentemente entre si e de acordo com os efeitos da variação da temperatura do ambiente em que está aplicado, provocando alteração nas suas dimensões cada vez que ocorre uma dilatação ou contração. Tendo em vista a ocorrência desse movimento entre os materiais que compõem o concreto armado e a vinculação existente entre eles, termina por provocar o surgimento de tensões que podem levar ao surgimento de fissuras.

Segundo o Building Research Establishment (1979) as principais movimentações térmicas ocorrem em função de:

- Junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, sujeitos às mesmas variações de temperatura;
- Exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais;
- Gradiente de temperaturas ao longo de um mesmo componente.

As marquises, por viverem expostas ao tempo, encontram-se mais sujeitas as variações de temperatura como também ao teor de umidade. O aumento desse teor de umidade provoca a expansão dos materiais porosos, enquanto que a diminuição desse teor provoca uma contração. Igualmente aos efeitos ocasionados pela movimenta provocada pela dilatação térmica, os vínculos existente entre os materiais também buscam impedir ou restringir essas movimentações quando da variação do teor de umidade, ocasionando o surgimento de tensões que por sua vez pode provocar a fissuração da estrutura.

Para Thomaz (1989), essas mudanças no teor de umidade, conhecida como mudanças higroscópicas, provocam variações dimensionais nos materiais porosos que integram os elementos e componentes da estrutura.

As fissuras higroscópicas não são provenientes apenas da umidade do ar ou dos fenômenos metereológicos, mas também, podem ser resultantes da umidade dos componentes ou do processo de execução da estrutura.

2.3.1.2. *Fissuras devido a sobrecargas*

Nas marquises, como em qualquer estrutura, é previsto uma sobrecarga que vai atuar sobre a mesma e que poderá ocasionar fissuração dentro dos limites estabelecidos pela NBR 6118 (2007), sem desestabilizar a estrutura.

Thomaz (1989), diz que a ocorrência de fissuras em um elemento estrutural provoca uma redistribuição das tensões ao longo do componente fissurado, podendo atingir até os elementos a ele vinculados, passando essa solicitação externa a ser absorvida pela estrutura ou só por elementos dela.

Faz-se necessário então, ter conhecimento de como se apresentam essas fissuras na estrutura, podendo identificá-las visualmente, de modo que venha a distinguir a presença de alguma sobrecarga excedente as de cálculo e para que se consiga identificar com precisão causa(s) e

efeito e desenvolver análises consistentes, que incluam a mais correta determinação da configuração das fissuras, bem como da abertura da extensão e da profundidade das mesmas.

Classificadas as fissuras e de posse do mapeamento apresentado na Figura 6, pode-se dar início ao processo de determinação de suas causas, de forma a estabelecer as metodologias e proceder aos trabalhos de recuperação ou de reforço.

2.3.1.3. Fissuras por excesso de deformação

Deformação ou flecha é o deslocamento que ocorre no elemento estrutural, vigas e lajes, de modo natural, em virtude da ação do peso próprio, das sobrecargas, das cargas acidenteis e do efeito da retração e da deformação lenta do concreto.

Segundo Thomaz (1989), os elementos estruturais admitem flechas que podem não comprometer a estética, a estabilidade e a resistência da construção; tais flechas, entretanto, podem ser incompatíveis com a capacidade de deformação de paredes ou outros componentes que se encontram integrados a estrutura dos edifícios (Figura 6).

Já a NBR 6118 (2007), no item 13.3 estabelece deslocamentos limites e diz que: "Deslocamentos limites são valores práticos utilizados para a verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura."

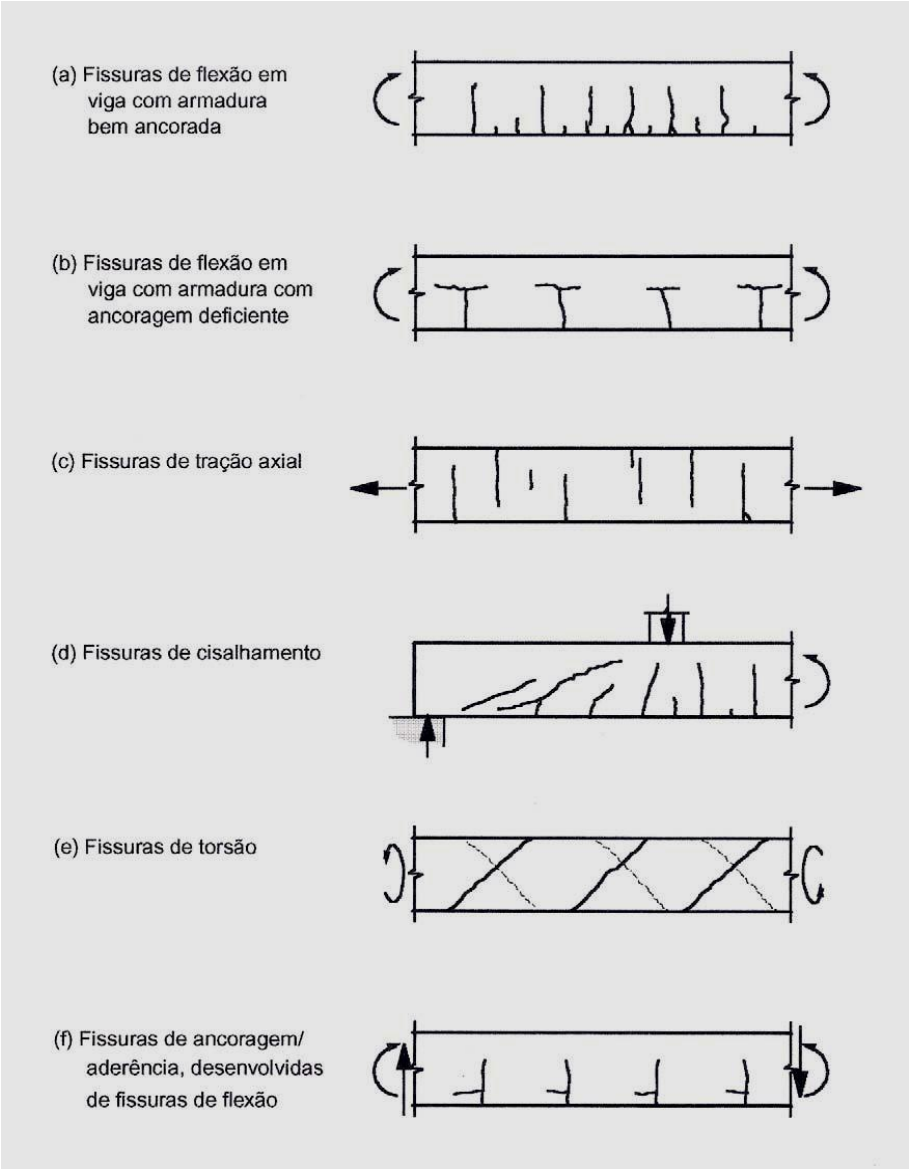


Figura 6 - Fissuras devido à carga imposta (Fonte: CEB, 1989).

Diz ainda que para os efeitos desta Norma, os mesmos são classificados em quatro grupos básicos a seguir relacionados, devendo obedecer aos limites estabelecidos na Tabela 13.2 (Tabela 2) da NBR 6118(2007):

- Aceitabilidade sensorial – é o limite caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável;

- Efeitos específicos – onde os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;

- Efeitos em elementos não estruturais – deslocamentos na estrutura ocasiona o mau funcionamento desses elementos.

- Efeitos em elementos estruturais – onde os deslocamentos podem afetar o comportamento estrutural desses elementos, fugindo da hipótese de calculo adotada e caso esse deslocamento seja relevante, o mesmo ocasionará efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura que devem ser considerados.

Tabela 2 - Limites para deslocamento (Fonte: NBR 6118, (2007))

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	ℓ /250
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	ℓ /350
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	ℓ /250[1)]
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	ℓ /350+ contraflecha[2)]
			Ocorrido após a construção do piso	ℓ /600
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	ℓ /500[3)] ou 10 mm ou θ = 0,0017 rad[4)]
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	ℓ /250[3)] ou 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação freqüente (ψ_1=0,30)	H/1 700 ou H_i/850[5)] entre pavimentos[6)]
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	ℓ /400[7)] ou 15 mm
	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	H_i/500
		Revestimentos colados	Ocorrido após construção do forro	ℓ /350
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após construção do forro	ℓ /175
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenação	H/400
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		

[1)] As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.

[2)] Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que ℓ /350.

[3)] O vão ℓ deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

[4)] Rotação nos elementos que suportam paredes.

[5)] H é a altura total do edifício e H_i o desnível entre dois pavimentos vizinhos.

[6)] Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos devido à atuação de ações horizontais. Não devem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica para o deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando H_i representa o comprimento do lintel.

[7)] O valor ℓ refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

NOTAS

1 Todos os valores limites de deslocamentos supõem elementos de vão ℓ suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.

2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor ℓ é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.

3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na seção 11.

4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

2.3.1.4. *Fissuras devido à retração*

Retração é redução de volume, no caso do concreto, a retração normalmente é causada por perda de água. Não existe, na verdade, um único tipo de retração e este é o maior complicador, pois ela pode acontecer desde os primeiros minutos de mistura do material ou ao longo da vida da estrutura. Por isso, dependendo da causa, recebe diferentes designações.

As fissuras ocorrem através de reações químicas ou físicas, normalmente durante o processo de endurecimento ou até quando o concreto está endurecido.

De acordo com Andrade (2005), o fenômeno da retração ocorre por conta das deformações nas pastas de cimento, argamassas e concretos, sem que haja qualquer tipo de carregamento, devido a perda de água da pasta de cimento.

Já Thomaz (1989), diz que os concretos e argamassas em função de se conseguir uma melhor trabalhabilidade são preparados com água em excesso, o que vem acentuar a retração.

É preciso que tenhamos conhecimento dos tipos de retração que podem ocorrer quando do preparo de concretos e argamassas, ou seja:

- Retração química: a reação química entre o cimento e a água se dá com redução de volume; devido as grandes forças interiores de coesão, a água combinada quimicamente (22% a 32%) sofre uma contração de cerca de 25% de seu volume original. Ela acontece em todos os concretos porque os produtos de hidratação do cimento têm menor volume que a soma dos volumes da água e do cimento que os formam. Ocorre desde os instantes antes da pega e se prolonga durante toda a hidratação, sendo bem mais intensa nos primeiros dias. Concretos com consumos de cimento mais elevados estão sujeitos a uma maior variação de volume e, portanto, têm mais chances de fissuração. Por ser um fenômeno que ocorre por igual em toda a massa de concreto e não apenas na superfície, as fissuras por retração química são bem mais profundas que as causadas por retração plástica e podem atravessar uma peça inteira;

- Retração por secagem: a evaporação da água excedente, que fica nos poros menores ou aderida aos cristais da pasta de cimento, causa o que é chamado de retração hidráulica ou por secagem. Este fenômeno acontece de fora para dentro da peça quando a umidade ambiente atinge valores baixos, próximos de 30%. As fissuras resultantes não costumam ser muito profundas, são irregulares e distribuem-se aleatoriamente, podendo ocorrer ao longo de anos.

- Retração por carbonatação: a cal hidratada liberada nas reações de hidratação do cimento reage com o gás carbônico presente no ar, formando carbonato de cálcio, esta reação é acompanhada de uma redução de volume.

Ainda há um quarto tipo de retração que ocorre quando o concreto está em seu estado fresco este se chama retração plástica.

A retração plástica é consequência da evaporação da água da superfície exposta do concreto (Figura 7). Este tipo de retração está ligado ao fenômeno da exsudação, ou seja, se a evaporação da água da superfície for mais rápida do que a exsudação, pode ocorrer fissuras superficiais, de pequena profundidade e normalmente espaçadas de 0,30 a 1,0m.

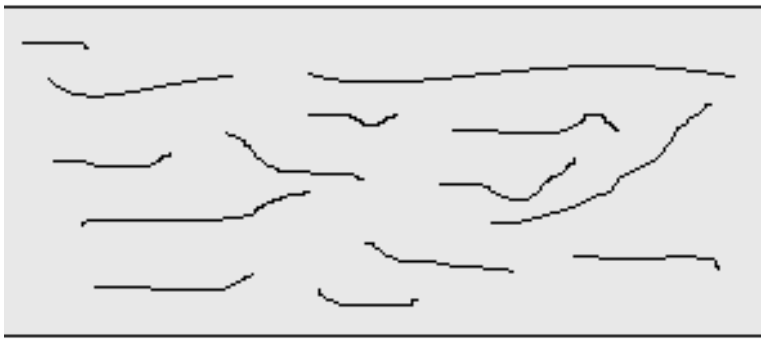


Figura 7 - Fissuras de retração plástica no concreto

Conforme Andrade (2005) a perda de água do concreto ainda não endurecido devido à exposição de sua superfície às intempéries como vento, baixa umidade relativa e aumento da temperatura ambiente podem levar concreto à fissuração.

Nem sempre é simples determinar qual a causa de uma retração, especialmente porque os diferentes tipos costumam ocorrer simultaneamente e a retração final acaba sendo uma somatória de cada um dos efeitos. Estudando o assunto mais profundamente é possível estimar as proporções da retração total e com isso dosar e executar o concreto de maneira a inibir fissurações.

2.3.1.5. *Fissuras devido alterações químicas dos materiais*

Os materiais de construção são susceptíveis de deterioração pela ação de substâncias químicas, principalmente as soluções ácidas e alguns tipos de álcool. A seguir serão enfocados três tipos de alterações químicas que se manifestam com frequência relativa:

- Retração retardada de cales: Segundo Cincotto (1975) no caso de fabricação de componentes ou elementos com cales mal hidratados, se por qualquer motivo ocorrer uma umidificação do componente ao longo de sua vida útil, haverá a tendência de que os óxidos livres venham a hidratar-se, apresentando, em consequência, um aumento do volume de aproximadamente 100%. Em função da intensidade dessa expansão poderão ocorrer fissuras, essas ocorrerão preferencialmente nas proximidades do topo da parede, onde são menores os esforços de compressão oriundos do seu peso próprio.

- Ataque por sulfatos: O aluminato tricálcico, um constituinte normal dos cimentos, pode reagir com sulfatos em solução formando um composto denominado sulfoaluminato tricálcico ou etringita, sendo que esta reação é acompanhada de grande expansão (Thomaz, 1989). Para que esta reação ocorra é necessária à presença de cimento, de água e de sulfatos solúveis. Os sulfatos poderão provir de diversas fontes, como o solo,

águas contaminadas ou mesmo componentes cerâmicos constituídos por argila com altos teores de sais solúveis. As marquises raramente apresentam este tipo de fissura tendo em vista que dificilmente entram em contato com íons sulfato.

- Corrosão de armaduras: Quando há corrosão das armaduras no interior do concreto, os óxidos que se formam são expansivos, gerando grandes tensões. Isto provoca o rompimento do concreto, com o aparecimento de fissuras e lascamento do concreto ao longo da armadura.

2.3.2. Manifestações Patológicas devido aos fenômenos químicos no concreto

Uma estrutura de concreto não está sujeito apenas aos fenômenos mecânicos e físicos, ela também sofre os efeitos dos fenômenos químicos e biológicos. Para Gentil (2007), os fenômenos biológicos, por provocarem decomposição química podem ser considerados como fenômenos químicos, pois os micro-organismos, principalmente aqueles criados por bactérias oxidantes de enxofre ou de sulfetos, as quais aceleram a oxidação dessas substancias para ácido sulfúrico, criam meios corrosivos para o concreto e armadura.

A degradação do concreto por ataque químico é, comumente, um resultado de ataque sobre a matriz do cimento mais que sobre os agregados. Nos processos de degradação, a água atua na maioria dos processo e reações deletérias como transporte de íons e substancias agressivas, como também, sendo reagente na formação de compostos salinos, ácidos e géis expansivos, entre outros (HELENE, 1993).

Para Castro (1994), a permeabilidade do concreto, caracterizada pela existência de poros, e a presença de fluídos agressivos são fatores determinantes nos efeitos dos ataques químicos, podendo ocorrer de duas formas: Dissolução, que é a lavagem de componentes solúveis, e Expansão, devido à formação/cristalização dos componentes.

Por maior que seja a complexidade das origens e causas da deterioração do concreto, pesquisadores buscaram dar uma visão das principais causas, classificando-as quanto à origem e de que modo contribuem para a deterioração do concreto, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Resumo das principais origens e causas da deterioração do concreto (Fonte: Andrade, 2005).

Origem da deterioração	Causa			Sintoma
Mecânica	Sobrecarga			Fissuração
	Impacto			
	Cargas cíclicas			
	Restrição à valores de volume sob gradientes normais de temperatura e umidade			
Física	Desgaste superficial	Atrito	Abrasão	Desgaste superficial
			Erosão	
		Cavitação		
	Cristalização de sais			Fissuração
				Escamamento
	Congelamento e degelo			Expansão
				Fissuração
				Escamamento
	Fogo			Expansão
				Fissuração
				Desidratação da pasta
Química	Lixiviação			Dissolução Decomposição química
	Troca iônica	Ação dos sais		
		Ação dos ácidos		
	Formação de compostos expansivos	Sulfatos de sódio, potássio, cálcio e magnésio		Expansão Fissuração Decomposição química
		Reação álcali-agregado		Expansão Fissuração
		Hidratação MgO e CaO		
	Corrosão de armaduras			Expansão Fissuração
	Biológica			Dissolução Decomposição química

Segundo Andrade (1992) os ataques químicos mais comuns são:

- Eflorescência;
- Ataque por sulfatos;
- Ataque por ácidos;
- Ataque por cloretos.

2.3.2.1. Eflorescências

A eflorescência pode aparecer nas peças de concreto após dias, semanas ou mesmo meses, são depósitos salinos que se formam na superfície, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas, deixando assim formações salinas na superfície dos materiais. Na maior parte dos casos as eflorescências não causam problemas maiores que o mau aspecto resultante, mas há circunstâncias em que o sal formado pode levar a, lesões tais como o descolamento dos revestimentos ou pinturas, desagregação das paredes e até queda de elementos construtivos (Scientific Commons, 2006).

Foto 9 - Eflorescência em grande parte da marquise.

Os sais solúveis que dão origem às eflorescências podem ter várias origens, dentre elas as matérias-primas, os materiais de construção, a água existente no subsolo, etc. Na maioria dos casos as eflorescências em materiais de construção são causadas por sais de cálcio, de sódio, de potássio, de magnésio ou de ferro, raramente por outros. E também na maioria dos casos esses sais já fazem parte integrante do material de construção que, ao ser atravessado pela umidade, os dissolve na água.

A eflorescência é um processo natural, a água, tendo entrado pelos poros capilares, dissolve o hidróxido de cálcio da pasta de cimento. O hidróxido de cálcio dissolvido pode, em seguida, reagir com o dióxido de carbono do ar para formar carbonato de cálcio insolúvel na superfície do concreto. Visto que um filme de água normalmente também está presente na superfície do concreto, na maioria dos casos toda a superfície ficará coberta por carbonato de cálcio, que são as manchas. O sal também pode se formar quando a água reúne dois ou mais compostos diferentes que reajam entre si. Para que ocorra a eflorescência há sempre uma constante necessidade de umidade, sendo por isso a sua correção implicar na eliminação da umidade.

As eflorescências podem possuir manchas de cor castanhas, ou de ferrugem, que é o tipo de mancha mais comum do concreto armado, ela aparece quando há pouco recobrimento da armadura, ou quando o concreto é muito poroso, ou quando o aço entra em contato com substancias oxidantes, como os ácidos inorgânicos. Podem possuir também Manchas brancas, com aspecto de nuvem, pulverulentas, geralmente são causadas por sulfatos (de sódio, de potássio, cálcio ou magnésio), elas são bastante e facilmente solúveis em água e não desagregam dos materiais. A maior lesão é o, mau aspecto e depreciação, descolamento de pinturas, mas nem sempre por que às vezes a umidade como o sal atravessa também a pintura. Quando o sal é depositado por atmosferas industriais, ou vem do solo junto com a água de capilaridade, nesse caso a deposição será permanente. Podem ocorrer também manchas de cor branca escorrida, ela não é solúvel em água e é muito aderente, são manchas de carbonato de cálcio, comumente formado pela reação do hidróxido de cálcio (nata de cal) com o gás carbônico do ar, essas manchas não corroem o material, dão um péssimo aspecto e podem causar o descolamento dos revestimentos ou pinturas, porque o sal é mais grosso que os sulfatos.

2.3.2.2. *Ataque por sulfato*

Os fatores que influenciam o ataque por sulfato são: a quantidade e natureza do sulfato presente, o nível da água e sua variação sazonal, o fluxo da água subterrânea e a porosidade do solo, a forma de construção e a qualidade do concreto; são fatores externos e fatores que dependem de especificações construtivas.

A bibliografia registra inúmeros acidentes causados pelo ataque de sulfatos e a literatura técnica recomenda que, para um concreto com peso normal, uma relação água/cimento mais baixa deva ser usada para estanqueidade ou para proteção contra a corrosão; para condições de ataque muito severas, exige- se o uso de cimento Portland resistente a sulfato, uma relação água/cimento máxima de 0,45, um consumo mínimo de cimento de 370 kg/m^3 e uma camada protetora de concreto.

A literatura existente indica medidas preventivas, qualidade construtiva e camadas protetoras, não tendo sido localizadas diretrizes para recuperação.

2.3.2.3. *Ataque por ácidos*

O pH do concreto situa-se entre 12,5 e 13,5 e pode-se considerar qualquer substância com pH inferior a estes valores como um possível agressor do concreto. Na prática admite-se que apenas substâncias com pH inferior a 6 agindo sobre concretos de alta permeabilidade são agressivas, uma vez que o grau de agressividade depende tanto do pH do fluido quanto da permeabilidade. O ataque por ácidos fortes pode causar a deterioração das camadas superficiais do concreto. (METHA, 1994)

Em grandes centros urbanos, um dos principais processos de deterioração do concreto é pela ação da chuva ácida. Os poluentes presentes na chuva ácida são produzidos pela combustão

de carvão mineral, petróleo e seus derivados. São principalmente o dióxido de enxofre e o dióxido de nitrogênio. Em contato com o vapor d'água da atmosfera, esses poluentes podem ainda produzir outras substâncias por meio de reações químicas.

O dióxido de enxofre, por exemplo, reagindo com a água, pode formar o ácido sulfúrico. O dióxido de nitrogênio, por sua vez, pode produzir o ácido nítrico. O pH da chuva ácida é de 4,0 a 4,5, sendo que pode chegar a extremos de 2,5. (OLIVEIRA, 2002).

2.3.2.4. *Ataque por cloretos*

Nas marquises a maior preocupação quanto ao ataque químico nas estruturas é através da névoa salina com alto teor de íons cloretos que se infiltram nas marquises provocando corrosão das armaduras. A ação desta névoa salina é intensificada pela proximidade com mares e oceanos. Como Recife é uma cidade litorânea abaixo do nível do mar, a presença de cloretos nas estruturas é bastante comum. A Figura 8 mostra de forma esquemática o problema da ação dos cloretos associado às fissuras nas marquises.

0 agente agressivo mais comum nas estruturas de concreto armado é o cloreto (íon Cl^{-}) que pode ter sido adicionado involuntariamente ao concreto, a partir de aditivos aceleradores de endurecimento, agregados e águas contaminadas ou até a partir de tratamentos de limpeza (como, por exemplo, o ácido muriático).

A grande maioria dos aditivos aceleradores de pega e endurecimento tinham na sua composição cloreto de cálcio ($CaCl^2$). Esse sal dissolve, liberando ânions Cl^{-} que podem destruir a película passivadora proporcionada pelo meio alcalino, e acelerar permanentemente a corrosão sem consumirem-se, concentrações de cloretos iguais ou superiores a 700 mg/l despassivam o aço imerso em água de cal (pH = 12,5), além de reduzirem significativamente a resistividade do concreto.

O teor de cloretos prejudiciais à armadura de concreto armado não é uniforme, conforme literatura técnica. As recomendações normativa é de 0,02% para concreto armado, em relação à massa de cimento usada no preparo do concreto. Esses teores, por si mesmos não deveriam ser empregados em estruturas de concreto armado, segundo as recomendações da NBR-6118 (2007), que limita em 500 mg/l a concentração total de cloretos, expressa em íons Cl^{-} , na água de amassamento.

Na realidade, o problema de corrosão é bastante complexo, envolvendo uma série de outros fatores que fazem com que ora ocorra corrosão e ora não ocorra, para teores iguais de cloretos. Um dos fatores que parece alterar as condições que favorecem a corrosão é a migração por ação de secagem, molhagem alternada, temperaturas, aeração diferencial etc. dos íons Cl^{-} na massa de concreto. Essa migração pode gerar diferenças de concentração e aí sim, pequenos teores concentrados podem ser mais perigosos que altos teores homogênea e uniformemente distribuídos. Ocorre estrutura fortemente atacada por corrosão, onde o teor de cloretos medido no produto de corrosão é de apenas 0,3% da massa de cimento.

Outro fator que minora o efeito da ação agressiva dos cloretos pode ser a sua capacidade de combinação com os aluminatos. A difusão dos cloretos na massa de concreto geralmente é retardada pela formação de cloroaluminato de cálcio, pouco solúvel. Essa reação reduz a concentração de cloretos livres e favorece a proteção das armaduras.

Daí o fato já consagrado de que cimentos com altos teores de aluminato tricálcico (C^3A) serem os mais indicados quando se está diante da presença inevitável de cloretos.

Os agregados de regiões próximas ao mar e águas contaminadas, ou salobras, também podem conter cloretos, na maioria das vezes sob a forma de cloreto de sódio (NaCl). Os teores admissíveis são da mesma ordem que para $CaCl^2$, pois as exigências são sempre em relação ao ânion Cl^{-} .

Finalmente, os cloretos podem ser incorporados ao concreto, involuntariamente, através de tratamentos superficiais de limpeza com ácido muriático, que nada mais é do que um ácido clorídrico comercial (Figura 8).

Na experiência desse autor foi comum esse tipo de acontecimento, pois a maioria das recomendações de fabricantes de pastilhas e pisos aconselha limpeza com ácidos. Sempre que houver risco de impregnação dessa solução na estrutura de concreto e quase sempre o há, deve-se estudar outra forma de limpeza ou prever, por ocasião do projeto e execução, o concreto e o cobrimento de armadura mais adequados.

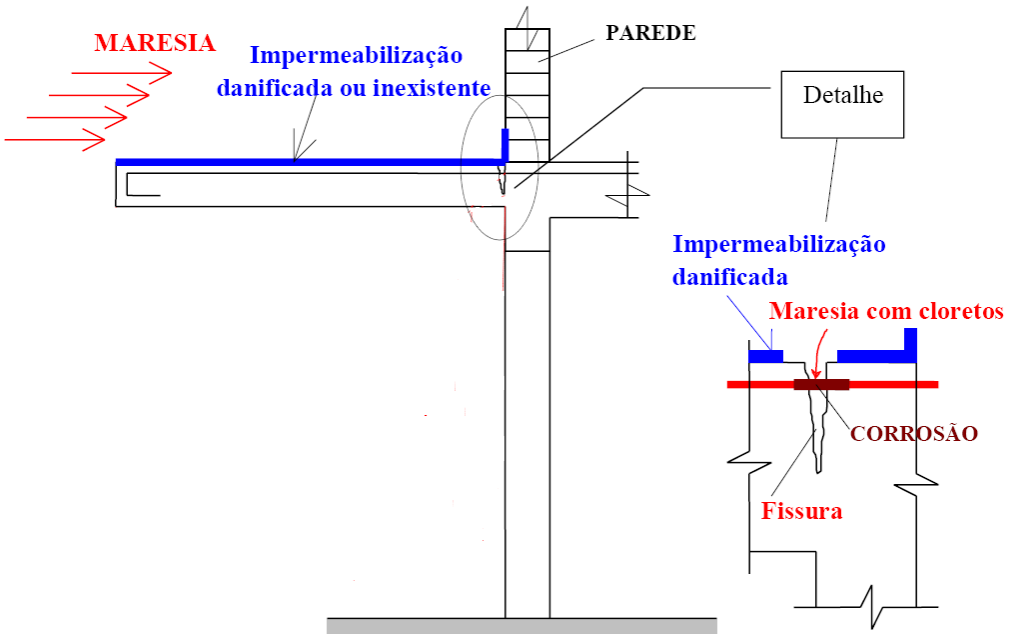


Figura 8 - Ataque de íons cloreto na estrutura de uma marquise (Fonte: IME – Instituto Militar de Engenharia, 2008).

2.3.3. *Ataques Físicos*

Segundo Souza (1998) as causas intrínsecas ao processo de deterioração da estrutura são as resultantes da ação da variação da temperatura externa, da insolação, do vento e da água, esta última sob a forma de chuva, gelo e umidade, podendo-se ainda incluir as eventuais solicitações mecânicas ou acidentes ocorridos durante a fase de execução de uma estrutura.

De acordo com Clímaco (1990) e Cánovas (1992) as principais causas físicas que podem produzir danos importantes no concreto são:

- Ações dos ciclos de congelamento/descongelamento: A água ao congelar-se sofre um aumento no seu volume da ordem de 9%. Se ela penetrar nos poros abertos do concreto e os saturar, existirá o perigo de que o incremento de volume de água congelada crie pressões internas no concreto que podem provocar fissuras e escamações. Esse fenômeno não ocorre no Brasil.

- Erosão por abrasão: A erosão por abrasão, em geral, ocorre por forte contato e atrito de corpos ou partículas rígidas com a superfície do concreto. A abrasão pode ser motivada pela passagem de veículos, deslocamento de material solto sobre canalizações, etc. também pode ser motivada por ações de partículas pesadas suspensas na água e circulando com grande velocidade, como ocorre em canalizações e estruturas marinhas, etc.

2.3.4. *Corrosão das Armaduras*

Quando o concreto se combina com o cimento, a água, o agregado, e se necessário com aditivos, seus diversos componentes se hidratam formando um conglomerado sólido. O concreto resulta, portanto, em um sólido compacto e denso, porem poroso. A rede de poros permite que o concreto apresente certa permeabilidade aos líquidos e gases. Mesmo que o cobrimento das armaduras seja uma barreira física, esta é permeável, em certa medida, e permite o acesso de elementos agressivos.

A mais generalizada das manifestações patológicas do concreto é a corrosão das armaduras, principalmente em peças de concreto aparente. A corrosão do aço é a sua transformação em $Fe(OH)^n$, onde pode ser o $Fe(OH)^2$ que é o hidróxido ferroso ou hidróxido de ferro II e também pode ser o $Fe(OH)^3$ que é o hidróxido férrico ou hidróxido de ferro III. Este

hidróxido é a ferrugem, material fraco e, pulverulento ou escamado, que não tem aderência ou coesão, e aumenta de volume à medida que se forma até alcançar de oito a dez vezes o volume do aço que lhe deu origem.

A corrosão da armadura do concreto é a interação destrutiva de um material com o ambiente que pode ser por processo químico ou eletroquímico. Basicamente, são dois os processos principais de corrosão que podem sofrer as armaduras de aço para concreto armado: a oxidação e a corrosão propriamente dita.

O concreto nas primeiras idades e nos de mais idades, a armadura está em meio alcalino ideal e, portanto o aço está em forma passiva: entretanto, por diversas causas, esta passividade pode desaparecer em pontos localizados, que seria a corrosão localizada ou sob tensão; ou desaparecer completamente, que seria a corrosão generalizada. Para que haja perda da passividade e se inicie a corrosão do aço, é preciso que apareçam causas que possibilitem a criação de correntes elétricas de suficiente diferença de potencial para gerar uma pilha que desencadeie o processo corrosivo.

Os fatores desencadeadores da corrosão localizada que dão origem a ânodos nos quais se produzem a corrosão podem ser muito variados. Alguns, às vezes, não originam suficiente diferença de potencial para produzir uma corrosão e esse é o caso da heterogeneidade estrutural criada pelo dobramento de armaduras, ninhos de pedra em contato com barras, diferenças de concentração de pasta ao seu redor, etc.; outros pelo contrário, podem produzir diferenças de potencial suficientemente altas para por em perigo a passividade e entre elas podemos distinguir os cloretos, sulfatos e sulfetos na massa do concreto, entre outros.

Quando há corrosão acentuada, o primeiro efeito é o aparecimento de manchas avermelhadas na superfície do concreto. O segundo e bem, mas grave, é consequência da expansão, que pressionando o concreto e, com o tempo, o faz estourar. Outro efeito é o descolamento da armadura.

2.3.5. *Bolor e Limo*

O bolor (mofo) é a manifestação de micro vegetais (micro algas), que são fungos que se alimentam de materiais orgânicos. O lugar onde eles costumam aparecer é onde há ambientes úmidos por condensação e onde não haja água corrente, ambiente ideal para sua proliferação. O resultado da proliferação são manchas escuras, há também fungos que podem apresentar manchas de cores esverdeada, branca, avermelhada, etc., devido ao tipo de reação química ou devido à deposição de esporos, que são as sementes dos fungos, ou ainda devido à cor do próprio fungo, quando visível.

De acordo com Verçoza (1991), os fungos são vegetais inferiores, que não tem clorofila. A clorofila é responsável pela decomposição das substancias orgânicas mais complexas para transformá-las em mais simples, onde as mesmas servem de alimento para o vegetal. Como os fungos não possuem clorofila, suas raízes segregam enzimas que fazem à decomposição. Essas enzimas funcionam como um ácido sobre o material onde cresce o fungo, o material é atacado e queimado (Fotos 10 e 11). Há então o surgimento de manchas e, numa idade mais avançada, desagregação da superfície. Os fungos têm preferência por bases orgânicas, frestas e fissuras.

Foto 10 - Bolor (mofo) em marquise.

Foto 11 - Limos em estruturas de marquises.

Os fungos podem se desenvolver em qualquer tipo de material, com, por exemplo, cerâmica, vidro, concreto, argamassa, entre outros, já que os mesmos necessitam de pouco alimento, e nem sempre se alimentam do próprio material onde crescem eles podem se alimentar de partículas depositadas com o pó.

Já os limos, são vegetais microscópicos, mas não atacam diretamente o substrato, no entanto causam um mau aspecto, possuem cor verde e podem causar o desagregamento lento das argamassas pela pressão de suas raízes entre os grãos e poros.

2.3.6. *Umidade*

A umidade do ar é o nome dado ao vapor de água existente na atmosfera que varia de acordo com a temperatura e a pressão do clima. A umidade não é visível a olho nu, necessita-se de aparelhos como o higrômetro para observá-la, mas ao saturar, o ar provoca alterações visíveis como é o caso de nevoeiros e neblinas. A umidade pode ser expressa em números absolutos (g/m^3) e relativos (%) onde os relativos se sobressaem. Quando usado sob forma relativa, aponta para capacidade limite que o ar possui que o permite reter o vapor de água. No inverno, a umidade relativa do ar é bem baixa causando ar seco. Já no verão, a umidade do ar é mais alta. (Cabral, 2009).

As manifestações patológicas mais comuns nas construções são as penetrações de água ou as formações de manchas de umidade, os quais são muito frequentes e trazem consequências bastante graves, seja pela aparência, como também pelas características da estrutura.

A umidade é a causa ou o meio necessário para o aparecimento da grande maioria das manifestações patológicas em construção. Ela é indispensável para o aparecimento de mofo, eflorescência, ferrugem, perda de pintura, de rebocos e ate causa de acidentes estruturais.

Em infiltrações é difícil encontrar a causa de sua origem, sendo as mesmas difíceis de corrigir. Nas impermeabilizações os pontos de vazamentos geralmente estão ocultos; nos telhados, os

vazamentos muitas vezes dependem das condições de vento, intensidade da chuva, etc. Essas origens podem ser devido a chuvas, construção, capilaridades, condensação e vazamentos em redes de água, esgotos e pluviais.

De acordo com Verçoza (1991), a umidade que surge devido à construção é aquela proveniente da água necessária para o concreto, argamassa, entre outros; já na umidade por capilaridade é aquela que sobe do solo, sendo para as mesmas necessários canais capilares, que é o caso de tijolos, concreto, etc. As umidades devido à infiltração de chuvas são as mais comuns. No caso de vazamentos em redes de água, esgotos e pluviais são difíceis de serem encontradas já que as mesmas encontram-se encobertos pela própria construção. A umidade de condensação é a água que esta no meio ambiente e se deposita nas superfícies (Foto 12).

Foto 12 - Infiltração em quase toda a área da marquise.

2.3.7. *Anomalias Devido a Projeto e Execução*

Segundo Clímaco (1990) os problemas que mais causam defeitos nas estruturas são:

- Arranjo estrutural inapropriado;
- Insuficiência ou inadequação das armaduras e detalhamento;
- Qualidade do concreto inadequado;
- Geometria inapropriada.

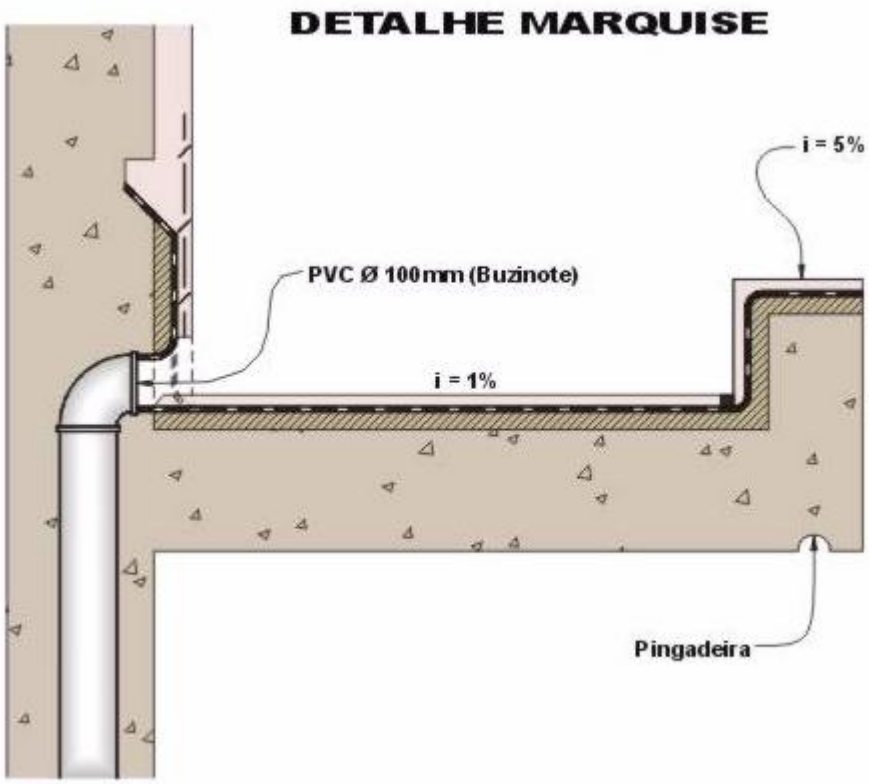


Figura 9 - Sistema de Drenagem de águas pluviais em Marquises. (JORDY; MENDES, 2006)

É importante que se perceba que a maioria das manifestações patológicas descritas anteriormente poderia ser evitada se durante a fase de projeto, fossem previstos os principais problemas que a marquise poderia apresentar, como por exemplo, o acesso para a limpeza e desobstrução do sistema de drenagem (Figura 9). E ainda, se na execução houvesse uma maior preocupação com a produção de concreto de boa qualidade, armação da ferragem e impermeabilização da marquise.

3. METODOLOGIA DAS INSPEÇÕES E DOS ENSAIOS

3.1. Introdução

Conforme a ABNT NBR 6118 (2007), no item 25.4; “Manual de utilização, inspeção e manutenção”, para garantir a vida útil prevista para a estrutura, são necessários requisitos básicos para a utilização e manutenção preventiva, conforme a NBR 5674 (1999) (Manutenção de edificações – Procedimento), sendo assim, faz-se necessário a execução de inspeções.

De acordo com Nepomuceno et. al. (1994), indicam que o sistema recomendado para uma avaliação estrutural deve ser realizado por etapas de forma que nenhum problema ou manifestação patológica passe despercebido.

O fluxograma da Figura 10 apresenta a rotina de inspeção em estrutura de concreto utilizada como guia para o levantamento dos dados das marquises. Associado a essa rotina foram realizados ensaios destrutivos e não destrutivos para compor o arcabouço informativo necessário há um maior embasamento ao diagnostico e estado de conservação.

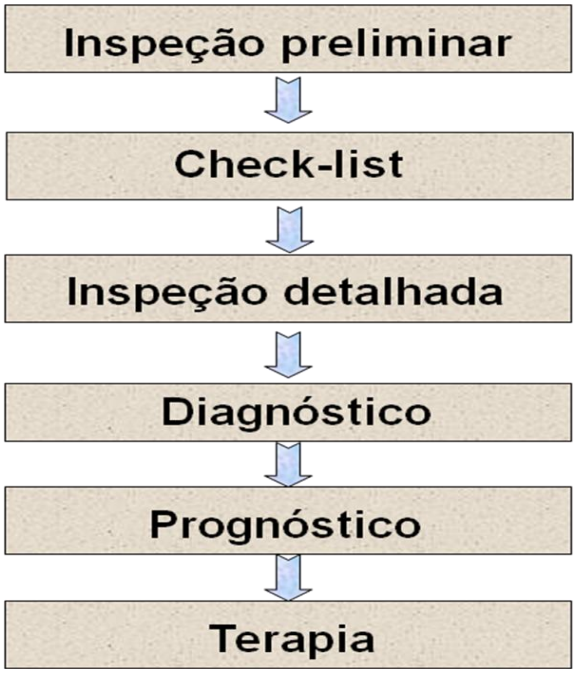


Figura 10 - Atividades envolvidas na rotina de inspeção (Fonte: CASTRO, 1994)

Conforme Castro (1994) a inspeção visual consiste em uma importante etapa para a determinação dos agentes patológicos que atuam na estrutura degradando-a, e ainda, em muitos casos, quando as manifestações patológicas já estão perfeitamente definidas, não há a necessidade de se fazer inspeções mais aprofundadas, visto que o diagnóstico já está concluído.

3.2. Inspeção Preliminar

Esta inspeção deve permitir a definição da natureza e causa do problema, incluindo:

- Inspeção visual da estrutura da marquise, realizando um levantamento fotográfico com o objetivo de registrar os sintomas e a natureza dos problemas encontrados nas marquises.

- Anotação de todos os sintomas visuais (como auxilio de um check-list).
- Identificação da agressividade do ambiente (fraca, moderada, forte ou muito forte), conforme a Tabela 6.1 da NBR 6118 (2007) – Classe de Agressividade Ambiental.
- Análise visual das armaduras já expostas, fotografando as áreas de desagregação do concreto e tomando nota da espessura do cobrimento nominal, da redução do diâmetro da armadura, da quantidade de cor dos óxidos e dos aspectos gerais do concreto.

3.3. Inspeção Detalhada

Conforme Jordy (2006), que fundamentou uma proposta detalhada a partir do êxito das inspeções realizadas em marquises da Cidade do Rio de Janeiro e que apresentou uma proposta de metodologia de inspeção tipicamente focada na vistoria de marquises, executou-se as visitas às marquises adotando-se alguns pontos principais descritos nessa metodologia, conforme estão citados abaixo:

- Localização e Descrição
- Levantamento Geométrico
- Estado Geral de Impermeabilização
- Situação do Sistema de Drenagem
- Comprometimento e Disposição das Armaduras
- Diagnostico
- Prognóstico
- Terapia

3.4. Caracterização do meio ambiente

Segundo Lima (2005), para a realização dos estudos da durabilidade e conservação das estruturas de concreto será necessário conhecer o meio ambiente onde as mesmas estão inseridas, pois este meio pode fazer com que a estrutura tenha sua vida útil reduzida significativamente. Os ambientes encontrados no Centro da cidade do Recife e que são abordados neste projeto de pesquisa são o urbano e o marinho.

O centro da cidade do Recife é caracterizado como um meio ambiente urbano, possui uma grande concentração populacional em uma área pequena, resultando em uma elevada densidade demográfica. O centro da cidade possui intenso tráfego de automóveis, principalmente de ônibus, para onde a maioria das linhas do transporte público converge. Nesta área existe uma grande concentração de gás carbônico na atmosfera, substância responsável pela carbonatação dos concretos e consequente despassivação das armaduras.

A maioria dos autores, como Duracrete (1990) e Mehta (1980), e códigos de normalização apresentam o ambiente marinho dividido em quatro zonas, que são: zona de atmosfera marinha, zona de respingo, zona de variação de marés e zona submersa.

As marquises do Centro do Recife sofrem influência da zona de atmosfera marinha, e nesta zona, apesar das marquises não estarem em contado direto com a água do mar, os ventos pode carregar uma quantidade razoável de sais, formando depósitos salinos na superfície do concreto. Os sais, como por exemplo, os cloretos, são carregados na forma de partículas sólidas ou como gotas de solução salina, onde interagem com os ciclos de molhagem e secagem da superfície da marquise, penetram a estrutura, atingem as armaduras, gerando assim a corrosão das armaduras pela ação dos íons cloreto.

Segundo Meira (2004) a concentração de cloretos vai diminuindo à medida que aumenta a distância do mar, de acordo com a Tabela 4. Foram estudados os estados de conservação de marquises de edificações locadas nos três intervalos de distâncias apresentados na mesma

Tabela. O centro do Recife apresenta um meio ambiente de transição, onde o ambiente marinho vai até aproximadamente 700 m da orla, dando lugar ao ambiente urbano.

Tabela 4 - Faixas de agressividade, com base na vida útil das estruturas. (Fonte : MEIRA, 2004)

Faixas de agressividade		Distâncias aproximadas** m
Nível de agressividade	Vida útil máxima* (anos)	
Elevada	Até 3 (cob = 10mm) e 17 (cob = 20mm)	Até 130
Moderada	entre 24 (cob = 10mm) e 50 (cob = 20mm)	Entre 130 e 700
Mínima	Superior a 24 (cob = 10mm) e 50 (cob = 20mm)	Acima de 700

* Para os diversos cobrimentos e materiais estudados.

** Nota: cabe aqui ressaltar que essas distâncias não podem ser extrapoladas para todo o litoral brasileiro, mas servem como referência. Isso se deve aos distintos regimes de ventos, distribuição de umidades relativas e temperatura, por exemplo.

3.5. Classes de Agressividade Ambiental

Hoje em dia, a durabilidade das estruturas de concreto deve ser relacionada com os parâmetros contemplados pela NBR 6118 (2007). Entretanto, muitas marquises referentes como objeto de estudo da pesquisa foram projetadas e construídas antes da criação desta norma. A norma NBR 6118 entrou em vigor em 1978, mas muitas das edificações do centro do Recife foram projetadas e executadas em outras décadas, anteriores a de 80. Quando da revisão da NBR 6118 em 2003, resultou em outra forma de classificação de ambientes e de recomendações para o concreto de acordo com cada ambiente.

O Capítulo 6 da NBR 6118 (2007), Diretrizes para a durabilidade das estruturas de concreto, classifica a agressividade ambiental do meio onde a estrutura está inserida de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5- Classes de Agressividade Ambiental (Fonte: NBR 6118, (2007)).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

As marquises das edificações do Centro da cidade do Recife estão inseridas em um meio ambiente Marinho e Urbano. Neste estudo de caso, não se pode admitir uma classe de agressividade mais branda, pois as estruturas em análise estão em ambiente externo e a umidade relativa do ar é maior que 65%.

Devido às características do ambiente, as marquises do centro do Recife, se enquadram na Classe de Agressividade Ambiental III, e na Classe de Agressividade Ambiental II quando as edificações estão a mais de 700 metros do mar, conforme Meira (2003). A Classe de Agressividade Ambiental II possui ambientes de agressividade moderada e risco pequeno de deterioração da estrutura. Já a classe de agressividade ambiental III possui ambientes de agressividade forte e grande risco de deterioração da estrutura. No meio ambiente do Centro da

cidade do Recife à medida que as edificações se afastam do litoral diminuem a agressividade do meio e a deterioração das estruturas.

3.6. Classe de agressividade, a qualidade do concreto e o cobrimento

A NBR 6118 (2007) também possui aspectos que relaciona à classe de agressividade do ambiente, à qualidade do concreto de cobrimento e a espessura desse cobrimento.

A Tabela 6 indica que a classe de agressividade II, na qual se encontram a maioria das marquises das edificações estudadas, deve possuir estruturas com a relação água / cimento em massa do concreto armado menor ou igual a 0,60. Além disto, a Tabela 03 indica que o concreto armado deve ter resistência à compressão maior ou igual a 25 Mpa. Para as marquises que estão locadas no ambiente de classe de agressividade III a relação água / cimento em massa do concreto armado deve ser menor ou igual a 0,55 e devem ter a resistência a compressão maior ou igual a 30 Mpa.

Tabela 6 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto (Fonte: NBR 6118, (2007)).

Concreto	Tipo	Classe de Agressividade (Tabela 2.2)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento	CA	≤0,65	≤0,60	≤0,55	≤0,45
	CP	≤0,60	≤0,55	≤0,50	≤0,45
Classe de Concreto	CA	≥C20	≥C25	≥C30	≥C40
	CP	≥C25	≥C30	≥C35	≥C40

NOTAS:

1. O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na NBR 12655.
2. CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
3. CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

A Tabela 7 apresenta uma correspondência entre a Classe de Agressividade Ambiental e o cobrimento nominal. As marquises de concreto armado são classificadas como laje em balanço, portanto, devem ter 25 mm de cobrimento nominal para aquelas que se encontram na classe de agressividade II e 35 mm para as que se encontram na classe de agressividade III. A não disponibilidade dos projetos estruturais destas edificações impossibilita a verificação do cobrimento nominal das marquises. Porém, divido ao alto grau de deterioração de algumas estruturas, que chegam a deixar as ferragens das armaduras expostas, é possível medir o cobrimento destas estruturas 'in loco'.

Tabela 7 - Correspondência entre Classe de Agressividade Ambiental e cobrimento nominal para Δc = 10 mm (Fonte: NBR 6118, (2003)).

Tipos de estruturas	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV[3)]
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje[2)]	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido [1)]	Todos	30	35	45	55

[1)] Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

[2)] Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfalticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídos por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15mm.

[3)] Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45mm.

Nota: Δc - Tolerância de execução para o cobrimento.

Cobrimento Nominal é a espessura mínima de concreto entre a superfície da armadura e a periferia da peça de concreto armado. As ferragens da armadura devem estar separadas da

atmosfera, meio ambiente agressivo, em todas as direções, no mínimo, pelo Cobrimento Nominal. A função do Cobrimento é, justamente, proteger a ferragem do concreto armado da agressividade do ambiente.

O Cobrimento Nominal insuficiente facilita a entrada de substâncias agressivas, como: oxigênio, íons cloreto, dióxido de carbono, entre outras. Estas substâncias causam a despassivação, corrosão e deterioração das armaduras reduzindo a vida útil das estruturas. Uma das mais importantes contribuições da NBR 6118 (2007) é relacionar o cobrimento com a classe de agressividade, tendo em vista aumentar a durabilidade e a vida útil das estruturas de concreto armado.

3.7. Ensaios

3.7.1. *Potencial de Corrosão*

Conforme Cascudo, (1997), o ensaio de potencial de corrosão, quando se utiliza o eletrodo de cobre/sulfato de cobre, é normalizado pela American Society of Testing Materials, na ASTM C 876 (1991) e executado conforme esquema apresentado na Figura 11.

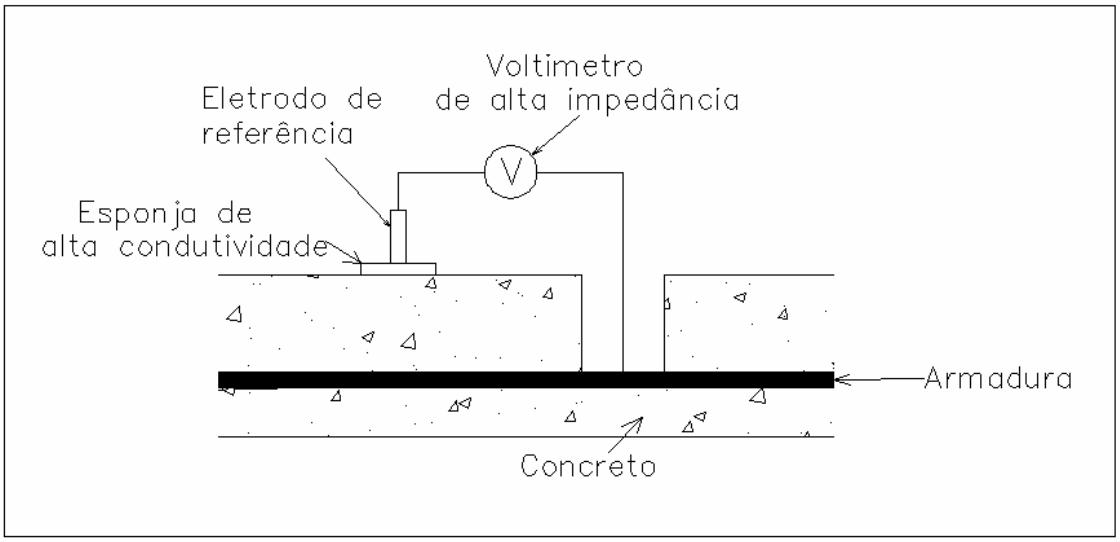


Figura 11 - Esquema do ensaio de potencial de corrosão (Fonte: OLIVEIRA, 2002)

A finalidade desse ensaio é de:

- Fornecer Informações qualitativas da situação da superfície da armadura e se ela está em estado de corrosão ou passividade;
- Executar uma monitoração no tempo, tem-se a indicação de quando a armadura passou do estado passivo para a corrosão, ou vice-versa; e
- Delimitar as áreas comprometidas da estrutura, por analise dos mapas de potenciais.

Assim, áreas com potenciais mais negativos são associadas a áreas anódicas e áreas com potenciais mais positivos a áreas catódicas ou passivadas.

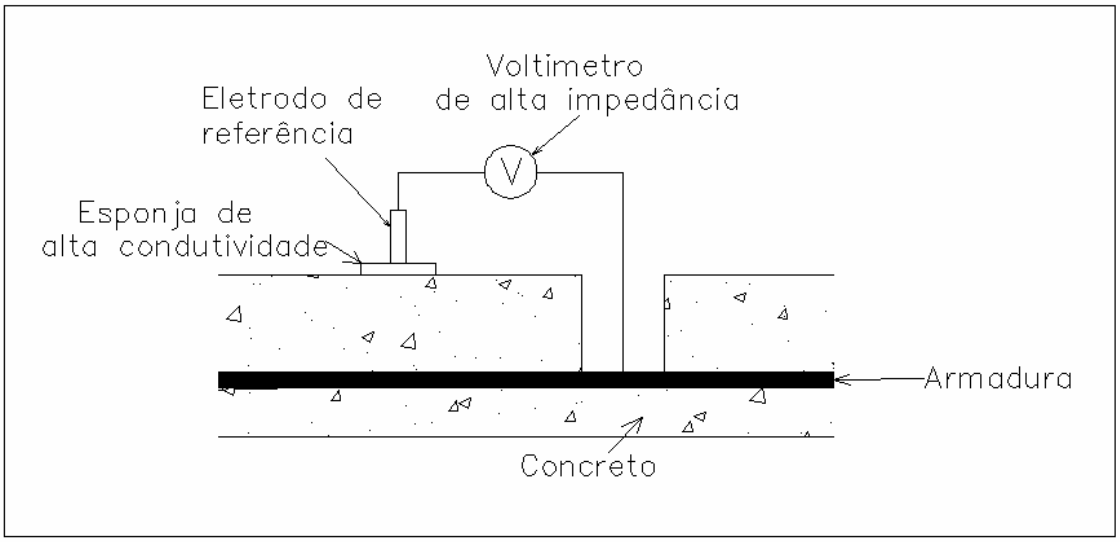


Figura 12 - Esquema do ensaio de potencial de corrosão (Fonte: OLIVEIRA, 2002)

Os potenciais de corrosão medidos na superfície do concreto, conforme a norma ASTM C 876 (1991), podem ser associados às probabilidades de ocorrência de corrosão conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Potenciais de corrosão e probabilidade de ocorrência (Fonte: Norma ASTM 876 ,1991)

Potencial de corrosão relativo ao eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre (mV)	Probabilidade de corrosão (%)
Mais negativo que (- 350)	90
Entre (- 200) e (- 350)	Incerta
Mais positivo que (- 200)	10

Os equipamentos necessários para a realização do ensaio de potenciais de corrosão são:

- Voltímetro de alta impedância de entrada, com precisão de mV;
- Eletrodo de referência – calomelano saturado ou cobre/sulfato de cobre;
- Conexões elétricas.

Existe equipamentos de fabricantes variados com este conjunto de elementos, de uso mais pratico e que agilizam os resultados.

Sendo um ensaio estritamente qualitativo, indica a probabilidade de existência de corrosão, é prático de se conduzir em campo, e é a principal técnica de campo utilizada para o monitoramento de estruturas de concreto armado com vistas à corrosão (CASCUDO, 1997).

Carmo (2009), diz: "antes de indicar a leitura das medidas, deve-se retirar todo o revestimento e aplicar o eletrodo de referência na superfície do concreto. Deve-se planejar com antecedência o ensaio para a definição da distância entre os pontos, a fim de se confeccionar a malha do mapa de potenciais".

"Deve-se observar a garantia de continuidade elétrica das armaduras e após, ligar o terminal positivo do voltímetro na armadura e o terminal negativo do eletrodo de referência. A superfície do concreto deve ser umedecida uniformemente, de maneira que se ativem diferenças apreciáveis nas leituras de zonas secas e úmidas. A esponja deve ser umedecida com uma solução de água e detergente na proporção de 4 a 5 ml por litro (CASCUDO,1997)"

Segundo a norma ASTM C 876 (1991), os potenciais de corrosão medidos na superfície do concreto podem ser associados às probabilidades de ocorrência de corrosão conforme a Tabela 9.

A interpretação das medidas de potencial de corrosão deve ser feita por um técnico experiente, que saiba analisar as possíveis intervenções de fatores que possam falsear resultados. Os principais fatores a se observar são:

- Teor de umidade do concreto, discrepâncias de medidas em um concreto seco ou úmido podem chegar a 200 mV (ANDRADE, 1992). Por isso a necessidade de umedecer a superfície uniformemente;

- Camadas superficiais de concreto com alta resistividade, o efeito deste fenômeno pode levar a medidas de potenciais mais positivos;

- Espessura do cobrimento e sua qualidade. A qualidade do cobrimento afeta sua resistividade, por conseguinte pode ate inviabilizar a leitura dos potenciais de uma barra similares, independentemente de está ou não ocorrendo corrosão;

- Carbonatação ou cloretos. A carbonatação tende a gerar potenciais mais positivos do que realmente ocorre na barra, e os cloretos tendem a gerar potenciais mais negativos; e

- Correntes erráticas ou de força podem gerar potenciais complementares anormais aos encontrados comumente nas estruturas de concreto.

3.7.2. *Ultrassom*

O ensaio com aparelho de ultrassom tem a finalidade de mensurar valores de tempo de propagação de onda que representem a qualidade do concreto, quanto à existência de vazios internos e resistência à compressão.

O ensaio de Ultrassom usa as ondas mecânicas de elevada frequência (acima de 20 kHz) que passam pelo elemento de concreto ensaiado, e o tempo gasto pelo pulso de onda para ir do transmissor até o receptor. A distância linear percorrida por essa onda, entre os transdutores (transmissor e receptor), dividido pelo tempo gasto nesse percurso fornece a velocidade de propagação da onda.

Segundo Lorensi (2000), a velocidade de propagação de uma onda longitudinal ultrassônica num concreto íntegro, é sempre superior a 2500m/s e que a velocidade do pulso ultrassônico no

aço é da ordem de 6000 m/s. Sendo assim, a disposição e a taxa de armadura do elemento estrutural influenciam de modo significativo a velocidade de propagação da onda no concreto.

Cánovas (1998) apresenta um critério de classificação quanto à qualidade do concreto em função da velocidade do pulso ultrassônico, descrito na Tabela 10.

Tabela 9 - Classificação do concreto em função da velocidade do pulso ultrassônico (Fonte: CÁNOVAS, 1998)

Velocidade da onda ultrassônica (m/s)	Qualidade do concreto
V > 4500	EXCELENTE
3500 < V < 4500	ÓTIMO
3000 < V < 3500	BOM
2000 < V < 3000	REGULAR
V < 2000	RUIM

Fatores que podem influenciar as leituras do ensaio de Ultrassom, segundo a própria ABNT NBR 8802 (1994):

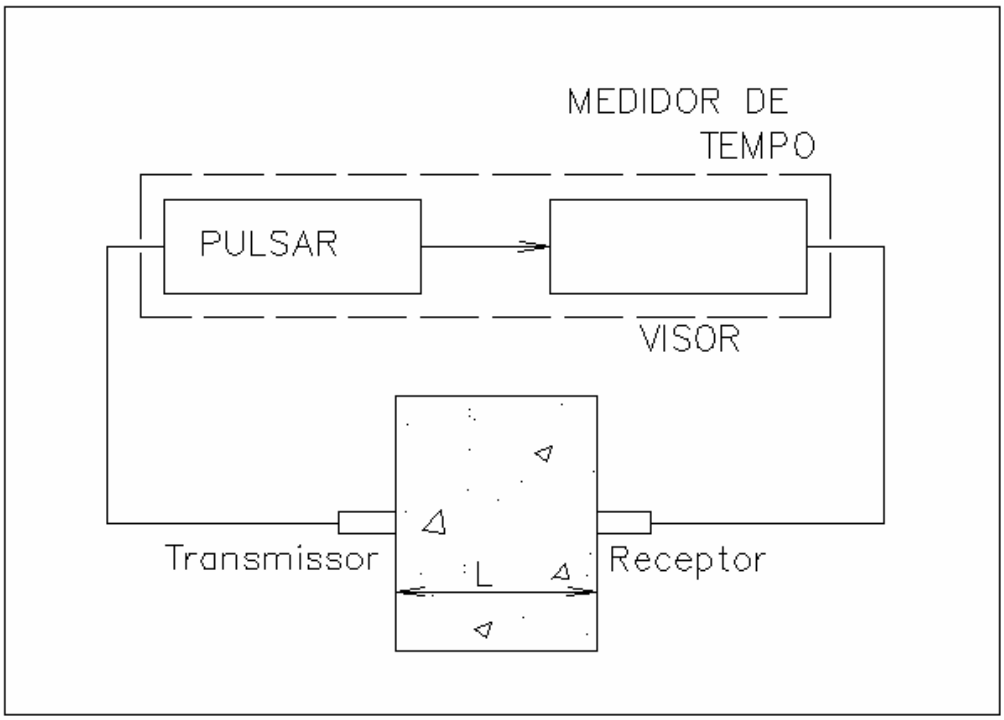
- Distância entre as superfícies de contato dos transdutores;
- Densidade do concreto, que depende do traço e das condições de concretagem;
- Tipo, densidade e outras características dos agregados;

- Tipo de cimento e grau de hidratação;
- Tipo de arranjo;
- Tipo de adensamento; e
- Idade do concreto.

Eisinger e Lima (2002) recomendam a utilização do ensaio de Ultrassonografia para a verificação da homogeneidade do concreto, para a detecção de eventuais falhas internas de concretagem, para a medição da profundidade de fissuras e outras imperfeições e para monitoramento da variação das propriedades do concreto ao longo do tempo.

O aparelho de Ultrassom é formado por um gerador elétrico de pulsos que os envia a um transdutor emissor, transformando a energia elétrica em vibrações mecânicas. Quando esse pulso eletrônico percorre o concreto, um contador de tempo foi acionado, as vibrações são captadas por um transdutor receptor, que recompõe a forma inicial de energia, sendo nesse momento o contador de tempo desativado, registrando-se em um visor digital o tempo total gasto para a onda atravessar o concreto (Figuras 12).

O ensaio de Ultrassom também pode ser usado para avaliar a homogeneidade e a qualidade do concreto empregado na obra, segundo Oliveira (2001).



Fura 13 - Esquema de funcionamento do aparelho de Ultrassonografia (Fonte : VEIRA,2002).

3.7.3. *Profundidade de carbonatação*

A opção pela escolha da solução de Fenolftaleina se deu em função de ser um indicador que determina pH mais baixos, de acordo com a Tabela 10, na faixa de 8,2 a 9,8, rapidez na realização do ensaio, precisão boa, custo baixo, além de ser o indicador de pH mais empregado no meio cientifico.

A RILEM (1984) recomenda a utilização de uma solução com 1% de fenolftaleína em 70% de álcool etílico e 29% de água destilada.

Tabela 10 - Indicador de carbonatação (Fonte: PONTES,2008)

	pH	Coloração	Situação
Timolftaleína	< 9,3	Incolor	Carbonatada
	> 10,5	Azul	Não carbonatada
Fenolftaleína	< 8,2	Incolor	Carbonatada
	> 9,8	Vermelho-carmim	Não carbonatada

Para a execução do mesmo, devemos seguir os seguintes passos:

- Executar uma fratura no concreto até encontrar a superfície do aço.
- Aspergir a solução de Fenolfetaleína, na região recém-fraturada do concreto, logo após a execução da mesma, buscando assim, evitar que o hidróxido de cálcio presente no concreto, reaja com o CO2 presente na atmosfera, caso ocorra demora para a realização do ensaio.
- Esperar alguns minutos para o indicador reagir e alterar a sua cor. A região não carbonatada adquire uma coloração vermelho carmim, enquanto a região carbonatada permanece incolor.
- Executar a leitura da espessura carbonatada com equipamento de precisão de milímetro, sendo recomendada a realização de varias medidas em vários locais da área ensaiada, já que a profundidade de carbonatação não é uniforme (Foto 13).

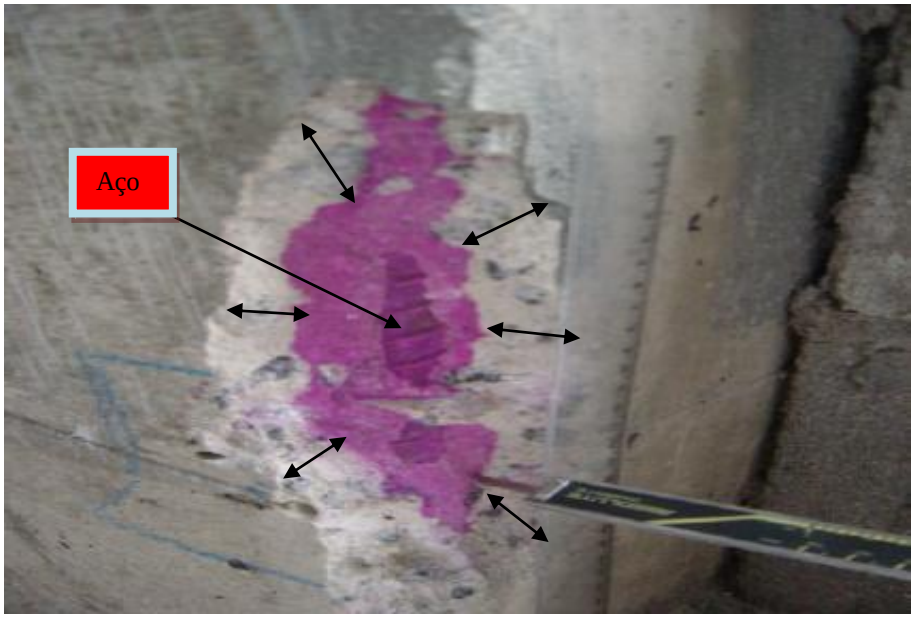


Foto 13 - Medição da profundidade de carbonatação após aspersão de Fenolftaleína

3.7.4. *Determinação da presença de cloretos*

Para a determinação da presença de cloretos no concreto, utiliza-se o Método de Aspersão de Nitrato de Prata ($AgNO^3$). Esse método determina a presença ou não de cloretos livres no concreto através da aspersão de uma solução de Nitrato de Prata sobre uma superfície recém-exposta. É um ensaio simples, barato, de resultado imediato e tem como único inconveniente à necessidade de execução de pequenos reparos.

A solução de nitrato de prata quando aspergida em uma superfície de concreto na presença da luz, provoca uma reação fotoquímica e caso exista presença de cloretos livres na superfície aspergida surge um precipitado de cor branca, precipitação do cloreto de prata e onde os cloretos estão combinados surge uma precipitação na cor marrom que é o óxido de prata, desse modo, a aspersão de nitrato de prata permite visualizar se a frente de cloretos atingiu a armadura

3.7.5. *Ensaio de esclerometria*

Dureza superficial define-se como sendo a resistência superficial que um material oferece a sofrer uma deformação plástica na sua superfície. A dureza superficial do concreto é um parâmetro que pode ser usado para a avaliação da qualidade do concreto.

O interesse pelo conhecimento da dureza superficial consiste em:

- Conhecimento da resistência ao desgaste;
- Correlacionar resistência mecânica através do uso de tabelas de;
- Controle de qualidade de tratamentos térmicos;
- Controle de qualidade em processos de conformação plástica e em processo de ligação.

O ensaio consiste em determinar a dureza superficial do concreto através de um aparelho denominado esclerômetro que ao disparo de uma haste metálica contra a superfície do material, determinando assim o índice esclerométrico.

Execução do ensaio segue a Norma NBR 7584 (1995) (Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de deflexão):

- As superfícies do concreto devem ser secas ao ar e preferencialmente planas.
- As áreas de ensaio devem ser preparadas por meio de polimento enérgico com prisma ou disco de carborundum. Através de movimentos circulares. Toda poeira e pó superficial devem ser removidos a seco. A área de ensaio deve estar localizada. Preferencialmente nas faces verticais de elementos. A área do ensaio deve estar convenientemente afastada das regiões afetadas por segregação, exsudação, concentração excessiva de armadura, juntas de concretagem, cantos, arestas etc. A área do ensaio deve distar no mínimo 50 mm dos cantos e arestas das peças. A área do ensaio deve estar compreendida entre 8000 mm^2 (aproximadamente 90 mm x 90 mm) e

40000 mm² (200 mm x 200 mm). A área de ensaio dever estar geométrica e uniformemente distribuída pela região da estrutura que está sendo analisada. O número mínimo de áreas de ensaio deve ser em função da própria heterogeneidade do concreto, aumentando com esta. A peça com grandes volumes de concreto devem ser avaliadas com pelo menos duas áreas de ensaio, localizadas preferencialmente em faces opostas. Caso se apresentem heterogêneas, mais áreas de ensaio devem ser examinadas.

- Os impactos em cada área de ensaio devem ser efetuados no mínimo 09 e no máximo 16. Os impactos devem estar uniformemente distribuídos na área de ensaio. Aconselha-se desenhar um reticulado e aplicar o esclerômetro nas áreas limitadas por ele. Identificando a área ensaiada. A distância mínima entre os centros de dois pontos de impacto deve ser de 30 mm. Devem ser evitados impactos sobre agregados, armaduras, bolhas, etc. Não é permitido mais de um impacto sobre um mesmo ponto.

- Peças, elementos e componentes de concreto devem ter dimensões superiores a 100 mm na direção do impacto. Para serem suficientemente rígidos e evitarem a interferência de fenômenos de ressonância, vibração e dissipação de energia no resultado obtido. O esclerômetro deve ser aplicado na posição de maior inércia da peça ou componente estrutural.

- Obtenção do índice esclerométrico médio efetivo de cada área de ensaio, usando a equação:

$$IE(M) = K * IE$$

Onde;

IE(M) – índice esclerométrico médio efetivo

K – coeficiente de correção do índice esclerométrico, obtido quando da atenção do aparelho.

De cada área de ensaio, obtém-se um único índice esclerométrico médio efetivo. Coeficientes utilizados na correção de cada um dos índices esclerométricos, em função da posição do

aparelho. Valor do índice médio de cada área de ensaio. Coeficiente utilizado nas eventuais correções, em função de umidade, cura, carbonatação, etc.

Dentre os fatores que influenciam a dureza superficial, pode-se citar:

- Influência do tipo de cimento;
  - A influência do tipo de cimento é significativa na obtenção do índice esclerométrico, sendo necessário proceder a novas correlações sempre que houver mudança do tipo.
- Influência do tipo dos agregados;
  - Diferentes tipos de agregados podem fornecer concretos com mesma qualidade, porém com diferentes índices esclerométricos. Quando se empregam agregados leves ou pesados, esta variação é ainda mais acentuada.
- Influência do tipo de superfície;
  - O estado da superfície a ser ensaiada é normalmente o que mais acarreta variabilidade dos resultados.
- Influência das condições de umidade da superfície;
  - Superfícies úmidas podem provocar subestimativa da qualidade do concreto. No concreto estrutural o índice esclerométrico pode indicar valores de resistência até 20% inferiores aqueles indicados para o concreto seco equivalente e em alguns tipos de concreto podem ocorre discrepâncias ainda maiores.
- Influência da Carbonatação;
  - A influência da carbonatação na dureza da superfície do concreto é significativa e promove a superestimação da resistência. Devem ser definidos coeficientes corretivos, a fim de minorar o efeito da carbonatação. Em casos extremos, os valores estimados para a resistência do concreto quando há carbonatação podem superar os

valores reais em mais de 50% em função da espessura da camada carbonatada que pode chegar a 20 mm.

- Influência da idade;

  – A influência da idade na dureza superficial do concreto em relação à dureza obtida nas condições normalizadas (28 dias) ocorre devido a fatores, como a diferença de cura, carbonatação e outros. Este fato distorce a correlação com a resistência estabelecida para as condições normalizadas. Portanto, estas correlações não são automaticamente validas para idades superiores há 60 dias ou inferiores a 14 dias. Fatores específicos devem ser considerados para cada concreto em questão, corrigindo-se quando necessário.

- Influência da operação do esclerômetro;

  – O esclerômetro deve ser operado por elemento qualificado para tal, que deve imprimir durante a operação pressões uniforme.

- Influência de outros fatores.

  – Outros fatores conhecidos que influenciam a correlação dos índices esclerométricos com a resistência a compressão do concreto são os seguintes:

    ✓ Massa específica do concreto;
    ✓ Esbeltez do elemento estrutural ensaiado;
    ✓ Proximidade entre a área de ensaio e uma falha no concreto;
    ✓ Estado de tensão do concreto;
    ✓ Temperatura do esclerômetro e do concreto;
    ✓ Consumo de cimento;
    ✓ Tipo de cura;
    ✓ Superfícies calcinadas por altas temperaturas (incêndio).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo realizado teve o propósito de apresentar um diagnóstico das condições atuais de conservação de algumas marquises do Centro do Recife. Conforme visto anteriormente, as inspeções realizadas basearam-se na metodologia de inspeção típica de marquises proposta por Cassim (2006). Esta pesquisa buscou quantificar a recorrência de manifestações patológicas, intervenções e outros dados referentes às marquises em estudo com o intuito de apresentar um quadro geral do estado de conservação das marquises do Centro do Recife, referenciado por um numero de marquises bastante representativo.

Foram realizados ensaios para dar mais suporte à pesquisa e ao diagnostico, dando maiores e melhores condições para a elaboração de projetos de recuperação.

Dentre as marquises vistoriadas foram selecionadas quatro (4) para realização dos ensaios.

Cada ensaio foi executado seis vezes, onde os dois piores resultados serão desprezados, para só assim encontrarmos um valor de referencia, que será o valor médio.

A escolha das áreas a serem inspecionadas e a quantidade de vistorias executadas determinou um espaço amostral bastante significativo, levando-se em conta também a importância e a movimentação de pessoas nas ruas selecionadas, tais como: Imperatriz, Duque de Caxias, Rangel, Calçadas, Príncipe, Oliveira Lima, Manoel Borba, Bom Jesus, Rio Branco e Dantas Barreto. Sendo assim, foi possível criar um espaço amostral de 125 marquises, vistoriadas do segundo semestre de 2009 até o primeiro semestre de 2010. Nessas ruas, além da grande circulação de pessoas, fazem parte do centro comercial do Recife e a maioria das edificações dessa rota de inspeção possuem marquise e são edificações comercias.

Para auxiliar na coleta de dados elaborou-se um check-list (Anexo I) para que fossem obtidas as informações mais relevantes. Quanto ao critério de escolha das marquises a serem apresentadas como estudo de caso, selecionou-se oito (8) delas por potencial de risco, acessibilidade para execução da vistoria e ensaios, zona ambiental, manifestações patológicas

mais comuns, diferentes condições de apoio, sobrecargas indevidas e condições de escoramento e dessas oito selecionou-se quatro (4) para a realização de ensaios. Realizou-se também um mapa fotográfico com registro das manifestações patológicas encontradas e dos ensaios realizados, de conformidade com a metodologia apresentada.

Quanto aos vínculos, adotou-se a representação que se apresenta na Figura 13.

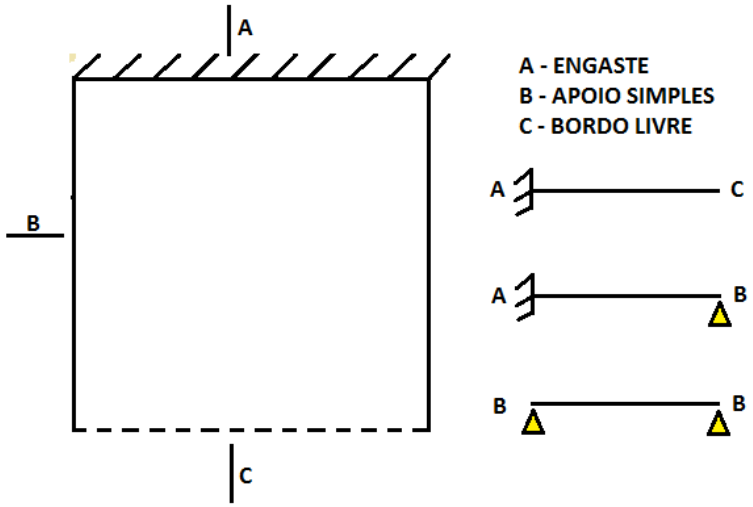


Figura 14 - Representação esquemática das condições de apoio

4.1. Análise quantitativa das manifestações patológicas

De um quantitativo de 125 (cento e vinte e cinco) marquises obtém-se um quadro amostral que possibilita representar as principais manifestações patológicas que incidem nas mesmas, conforme representação da Figura 14, mostrando a reincidência das manifestações patológicas, ou seja, determina a percentagem de marquises que possuem uma determinada manifestação patológica. Analisando a reincidência das manifestações patológicas, somando as percentagens de todas as manifestações patológicas, percebe-se que cada marquise, das 125 inspecionadas,

possui em média 3,79 manifestações patológicas. Apenas 7% das marquises de edificações do Centro da cidade do Recife incluídas na rota de inspeção determinada neste projeto de pesquisa não possuíam manifestações patológicas.

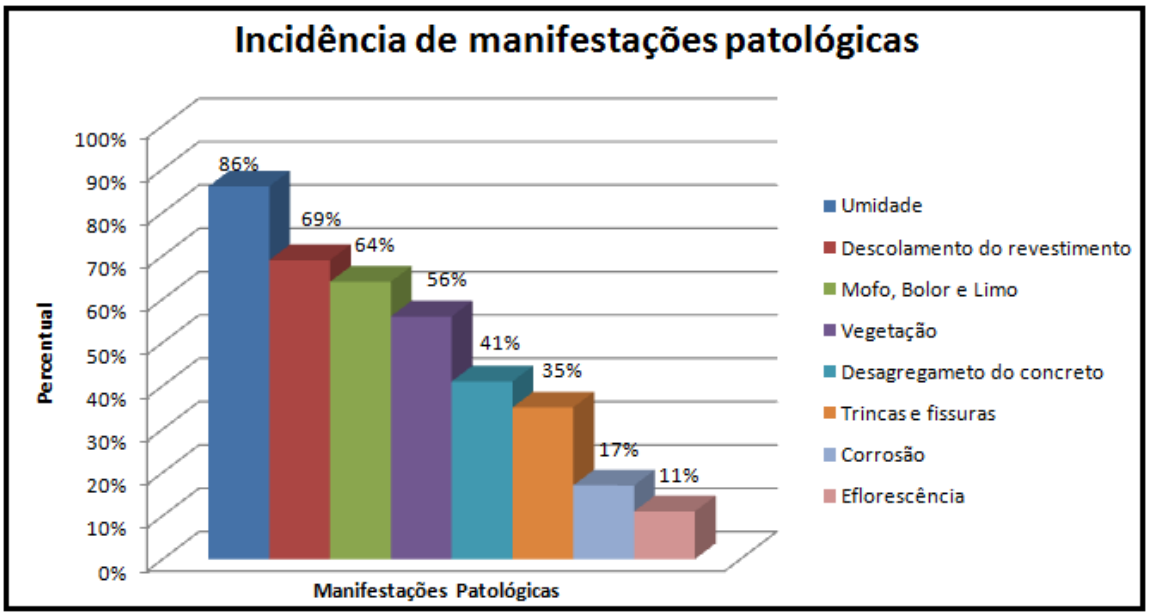


Figura 15 – Gráfico das incidência das manifestações patológicas encontradas nas marquises do centro do Recife

A partir da Figura 14, constata-se que as manifestações patológicas mais incidentes são: a infiltração, presente em 86% das marquises, descolamento de revestimentos com 69%, mofo, bolor e limo com 64% e vegetação com 56%, ou seja, essas manifestações patológicas encontram-se presentes em mais de 50% das marquises. Observa-se que essas manifestações patológicas estão relacionadas a ocorrência de infiltrações na estrutura que desencadeia uma série de manifestações patológicas.

Além das infiltrações pode-se destacar o alto índice de desplacamento (41%), fissuras (35%) e consequentemente, corrosão (17%). Essas manifestações patológicas merecem uma atenção

especial tendo em vista que a presença das mesmas pode levar a desestabilização das marquises e até o desmoronamento.

É importante ressaltar que os dados estatísticos apresentados foram obtidos através de inspeção visual, com um alto grau de dificuldade, pela condição de acesso e de interesse de alguns dos proprietários, desse modo, em alguns casos, a situação pode ser bem mais grave do que a visualizada.

4.2. Análise quantitativa referente à exposição de armadura, rotina de manutenção e sobrecargas e intervenções indevidas.

Além das manifestações patológicas observadas, elaborou-se uma analise quantitativa onde foi possível quantificar algumas incidências relevantes para a estabilidade estrutural das marquises, entre eles, a exposição de armadura, a ausência de rotina de manutenção, a colocação de sobrecargas e a realização de intervenções indevidas.

Fazendo uso do check-list (Anexo I) utilizado durante a inspeção visual, constatou-se que 18% das cento e vinte e cinco marquises estudadas, apresentavam armaduras expostas, como se apresenta na Figura 15 .

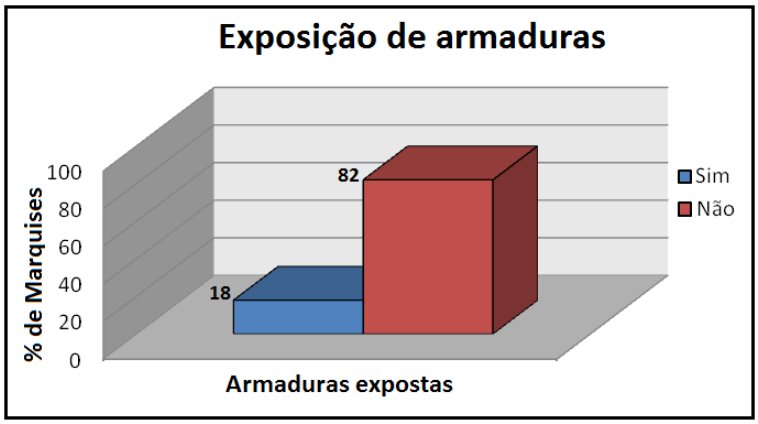


Figura 16 – Gráfico da exposição de armaduras em marquises

Sabemos que 33% das marquises encontram-se em processo de corrosão e 18% com armaduras expostas, o que corresponde a 55% desse grupo, logo, faz-se necessário saber o quanto dessas armaduras encontra-se na região tracionada, pois, tal fato, a partir do momento em que essas armaduras começam a ter sua seção reduzida, teoricamente o concreto passa a trabalhar para combater esse diferencial de esforço á tração que deixou de ser combatido pela armadura, podendo assim, iniciar um processo de fissuração e posterior desestabilização estrutural.

Nas marquises que se encontravam com armadura exposta, mediu-se o cobrimento buscando conhecer os valores utilizados e ao mesmo tempo verificar se os mesmos atendem as normas atuais, ou seja, 2,5 cm e 3,5 cm para estruturas localizadas respectivamente nas Classes de Agressividade Ambiental II e III.

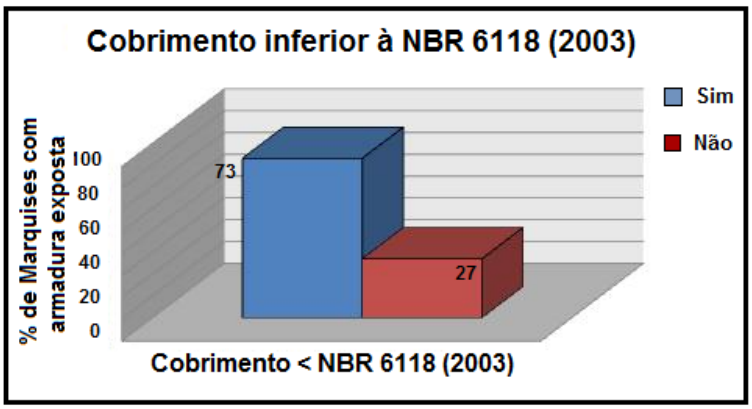


Figura 17 - Percentual de marquises com armadura exposta e com cobrimento menor que o exigido pela NBR 6118 (2007). (Fonte: ABNT, 2007)

Observa-se através da Figura 16 que 73% das marquises que apresentam armadura exposta possuem cobrimento inferior ao exigido pela NBR 6118 (2007), ou seja, para a realidade atual esse dado demonstra que o cobrimento utilizado, determinado pela norma anterior era insuficiente para proteger as armaduras e que para todas as marquises construídas obedecendo às normas em vigor antes de 2001, necessitam da realização de ensaios que indiquem a existência ou não de corrosão nas armaduras, bem como, confirmar o cobrimento existente para em uma possível intervenção, adequá-lo a norma em vigor.

Tendo em vista a pesquisa propor a análise do estado de conservação das marquises, verificou-se também a existência ou não de rotina de manutenção, visto que a manutenção preventiva é indispensável para a conservação e manutenção da vida útil das estruturas.

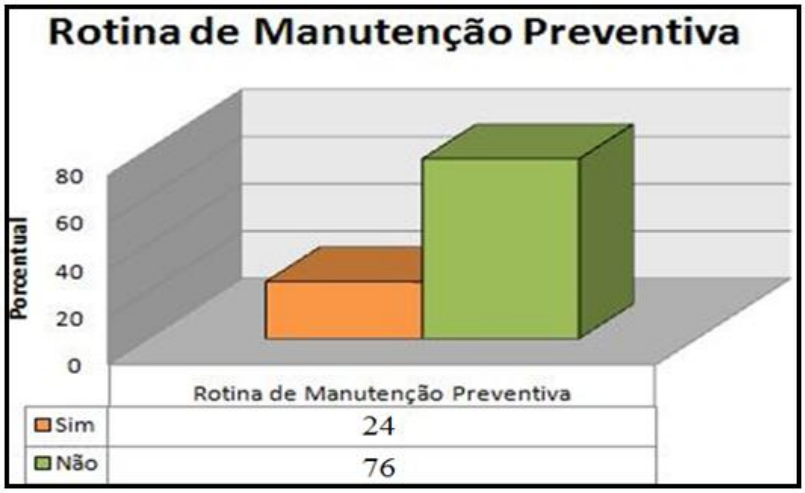


Figura 18 - Percentual das marquises com rotina de manutenção

Constatou-se que 76% das marquises vistoriadas não tinham uma rotina de manutenção, sendo assim, esse resultado encontrado vem a reforçar a necessidade da realização de vistorias periódicas, buscando assim minimizar a ocorrência de desmoronamentos (Figura 17).

Sabemos que algumas manifestações patológicas são ocasionadas pela agressividade do meio ambiente, porém, como vimos anteriormente, a maioria das manifestações patológicas são ocasionadas pelo descaso do homem que não executa as intervenções necessárias para manutenção ou executa de modo incorreto. Ações e intervenções indevidas também podem levar as marquises ao colapso, desse modo, observou-se a quantidade de marquises que sofreram intervenções que prejudicam a conservação da estrutura, reduzindo sua vida útil. De acordo com a Figura 18, 80% das marquises do espaço amostral desta pesquisa sofreram algum tipo de intervenção.

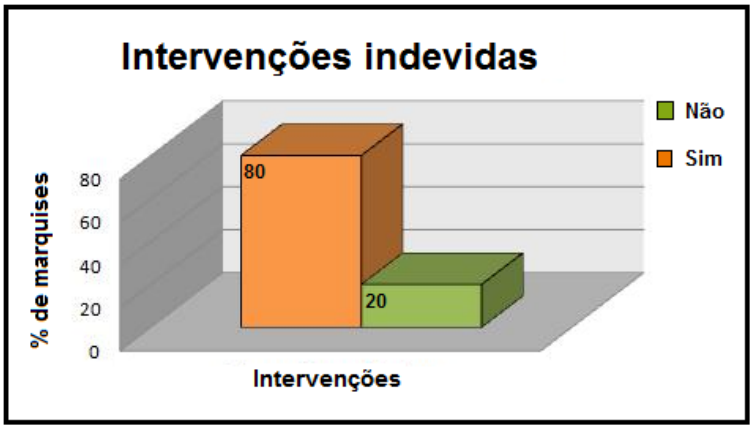


Figura 19 - Percentual de marquises que passaram por intervenção indevida

Observam-se diversas intervenções nas marquises e na Figura 19 mostram-se as percentagens das intervenções mais reincidentes e prejudiciais.

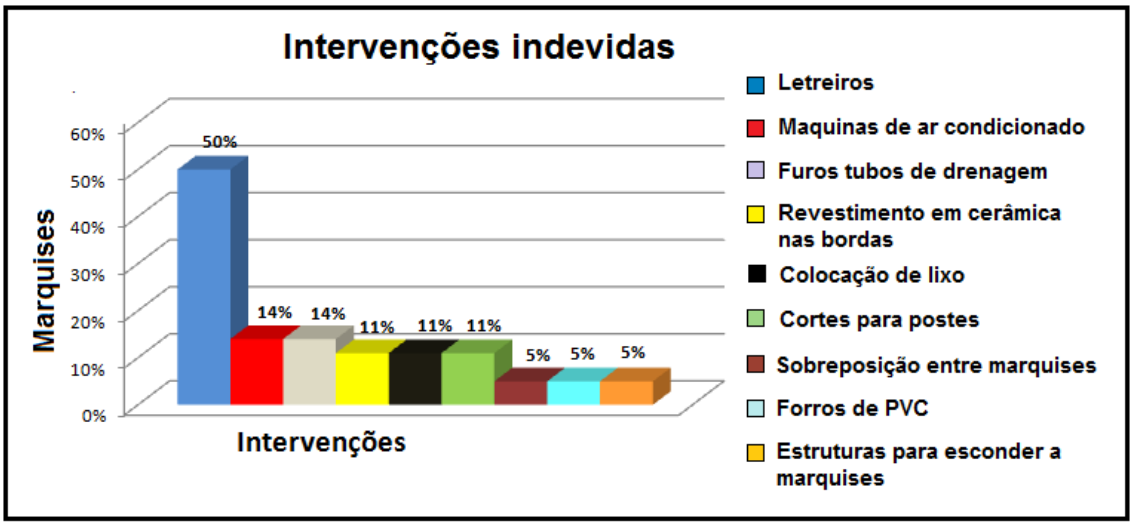


Figura 20 - Percentual de intervenções indevidas mais comuns nas marquises

Através da Figura 19 mostra-se como se dá essas intervenções, onde se pode observar a alta incidência de sobrecargas não previstas, entre elas ressalta-se a colocação de letreiros (placas de sinalização comercial) com 50%, vindo em seguida à colocação de maquinas de ar condicionado e a execução de furos para drenagem na região próxima aos apoios com 14%. Ocorrem também intervenções para colocação de cerâmica nas bordas da marquise, demolição de trechos para colocação de postes de iluminação pública e acumulo de lixo e resíduo de construção que caem dos imóveis sobre as marquises, observado em 11% das mesmas. Essas intervenções, em alguns casos, podem levar as marquises a um quadro de fissuração e consequentemente a infiltrações, desencadeando uma serie de manifestações patológicas.

Em algumas das marquises do cenário em estudo, 5%, foram construídas acima da marquise vizinha, ou seja, uma das extremidades apoiada sobre a outra ou milimetricamente afastada, tal fato, implica que quando da ocorrência do relaxamento da estrutura, deformação ou pela existência de sobrecarga indevida, a mesma passará a se apoiar mudando as suas condições de apoio e a outra passará a receber uma sobrecarga, podendo ocasionar um quadro de fissuração.

Foi constatado que 5% das marquises do espaço amostral dessa pesquisa tem algum tipo de estrutura envolvendo-as ou são aplicados forros de PVC, sendo estas soluções econômicas para melhorar a estética de suas lojas, escondendo o estado de conservação das marquises. Esta solução é perigosa, pois além de não expor as manifestações patológicas, dificulta a vistoria.

4.3. Amostragem das manifestações patológicas mais comuns, encontradas através de inspeção visual

Fazendo uso do check list apresentado no Anexo I, coletamos todas as informações necessárias, analisamos suas condições de vínculos, as manifestações patológicas existentes e elaboramos um mapa fotográfico registrando tudo que foi observado, criando condições para as discussões e diagnósticos.

Tendo em vista o quantitativo de marquises analisadas, escolheram-se entre tantas, as que apresentavam manifestações patológicas comuns as demais, situações especiais e diferentes vínculos, dando representatividade para um estudo de caso, através de analise visual.

4.3.1. Estudo de Caso 1 (M1)

O estudo de caso M1, trata-se de uma marquise localizada na Rua do Bom Jesus, bairro do Recife (Recife antigo). Essa marquise tem apenas um vínculo (Figura 20), encontra-se engastada na laje do piso do primeiro pavimento da edificação. Do seu levantamento geométrico registramos que a mesma possui 110 m de comprimento, 1,5 m de largura, 0,125 m de espessura média e encontra-se a 2,80 m acima da calçada (pé direito). Essa marquise tinha quarenta e três anos de construção, encontra-se em uma Classe de Agressividade Ambiental do tipo III e não possuía qualquer rotina de manutenção, apresentando diversas manifestações patológicas.

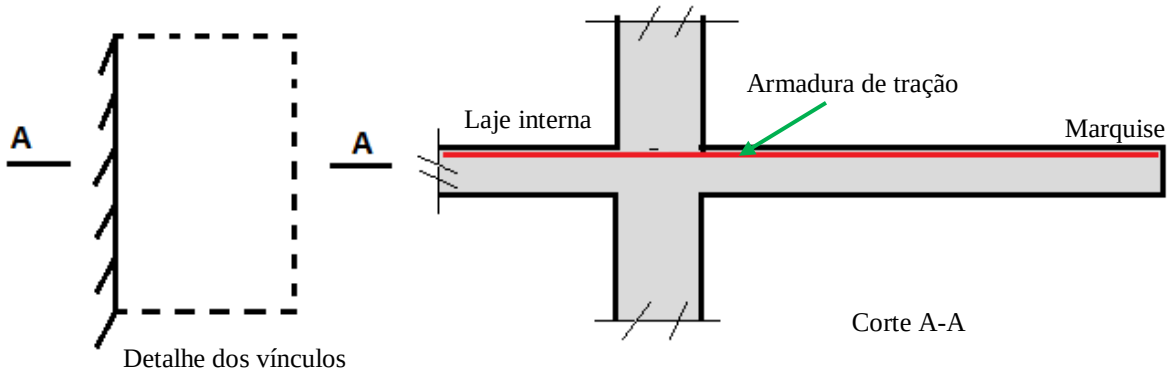


Figura 21 - Detalhe esquemático da marquise M1 e seu vínculo estrutural

As manifestações patológicas encontradas são: fissuras longitudinais e transversais, umidade, armaduras expostas, corrosão nas armaduras e desplacamento do concreto.

Foto 14 - Fissura, lodo e infiltração, com característica de deficiência da impermeabilização.

Foto 15 - Vista longitudinal da marquise M1, com destaque para a ausência de juntas de dilatação nessa extensão e na grande presença de umidade.

Foto 16 - Detalhe do desplacamento e da armadura da viga de apoio da marquise, exposta e com corrosão na região de tração da viga.

Fazendo uso de um Paquímetro, pôde-se medir o cobrimento nominal das armaduras da marquise, tendo esse cobrimento 1,91 cm, como mostra a Foto 17, apresentando um déficit de cobrimento de 1,59 cm, levando-se em consideração que, conforme a NBR 6118 (2007), o cobrimento de lajes sujeitas a Classe de Agressividade Ambiental III, forte, deve ser de 3,50 cm.

Vale salientar que a maioria das edificações do centro da cidade do Recife, são antigas e foram projetadas pelas normas vigentes em sua época, sendo assim, foram executadas com outros cobrimentos, insuficientes para atender os parâmetros normativos atuais. Logo, para compensar este déficit, é necessário uma rotina de inspeção e manutenção constante, buscando assim prolongar sua vida útil.

Foto 17 - Medição do cobrimento nominal da M1 fazendo uso de um paquímetro

Foto 18 - Desplacamento do revestimento argamassado, lodo, ausência de selante na junta de dilatação e infiltração, característica de deficiência na impermeabilização.

4.3.2. Estudo de Caso 2 (M2)

Essa marquise encontra-se localizada na esquina da Rua da Imperatriz, Rua do Hospício e com a Praça Maciel Pinheiro, no Bairro da Boa Vista, Recife, tendo um vinculo, um engaste em viga e demais bordos livres. Com mais de 50 anos de construída, essa edificação encontra-se inserida em uma região onde a Agressividade Ambiental é do nível II, apresentando sinais de intervenção na estrutura e não possuía qualquer rotina de manutenção preventiva. Nas Figuras 21 e 22 observa-se o tipo da marquise em relação ao seu vinculo estrutural e sua planta de locação.

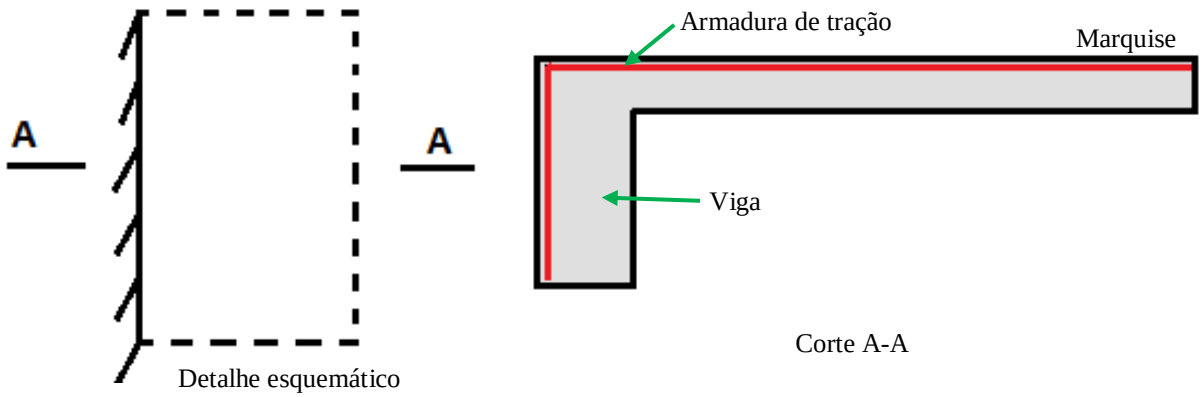


Figura 22 - Detalhe esquemático da marquise M2 e seu vínculo estrutural.

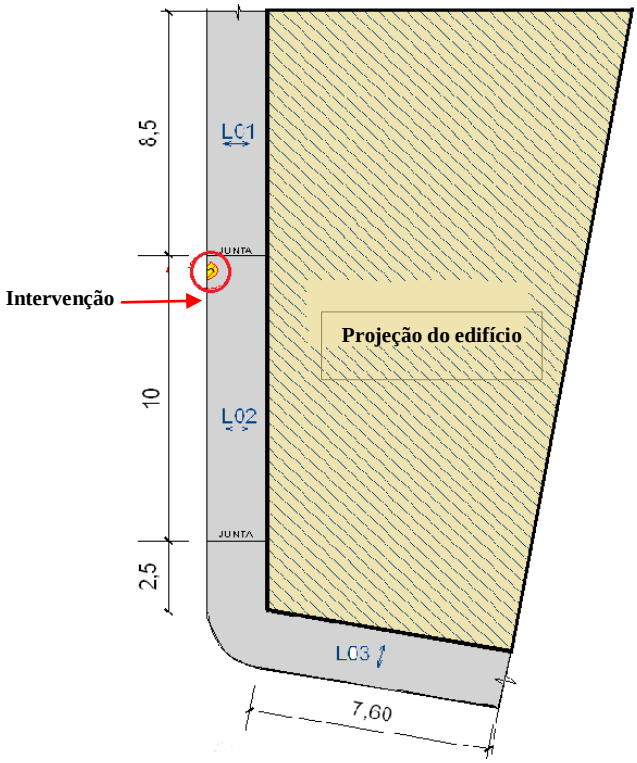


Figura 23 - Planta de locação da Marquise M2

Constatou-se que a M2 apresentava na data da inspeção (09/05/2009) as seguintes intervenções e manifestações patológicas, tais como: umidade, presença de vegetação na zona superior da marquise, demolição de trecho da marquise para possibilitar a colocação de um poste de iluminação pública, furo para permitir a passagem da tubulação de drenagem das águas pluviais proveniente do edifício e fissuras no sentido transversal da laje.

As manchas de umidade existentes demonstram a deficiência da impermeabilização e da drenagem das águas pluviais, pois, além das águas da chuva que sobre ela cai, a mesma acumulava as águas das tubulações de drenagem das águas pluviais da edificação que se encontravam obstruídas (Fotos 19 e 20). Pôde-se observar que o sistema de drenagem não havia sido previsto, tendo-se recorrido à realização de improvisações com a colocação de uma drenagem superficial.

Foto 19 - Tubulação de drenagem

Foto 20 - Tubulação de drenagem da edificação, vegetação e indícios de infiltração.

Foi constatada a execução de uma intervenção na M2 para a colocação de um poste de iluminação pública, provavelmente sem o acompanhamento de um profissional qualificado, estando à mesma com as armaduras de bordo rompidas e o concreto da laje da marquise

demolido de modo aleatório. No entorno dessa intervenção ocorreu um processo de fissuração, apresentando-se nos sentidos transversais e radiais a área demolida. A Foto 21 caracteriza bem essa manifestação patológica.

Foto 21 - Detalhe da área demolida de parte da laje da M02 para colocação de poste de iluminação pública, com destaque para as fissuras

Outras manifestações patológicas observadas durante a vistoria de M2 foram a proliferação de vegetação e fungos na superfície da laje. Essas manifestações patológicas foram bastante observadas nas marquises do Recife. A carência de manutenção, acúmulo de lixo, deficiência da drenagem e da impermeabilização e até a presença de aves, entre elas os pombos (transportam sementes), são responsáveis pelo desenvolvimento de vegetação, limo e fungos, como se apresenta nas Fotos 22 e 23.

Foto 22 - Desenvolvimento de vegetação

Foto 23 - Vegetação e lodo

4.3.3. Estudo de Caso 3 (M3)

A Marquise M3 localiza-se na Avenida Rio Branco, no Bairro do Recife Antigo, com mais de 50 anos de construída, tem como vinculo estrutural um engaste em viga e encontra-se inserida em uma região onde a Agressividade Ambiental é do nível III. A edificação executava serviços de manutenção na fachada e reparos em trechos inferiores da marquise que apresentavam armaduras expostas, pois iria ser pintada posteriormente. A principal manifestação patológica encontrada não era os trechos de armadura oxidados, nem infiltrações e sim a mudança de uso e o método do escoramento aplicado na mesma.

A M3 sofreu uma mudança de uso quando deixou de ser elemento de proteção para ser um elemento de sustentação, de apoio para andaimes, materiais de construção e operários. Tal mudança de uso seria possível, desde que se projetasse um escoramento com capacidade de absorver a sobrecarga que se desejasse aplicar sem transmitir sobrecargas adicionais a marquise. Porém, não é o que se pôde observar nas Fotos 24, 25 e 26.

Foto 24 - Escoramento aplicado na extremidade da marquise, estoque de materiais de construção, andaimes e tabuas soltas, operários e torres de andaimes apoiados diretamente sobre a mesma

Foto 25 - Vista da foto 50 em outro ângulo, com destaque para os operários sobre as torres de andaimes.

Foto 26 - Escoramento executado com madeira emendada, escorando o bordo da marquise, destaque para local com armaduras expostas

Infelizmente é bastante comum, durante a execução de serviços de construção civil, onde se necessita de escoramento, não se contratar um estudo com projeto de escoramento, passando o mesmo a ser executado pela “experiência” do responsável da obra, que em muitas vezes não é um profissional habilitado. Quando uma estrutura é escorada erroneamente, pode ocorrer uma instabilidade estrutural e sendo uma marquise a situação se agrava, pois a mesma pode vir a desmoronar. O modo como foi executado o escoramento da marquise em estudo, mudou seus vínculos, um engaste e um apoio, como consequência provocou uma alteração no seu comportamento estrutural, que, nesse caso, reduz os esforços de tração na região superior e cria uma zona de tração na região inferior não dimensionada para tal (Figuras 23 e 24).

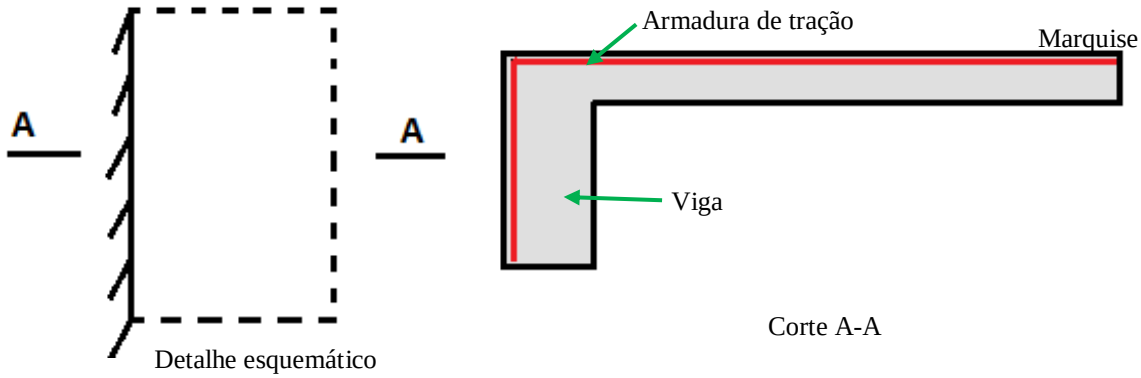


Figura 24 - Detalhe esquemático da marquise M3 e seu vínculo estrutural, como projetado.

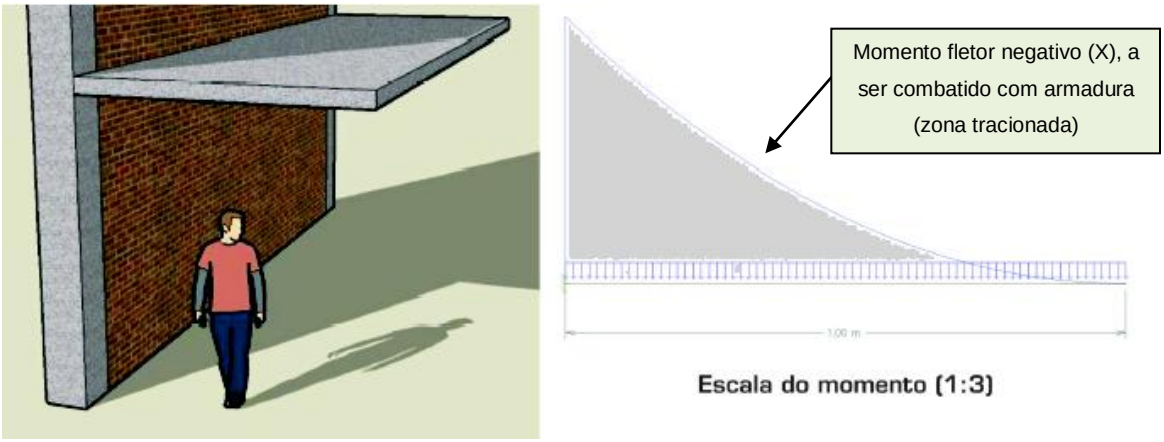


Figura 25 - Modelo da marquise (M3) sem escoramento e seu diagrama de momento (adaptado de Fonte: MEDEIROS, GROCHOSKI, HELENE, 2006)

Uma marquise que tem como vinculo estrutural um lado engastado e os demais bordos livres caracteriza-se como uma estrutura em balanço, possuindo apenas o momento fletor negativo (X-), ou seja, a região superior da marquise encontra-se tracionada necessitando de uma armadura para combater esses esforços. Quando se coloca um escoramento em sua extremidade, muda-se suas condições de apoio e a mesma passa a ter além do engaste um apoio em um dos bordos livres, pois bem, essa nova configuração estrutural diminui os esforços de tração na região superior e surge um esforço de tração na região inferior da marquise, região

essa que não foi armada para combater tais esforços (Figuras 25 e 26). Essa deficiência, não só desestabiliza a estrutura como pode ocasionar o seu desmoronamento.

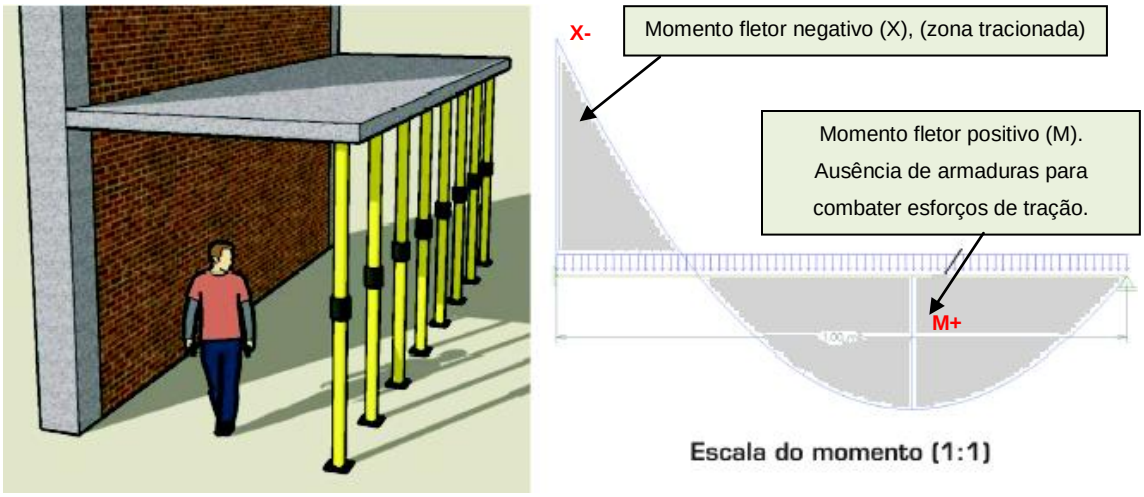


Figura 26 - Modelo da Marquise (M3), com escoramento incorreto nas extremidades do balanço e seu diagrama de momento (adaptado da Fonte: MEDEIROS, GROCHOSKI, HELENE, 2006).

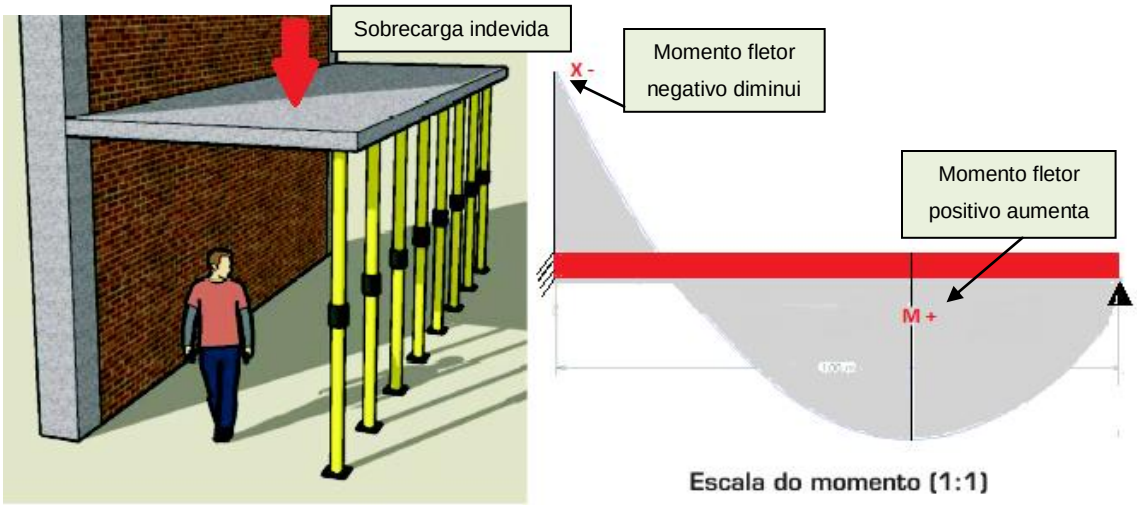


Figura 27 - Modelo da Marquise (M3), com escoramento incorreto nas extremidades do balanço e com uma sobrecarga não prevista, seu diagrama de momento é alterado (adaptado da Fonte: MEDEIROS, GROCHOSKI, HELENE, 2006).

Como foi possível observar é necessário conhecimento do funcionamento estrutural de uma marquise, conhecer suas condições de apoio, antes de executar o escoramento, principalmente se houver necessidade da utilização de uma sobrecarga sobre a mesma. Para a execução de um escoramento em uma marquise deve-se saber a capacidade de carga que as escoras suportam, como também, obedecer um sentido para colocação dos mesmos, sendo colocados de dentro para fora e retirados fazendo o percurso inverso, ou seja, retirar os pontaletes de fora para dentro. Na Figura 27, a seguir, mostra-se o modo correto de se executar o escoramento de uma marquise.

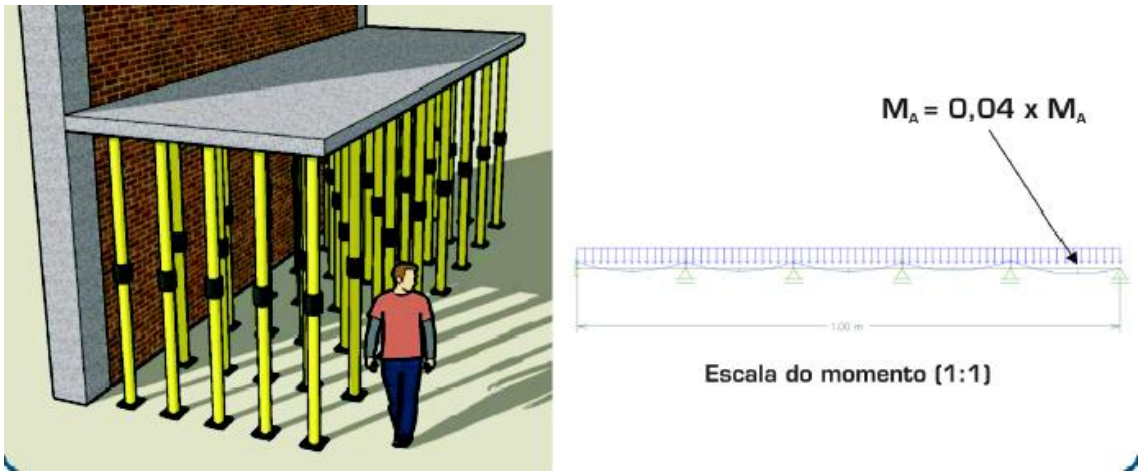


Figura 28 - Marquise com escoramento correto e seu diagrama de momento (Fonte: MEDEIROS, GROCHOSKI, HELENE, 2006)

4.3.4. Estudo dos Casos 4 (M4) e 5 (M5)

Os Casos 4 e 5 serão referenciados em conjunto, tendo em vista pertencerem a mesma edificação, inaugurada em 1935, com 75 anos atualmente, de uso religioso, situada entre a Rua do Príncipe e a Avenida Oliveira Lima, no Bairro da Boa Vista, em uma área cuja Agressividade Ambiental é do nível II (ambiente urbano). Esta edificação possui duas

marquises: uma voltada para a Rua do Príncipe denominada M4 (Foto 27) na fachada dos fundos e laterais e a outra marquise denominada M5 (Foto 28) localizada na fachada frontal, na Avenida Oliveira Lima. Ambas foram vistoriadas em 10 de julho de 2009.

Foto 27 - Marquise M4

Foto 28 - Marquise M5

4.3.4.1. Marquise M4

A marquise M4 em suas características físicas possui: comprimento longitudinal de 79,64 m, largura (comprimento transversal) de 3,00 m, espessura média da laje de 12 cm e um pé direito de 4,10 m.

Em toda sua extensão a marquise mantém vínculos estruturais através de lajes, vigas, e consoles que por sua vez encontram-se engastados em pilares. Existe um total de 22 consolos com altura variável, 38 cm de largura e 2,95 m de comprimento. O detalhe da forma da marquise fica ilustrado na planta baixa apresentada na Figura 28 e os detalhes da marquise nas Figuras 29, 30 e 31.

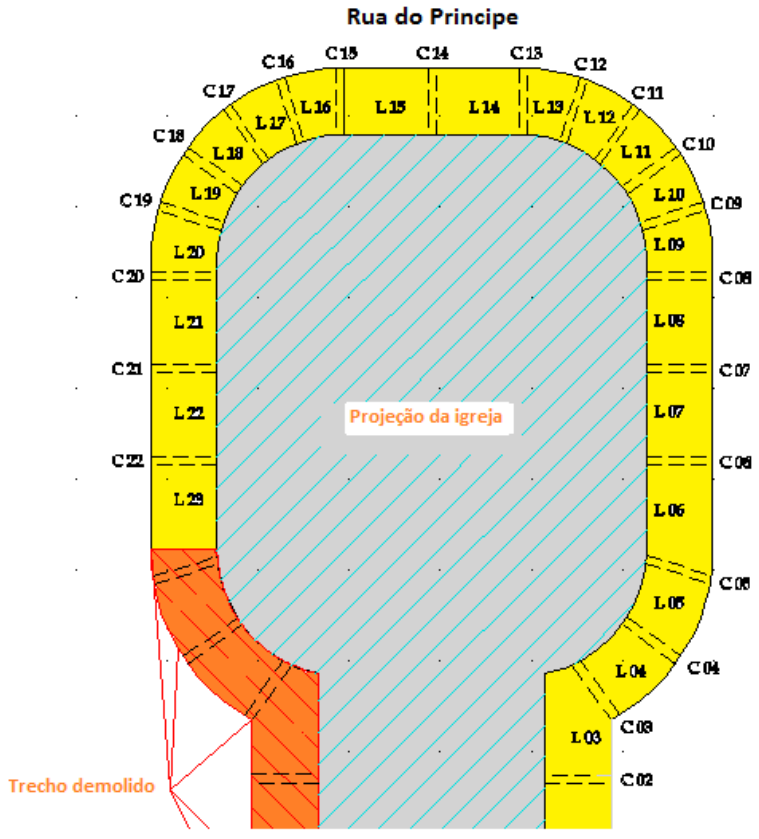


Figura 29 - Planta baixa da marquise M4 com a localização dos elementos estruturais, onde o "L" representa as lajes e os "C" os consolos que estão em tracejado

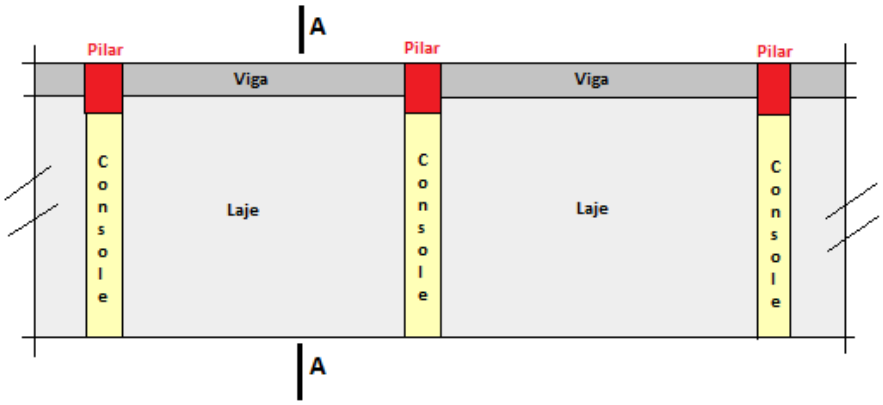


Figura 30 - Planta baixa de trecho da marquise

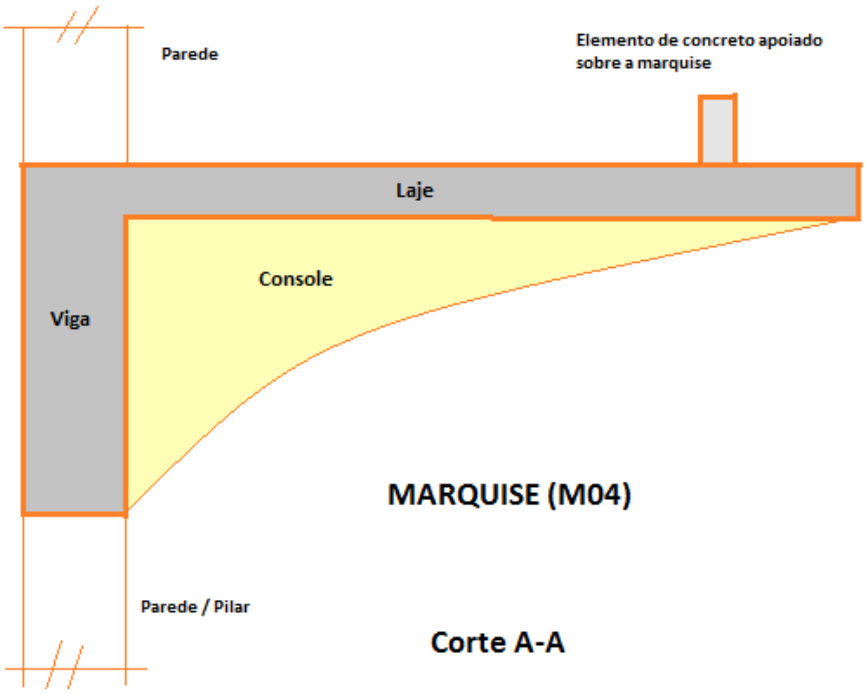


Figura 31 - Detalhe do corte A-A aplicado na Figura anterior

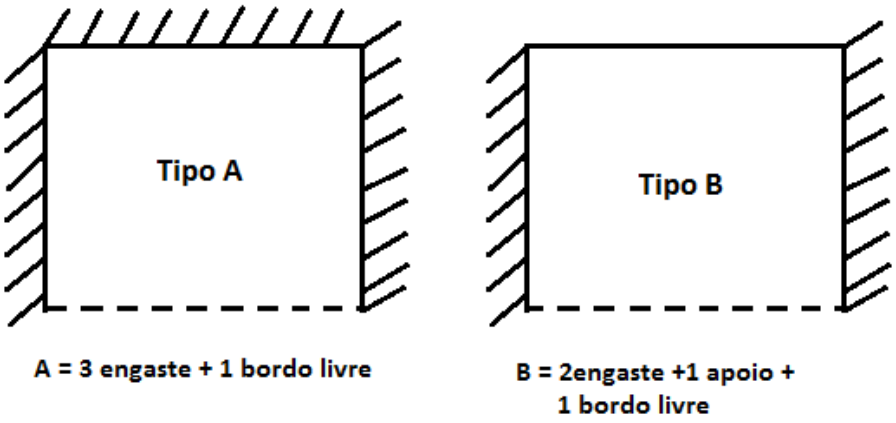


Figura 32 - Possíveis condições de apoio

Através de consulta ao administrador da edificação, observou-se que a mesma não possuía uma rotina de manutenção preventiva e que foi submetida a algumas intervenções estruturais que não foram devidamente projetadas e dimensionadas, sendo executadas posteriormente a sua construção. Foi observada a instalação de corrimãos em toda a sua extensão e a construção de uma escada (Foto 29).

Foto 29 - Destaque para a escada e o corrimão

O corrimão e a escada além de acrescentarem uma sobrecarga à estrutura caracterizam uma mudança de uso, M4 está sendo utilizada como passarela de acesso a edificação adjunta.

Outra intervenção visualizada foi à demolição de um trecho de M4, conforme já foi apresentado em laranja na planta da Figura 28.

Na vistoria observaram-se as seguintes manifestações patológicas: umidade, mofo, limo e bolor, corrosão, lixiviação, desplacamento do concreto, descolamento de pintura, fissuras e vegetação.

Foram encontradas na marquise M4 diversas fissuras devido a fatores variados, porém, como chegar a um diagnóstico sobre essa manifestação patológica, sem visualmente poder identificar seus vínculos estruturais? Vimos na Figura 31 a existência da possibilidade de dois tipos de vínculos para essa marquise e só através da realização de um ensaio com a utilização de um "Pacômetro" ou de uma inspeção destrutiva poderíamos optar por uma delas. Executando pequenos cortes sobre a laje, paralelos a viga, foi possível perceber a ausência de armadura de combate aos esforços de tração nessa região, o que nos fez optar pela condição de apoio do tipo B (2 engastes + 1 apoio simples + 1 bordo livre), armada conforme se apresenta na Figura 32 e 33. Somente após chegar a essa conclusão é que nos foi possibilitado iniciar a análise das fissuras em laje, não deixando margens para duvidas sobre os agentes causadores dessa manifestação patológica. As Fotos 30 e 31 mostram uma fissura na região inferior, no meio da laje da marquise, região submetida aos esforços de tração, onde o Momento Fletor positivo atinge maior valor, o que se leva a caracterizar como fissura de flexão.

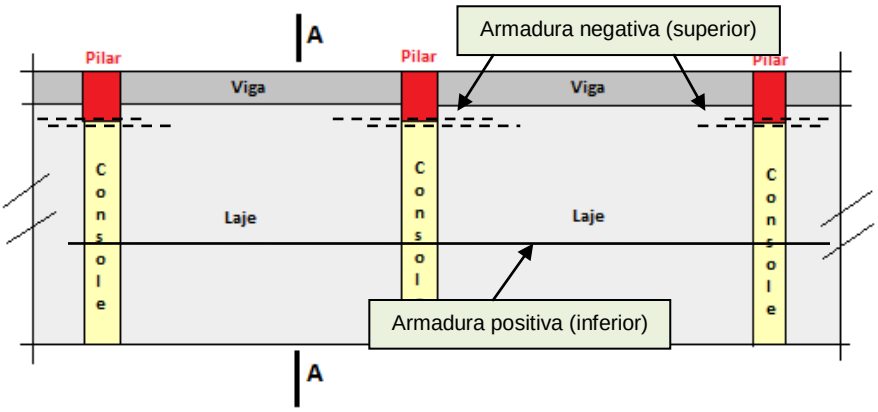


Figura 33 - Posicionamento das armaduras das lajes da marquise

Apesar de não ter sido constatado manifestações patológicas nas vigas e consoles que compõem a marquise, é de bastante relevância analisar as armaduras principais desses elementos, não só por compor o conjunto da marquise, mas também pela grande importância que os mesmos têm para a marquise, pois, mesmo que não exista nenhuma manifestação patológica nas lajes, o comprometimento dessas armaduras pode levar a marquise ao tombamento.

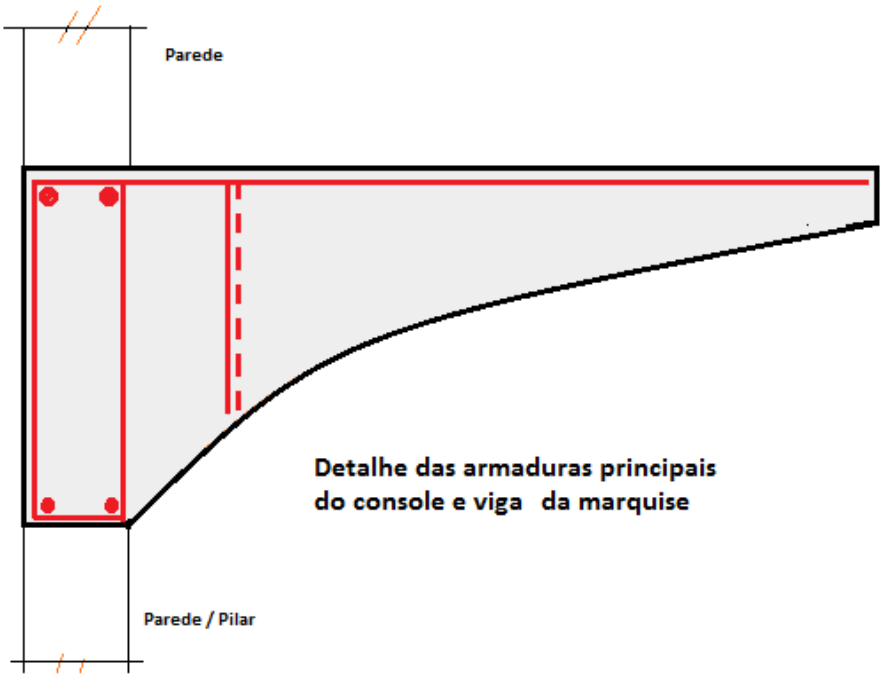


Figura 34 - Detalhe das armaduras principais de uma marquise com viga e console

Foto 30 - Destaque para fissura na face inferior da laje, característica de flexão

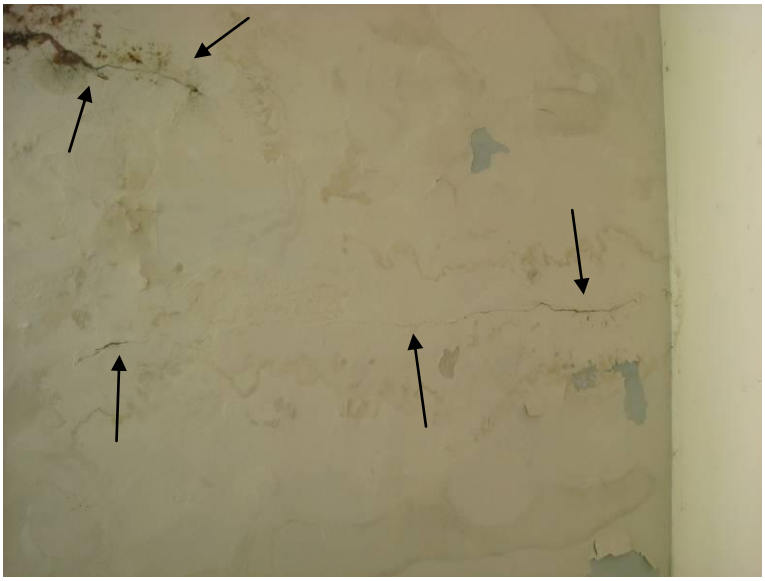


Foto 31 - Imagem aproximada da foto 67, com destaque para as fissuras transversais na laje de M4

Constata-se também que essas fissuras poderiam ter sido ocasionadas pelo surgimento de algumas sobrecargas indevidas, tendo-se constatado acumulo de água por deficiência da drenagem, mudança de uso e sobreposição de revestimentos argamassados (Fotos 32, 33, 34 e 35).

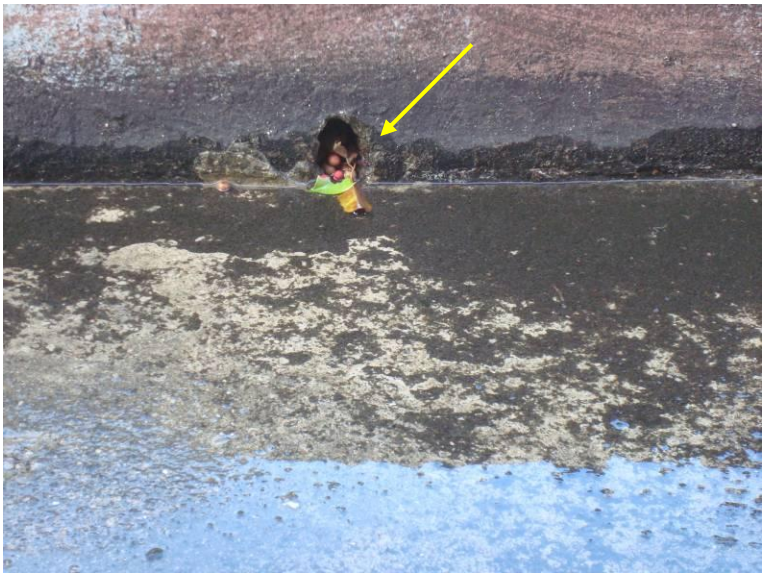


Foto 32 - Entupimento da tubulação de drenagem

Foto 33 - Declividade incorreta e dreno entupido, gerando acumulo d’água

Foto 34 - Crescimento de vegetação junto da tubulação de drenagem

Foto 35 - Detalhe da tubulação da drenagem da coberta

A deficiência na drenagem que gera uma sobrecarga, juntamente com deficiência de impermeabilização e fissuras termina por ocasionar infiltrações, descolamento de pintura, mofo, bolor, limo, lixiviação, corrosão das armaduras e desplacamento no concreto, podendo não ser só na marquise como também nos elementos estruturais próximos e nas áreas internas da edificação (Foto 36).

Foto 36 - Infiltração em parede e teto de ambiente interno da edificação

4.3.4.2. Marquise M5

A marquise M5 tem as seguintes características geométricas: comprimento de 23,55 m (perímetro), largura de 2.00 m, espessura da laje de 12 cm e um pé direito de 4,10 metros.

Em toda sua extensão a marquise encontra-se engastada em laje conforme se apresenta nas Figuras 34 e 35, tendo a mesma um vinculo estrutural, um engaste em laje e o bordo livre.

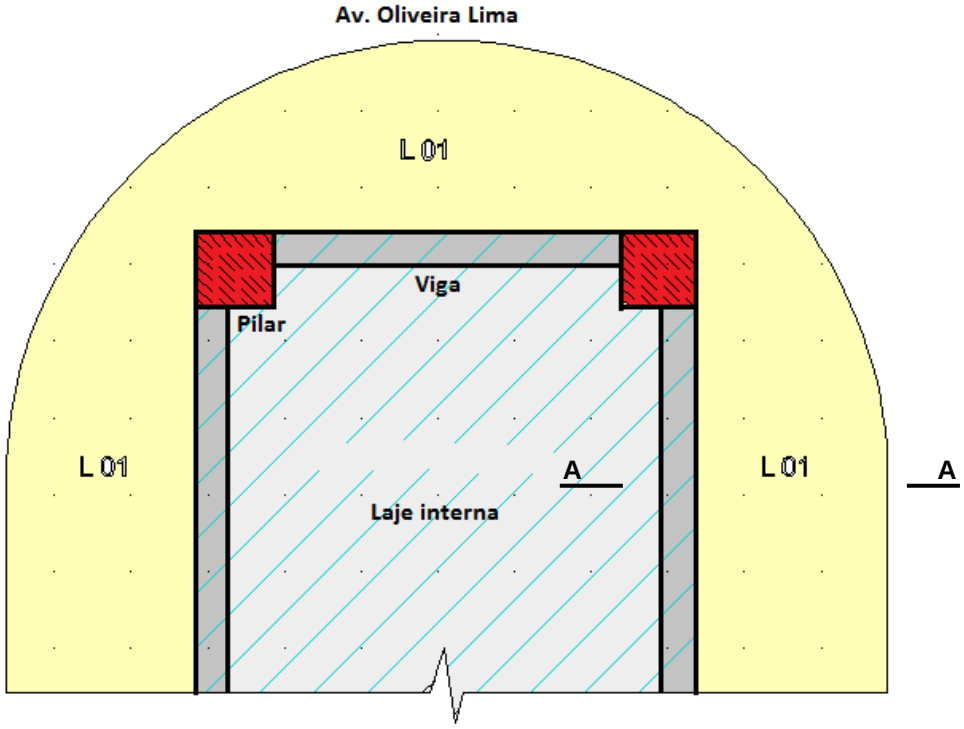


Figura 35 - Planta baixa com localização dos elementos estruturais da marquise M5 onde "L01" representa laje.

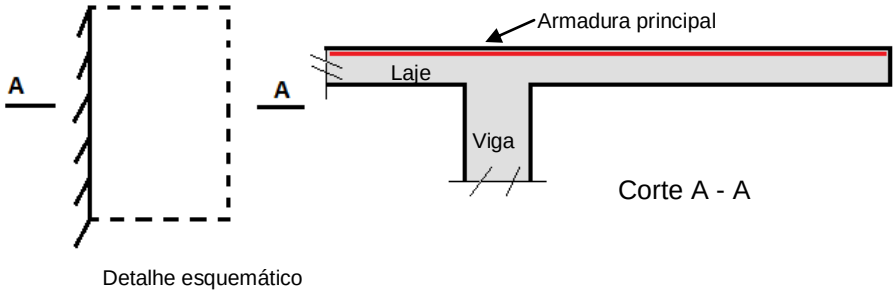


Figura 36 - Detalhe esquemático e corte na marquise

Na vistoria foram observadas as seguintes manifestações patológicas: infiltração, mofo, limo, bolor, corrosão, desplacamento do concreto, descolamento de pintura, fissuração e vegetação.

Como podemos observar nas Fotos 37 a 38, abaixo:

Foto 37 - Vegetação na região de apoio entre a parede e a marquise M5

Foto 38 - Lixo, bolor, lodo e vegetação na parte superior da marquise

Foto 39 - Armadura inferior exposta com desplacamento do concreto

Foto 40 - Fissura transversal, desplacamento de concreto e descolamento de pintura

4.3.5. Estudo de Caso 6 (M6-Colapso)

Na marquise em estudo, ocorreu um desabamento de um dos seus trechos dois dias após o carnaval de 2009. Localizada na esquina da Avenida Marquês de Olinda e a Rua Bom Jesus no Bairro do Recife Antigo, o maior polo carnavalesco do Recife, com elevada concentração de pessoas. Durante a vistoria, constatou-se que a edificação encontrava-se abandonada e não mantinha qualquer tipo de rotina de manutenção. Apesar de não ter ocasionado nenhum dano às pessoas, esse desabamento veio alertar para a situação de extremo perigo para os comerciantes e transeuntes que trabalham nessa região, assim como, demonstra o descaso do responsável pelo imóvel e das autoridades competentes, com o estado de conservação das marquises, principalmente daquelas localizadas nos prédios históricos da cidade ou em edificações abandonadas.

Durante a vistoria constatou-se que a marquise, tinha 2,0 metros de balanço, seus vínculos estruturais são engastes entre lajes, apoio simples sobre alvenaria ou viga, apoio simples sobre console e um bordo livre, variando em alguns trechos essas condições de apoio. Encontra-se situada em uma região onde a Agressividade Ambiental é do nível III, inserida sem registro de tempo em uma edificação com cerca de 80 anos de construída, uma arquitetura eclética da década de 30, conforme dados fornecidos pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional). Observa-se a seguir um croqui (Figuras 38 e 39) da marquise, levantamento geométrico, sua variação de vínculos estruturais e prováveis posicionamentos das armaduras.

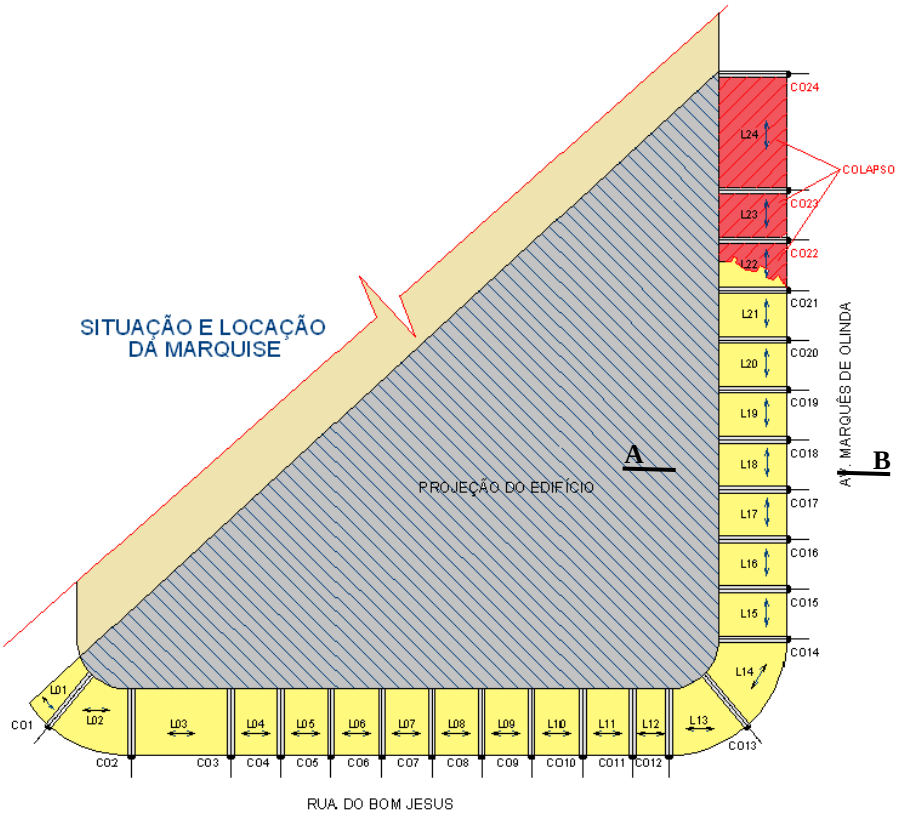


Figura 37 - Planta de situação e locação com a indicação dos elementos estruturais e trecho colapsado

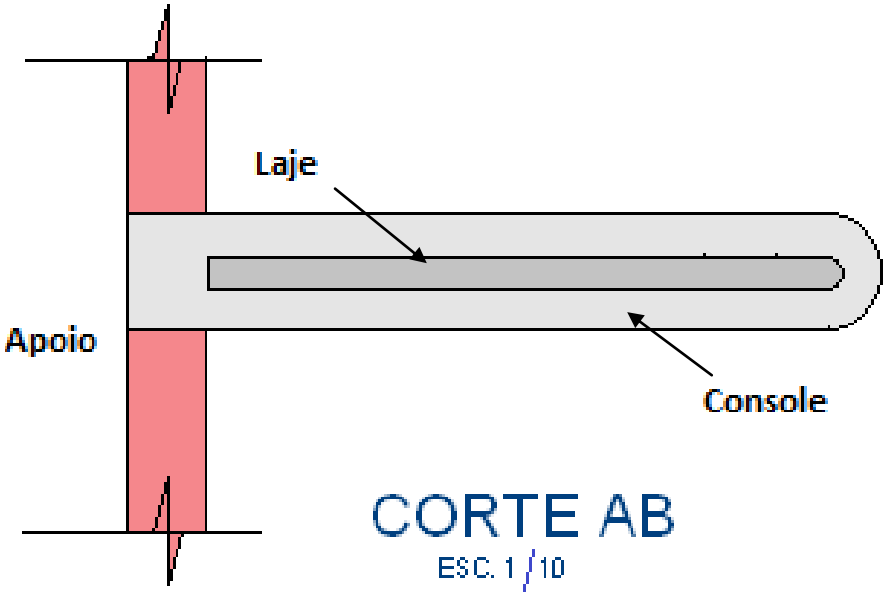


Figura 38 - Corte transversal na marquise, mostrando seus elementos, console e laje

As Fotos 41, 42, 43 e 44 mostram a parte da marquise que entrou em colapso e detalhes da mesmas.

Foto 41 - Colapso parcial de marquise no Centro do Recife

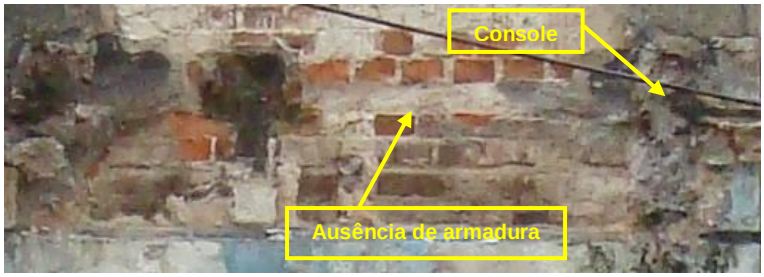


Foto 42 - Ampliação do detalhe “A” da Foto 82, onde se observa o local onde era o console, engastados na estrutura e onde era a laje da marquise, sem vinculo estrutural com a edificação

Foto 43 - Trecho da Marquise que colapsou lajes e consoles 22, 23 e 24

Foto 44 - Detalhe do console 23, com destaque para a armadura do console colapsado totalmente oxidada

Durante a vistoria encontrou-se diversas manifestações patológicas (Fotos 45, 46 e 47), entre elas pode-se destacar:

- Fissuras longitudinais nas lajes e consolos, com característica de inicio de desplacamento em concreto por corrosão nas armaduras;
- Perda de seção nas armaduras expostas, em alguns casos, com perda total, principalmente em lajes;
- Infiltração generalizada em todas as lajes da marquise;
- Presença de lodo e vegetação nas lajes e consolos.

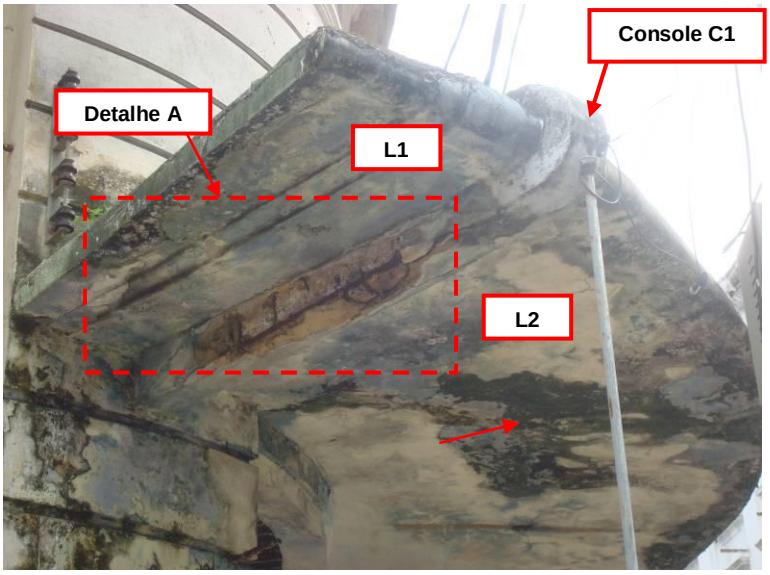


Foto 45 - Console C1 com armaduras expostas e Lajes L1 e L2, fissuradas e com infiltração

Foto 46 - Ampliação do detalhe "A" da Foto 86, com destaque para fissura e vegetação em L01 e desplacamento e corrosão com perda de seção nas armaduras com perda dos estribos

Foto 47 - Detalhe da laje L2, deformada, estando atirantada e vegetação sobre L3

Nas Fotos 48 e 49, observa-se que o console C1, perdeu seção de concreto com o desplacamento ocorrido, na armadura localizada na zona de compressão do console já houve perda de seção de ferragens e até perda total de armaduras de combate ao cisalhamento, estribos. A deficiência ou a ausência de armadura implica no surgimento de fissuras que por sua vez, passa a ser o melhor caminho para infiltrações e para a penetração de agentes agressivos, acelerando a perda de resistência do concreto, corrosão para as armaduras de tração e por fim o colapso da estrutura.

Foto 48 - Infiltração nas lajes e vegetação sobre console C7

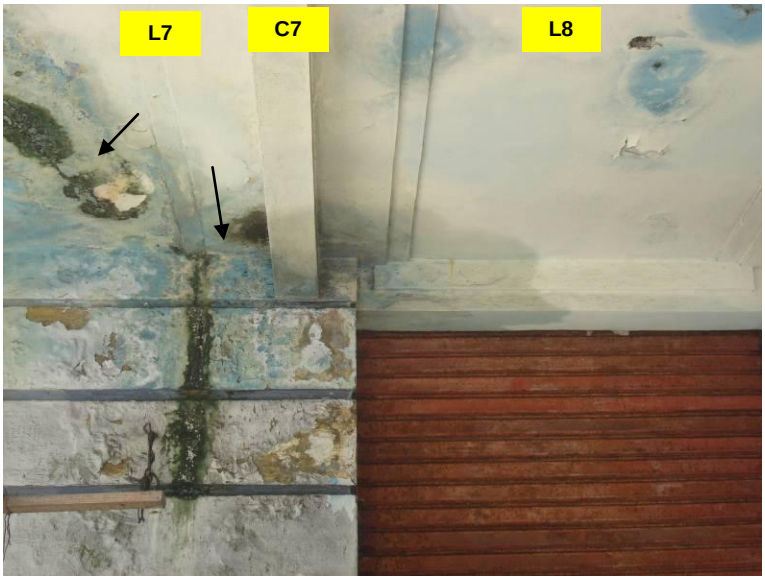


Foto 49 - Infiltração, fissura e lodo em L7, no local abaixo da vegetação apresentada na foto anterior

Constatou-se que o edifício vizinho drenava as águas pluviais provenientes da sua coberta sobre a marquise em estudo, com uma queda d'água de aproximadamente 9 metros de altura, exatamente sobre o trecho da marquise que colapsou (Fotos 50 e 51). Outro fato relevante observado durante a vistoria foi às diversas camadas de revestimentos aplicados sobre a laje da marquise (Foto 52).

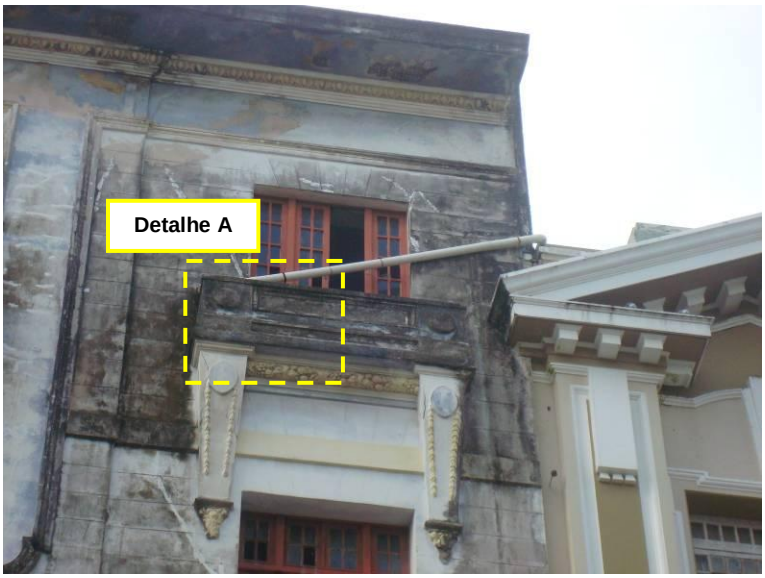


Foto 50 - Detalhe da tubulação de águas pluviais da edificação vizinha, drenando sobre o trecho da marquise que colapsou

Foto 51 - Ampliação do detalhe “A” da foto anterior, com destaque para a boca da tubulação de drenagem e para a fissura no console de apoio da sacada da janela

Foto 52 - Laje L20, deformada e com infiltração, característica de deficiência de impermeabilização

Sabe-se que a estabilidade estrutural de uma marquise está diretamente ligada à condição de conservação dos seus elementos estruturais, logo, pode-se afirmar que a manutenção constante de uma marquise é um dos fatores principais para evitar o desmoronamento da estrutura.

Passados 30 dias retornou-se ao local para coletar mais alguns dados, entre eles o numero de camadas de revestimentos executados sobre a laje da marquise, conforme se observa nas Fotos 53 e 54, foi registrado também a execução de tapume e de escoramento de modo inviável, e as sucessivas camadas de revestimentos (Foto 55).

Foto 53 - Detalhe do escoramento ao longo da marquise

Foto 54 - Escoramento executado e área selecionada por conter sucessivas camadas de revestimento cimentício

Foto 55 - Ampliação do detalhe "A" com destaque para as sucessivas camadas de revestimentos cimentício (3).

As principais causas de acidentes envolvendo marquises devem-se as fissuras, corrosão de armaduras, sobrecarga indevida, falhas de projeto, falhas na execução, deficiência de impermeabilização e à infiltração de água. Contudo, a ausência de manutenção leva a ocorrência e ao agravamento dessas manifestações patológicas, a degradação e até ao colapso da marquise.

4.3.6. Estudo de Caso 7 (M7)

A marquise M7 tem as seguintes características geométricas: comprimento de 32,00 m (perímetro), largura de 1.50 m, espessura de 12 cm e um pé direito de 3,00 m.

Em toda sua extensão a marquise (Figura 38) encontra-se engastada em viga conforme se apresenta na Figura 39, tendo a mesma um vinculo estrutural (engaste em viga e os bordos livres).

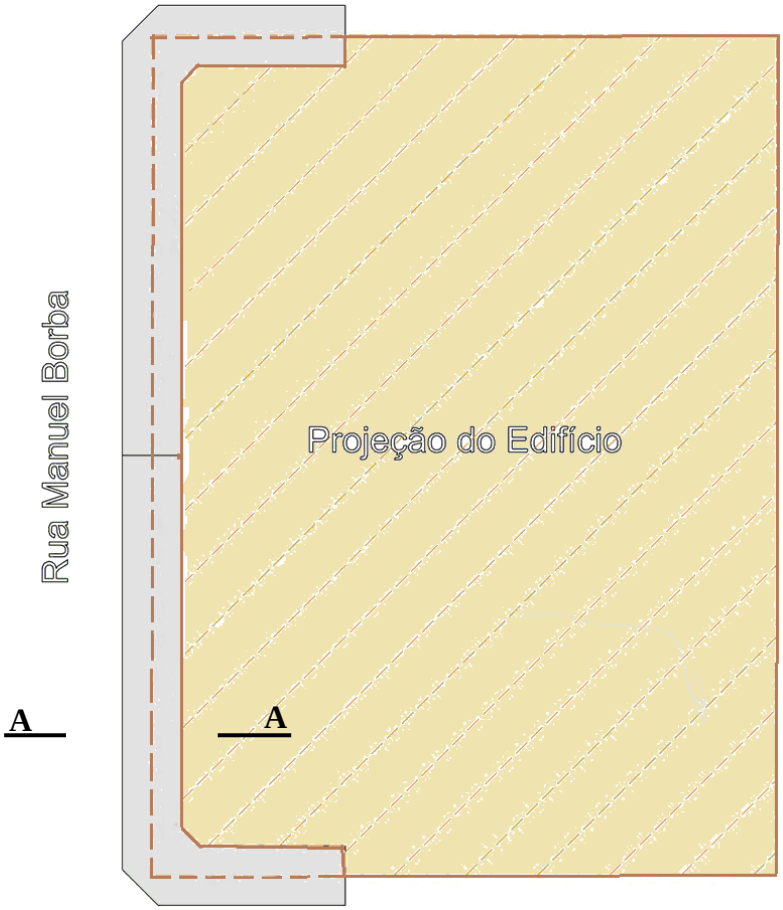


Figura 39 - Detalhe em planta baixa da marquise

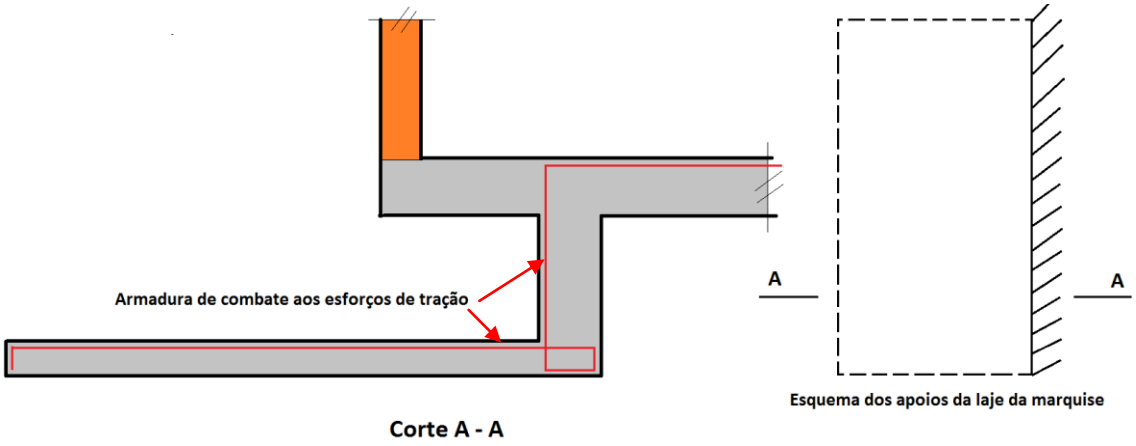


Figura 40 - Detalhe do corte A-A e esquema do vínculo

Na vistoria foram observadas as seguintes manifestações patológicas: infiltração, mofo, limo e bolor, corrosão, desplacamento do concreto, descolamento de pintura, fissuras e vegetação.

Como podemos observar das Fotos 56 a 62.

Foto 56 - Vista de trecho da marquise

Foto 57 - Desplacamento na viga por corrosão na armadura

Foto 58 - Fissura, infiltração, fungo e descolamento de pintura

Foto 59 - Detalhe da junta estrutural, com destaque para o fechamento na testada da marquise.

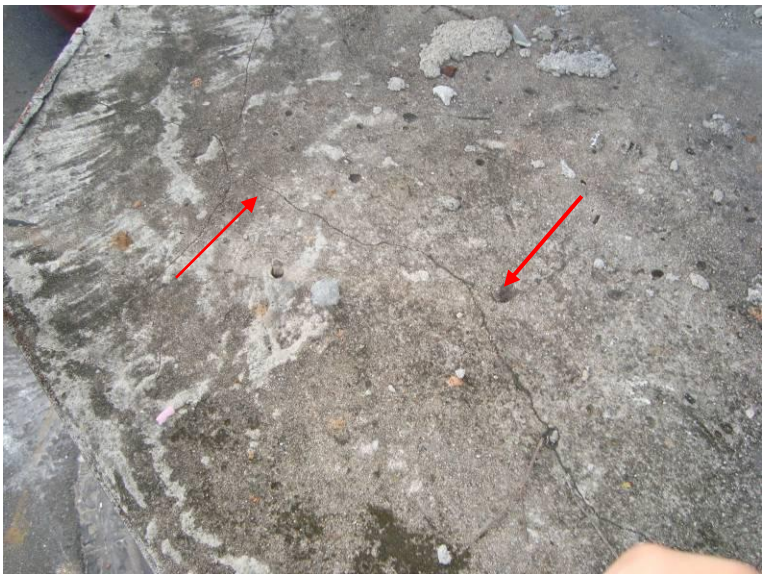


Foto 60 - Fissura na superfície superior da marquise no sentido da armadura principal.

Foto 61 - Infiltração com descolamento de pintura, característica de deficiência de impermeabilização

Foto 62 -Infiltração e fissuras no revestimento, característico de deficiência e ausência do respingador.

4.3.7. Estudo de Caso 8 (M8)

A marquise M8 tem as seguintes características geométricas: comprimento de 8,00 m (perímetro), largura de 1,70 m, espessura de 12 cm e um pé direito de 4,00 m.

Nessa marquise, apesar de pequena (Figura 40), não foi possível caracterizar suas condições de apoio, tendo em vista não ter sido autorizado à execução de ensaios destrutivos na sua superfície inferior. O fato de a mesma apresentar poucas manifestações patológicas visíveis, principalmente na superfície inferior, recentemente pintada, dificultou mais ainda a vistoria, não permitindo chegar a uma definição sobre seus vínculos. Em toda sua extensão a marquise encontra-se com um bordo livre, outro que pode ser um engaste ou apoio simples em viga e os outros dois podem ter sido dimensionados como bordos livre ou simplesmente apoiados (Figura 41).

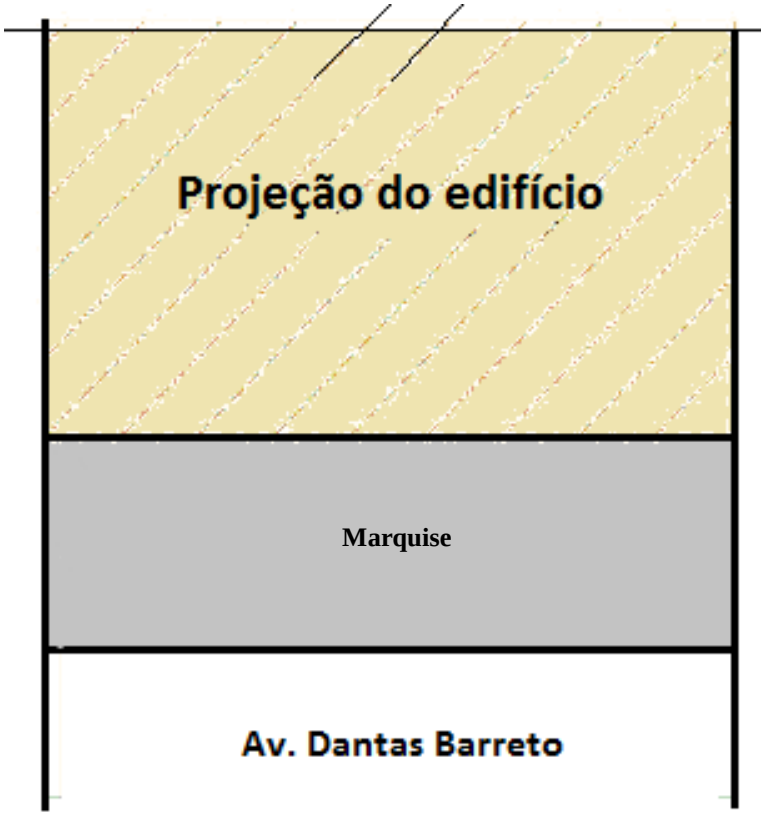


Figura 41 - Detalhe da projeção da lâmina da edificação

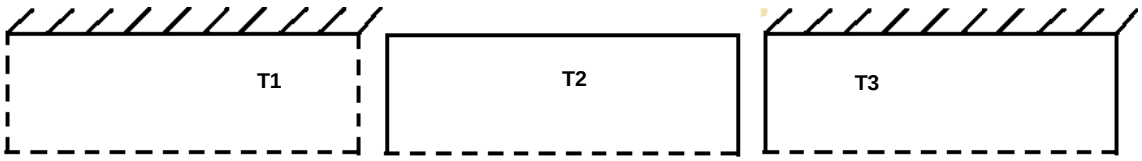


Figura 42 - Detalhe dos possíveis vínculos da marquise

A marquise M8 pode ter os seguintes tipos de vínculos:

T1 – Um engaste em viga e três bordos livres;

T2 – Três apoios simples e um bordo livre;

T3 – Um engaste, dois apoios simples e um bordo livre.

Só com a utilização de um Pacômetro poderia se definir os seus vínculos, já que não houve autorização para a execução de inspeção por método destrutivo. Partindo do principio de que, devido à inexistência de fissuras característica de esforços de tração, na superfície inferior pode-se admitir que a mesma não fosse do tipo 1 e tendo em vista a presença de armadura na superfície superior de diâmetro superior ao necessário para combater os esforços proveniente dos efeitos da dilatação térmica, pode-se acreditar que exista um engaste, logo, a inexistência de fissuras inferiores próximo aos apoios e a existência da armadura superior, nos leva a optar pelo tipo 3 que tem a seguinte configuração estrutural (Figura 42).

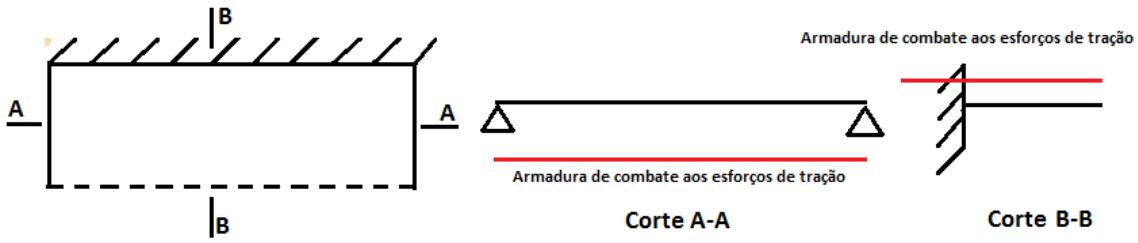


Figura 43 - Configuração estrutural da marquise

Na vistoria foram observadas as seguintes manifestações patológicas (Fotos 63 a 67): infiltrações, mofo, descolamento de pintura e fissuras.

Foto 63 - Vista da fachada frontal

Foto 64 - Fissura vertical na parede de apoio da marquise

Foto 65 - Infiltração na viga a qual a marquise encontra-se engastada

Foto 66 - Fissura horizontal e desplacamento do revestimento da parede de apoio à marquise

Foto 67 - Manchas escuras na testada da marquise

4.4. Resultados obtidos através da realização de ensaios

Diante dos resultados obtidos, buscou-se junto aos proprietários das marquises apresentadas no item anterior, autorização para a realização de ensaios e dentre elas selecionou-se 4 (quatro) marquises, levando em consideração a acessibilidade, condições de vínculos, Classe de Agressividade Ambiental e manifestações patológicas. Sendo assim, realizaram-se ensaios nas marquises M4, M5, M7 e M8, obedecendo à sequência abaixo:

- Esclerometria (NBR 07584 (1995));
- Ultrassom (NBR 08802 (1994))
- Potencial de corrosão (ASTM 876 (2009));
- Carbonatação (RILEM TC 116-PCD (1999));

- Método colorimétrico de aspersão de nitrato de prata (UNI 7928 – Unificazione Nazionale Italiana (1978));

Para a execução dos ensaios fez-se necessário retomarmos as suas características físicas, suas manifestações patológicas e calibrar os equipamentos, especialmente o Esclerômetro de Reflexão, para só assim, no local, escolher a localização dos pontos onde seriam realizados os ensaios nas marquises.

4.4.1. Calibração e referenciação entre Índice de Reflexão e Resistência a Compressão

Devido ao projeto destas marquises serem antigos, a coleta destes dados sobre as características do concreto em projeto se torna difícil. Uma maneira de conhecer a resistência à compressão do concreto das marquises seria através da execução de ensaios com a extração de corpos de prova, ou através da realização do ensaio de esclerometria, que mede a dureza superficial do concreto.

Antes de realizar os ensaios de esclerometria faz-se necessário a realização da calibração do instrumento de medição utilizado. No caso em estudo, o equipamento empregado na pesquisa apresenta certificado de calibração efetuada pelo fabricante, porém, a fim de uma maior acuidade com os resultados foi realizada uma referenciação entre o índice de reflexão obtido em corpos de prova cilíndricos (10 x 20) cm e os seus respectivos valores de resistência à compressão, como se pode observar no Apêndice I.

Utilizando 36 corpos de prova, realizando 10 impactos em cada corpo, relacionou-se o índice de reflexão médio e o valor obtido na ruptura durante o ensaio de resistência a compressão. Também foi levado em conta o fato de que nos ensaios realizados em campo sobre as marquises o equipamento encontrava-se a - 90^{o} enquanto nos corpos de prova estava a 0^{o}. Ao final, com os resultados obtidos gerou-se uma Figura fazendo a referenciação entre o Índice

Esclerométrico Médio (IEM) com a Resistência a Compressão Média correspondente, obtida em laboratório conforme a Figura 7 do Apêndice I (Figura 43).

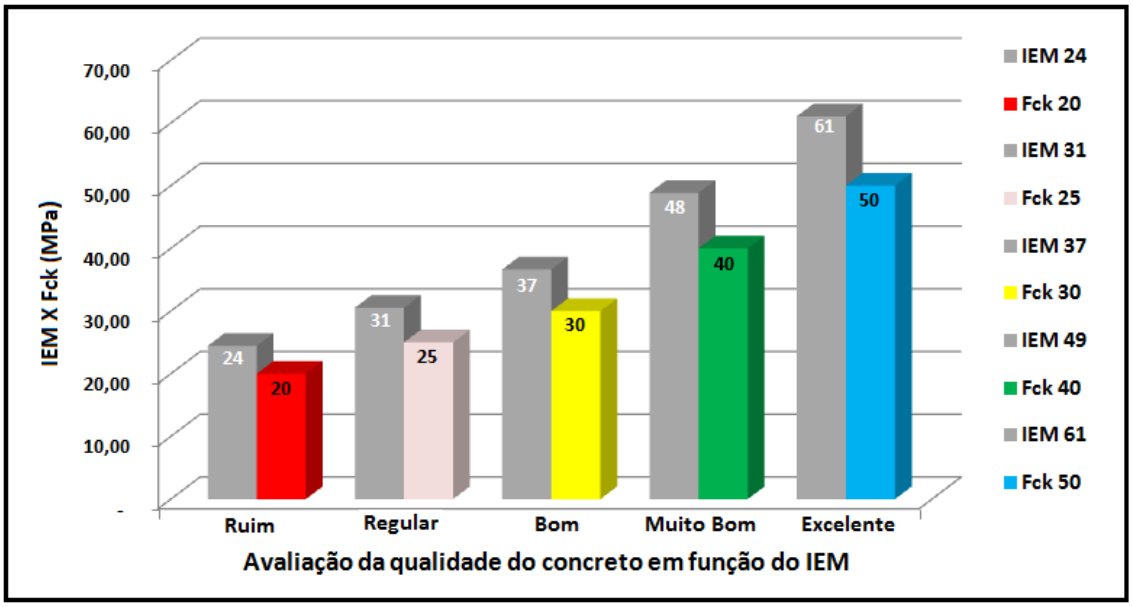


Figura 44 - Figura 1 do Apêndice I (Avaliação da qualidade do concreto em função do IEM)

4.5. Ensaio de esclerometria

Para dar inicio aos ensaios foi necessário executar a remoção de parte do revestimento superior da marquise, demarcar seis locais na superfície superior da marquise com uma dimensão de 30x30 cm, numeradas em áreas de 1 a 6 (Foto 68) remover todo o revestimento argamassado e em seguida executar a limpeza da área sobre a superfície de concreto.

Foto 68 - Localização dos locais na parte superior da marquise para remoção do revestimento

Para execução do processo de limpeza realizou-se o esmerilhamento da área e a remoção de todo resíduo da superfície, em seguida foi demarcado um quadro de 9 x 9 cm e dentro de cada, nove subáreas de 3x3 cm (Foto 69). Em seguida foram realizados os impactos com o esclerômetro de reflexão (Foto 70), sendo realizados nas seis áreas demarcadas nove impactos, num total de 54 impactos.

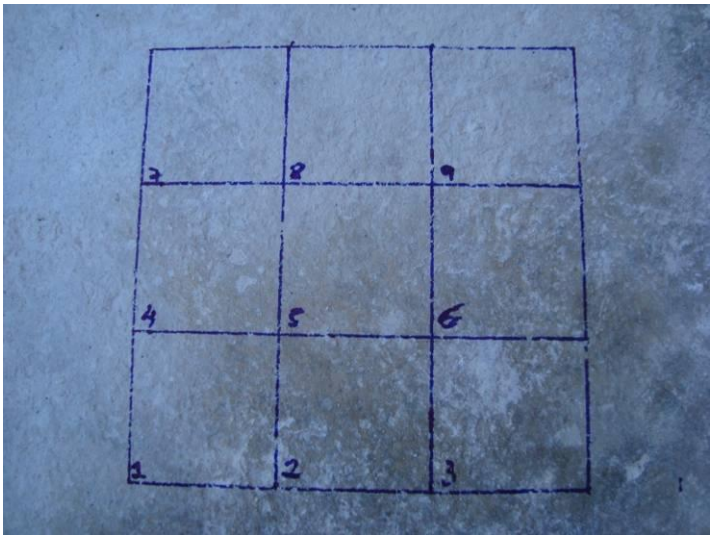


Foto 69 - Malha de 9 x 9 centímetros para o ensaio de esclerometria

Foto 70 - Ensaio de esclerometria sendo executado

4.5.1. Marquise M4

As Tabelas 11, 12 e 13 apresentam os resultados obtidos na marquise M4, ensaiada. Observam-se os valores que se encontravam fora da faixa de intervalo da norma destacados em amarelo.

Tabela 11- Índice de reflexão da marquise M4

Área	Índice de Reflexão M04								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	32,1	35	45	34	25,1	35	25	32	26
2	32,4	28,5	31	34	31,1	32,7	32,1	36	25,9
3	32,8	31,9	29,8	32	28,2	32	31,9	28,5	31,6
4	31,2	30	29,3	33	34	33	32	27,2	32
5	34	36	38	34	34	32	34	33	38
6	32	30	32	36,2	33,9	34	33,9	33,9	28,5

Tabela 12 - Média do índice de reflexão da marquise M4

Área	Média	Intervalo		M final
		-10%	10%	
1	32,13	28,92	35,35	33,62
2	31,52	28,37	34,67	31,69
3	30,97	27,87	34,06	30,97
4	31,30	28,17	34,43	31,81
5	34,78	31,30	38,26	31,50
6	32,71	29,44	35,98	32,81

Tabela 13 - Índice de reflexão médio e dureza superficial através do ábaco do esclerômetro com fck de referência, conforme Apêndice I

Área	Reflexão Média	Dureza Superficial W(MPa)				fck (Apêndice I)
		Wmed	ΔW	Wmax	Wmin	
1	33,62	35,70	6,90	42,60	28,80	27,52
2	31,69	32,00	6,60	38,60	25,40	25,94
3	30,97	31,10	6,56	37,66	24,54	25,35
4	31,81	32,30	6,62	38,92	25,68	26,04
5	31,50	31,90	6,59	38,49	25,31	25,79
6	32,81	34,00	6,70	40,70	27,30	26,87
Média	**32,07**	**32,83**	**6,66**	**39,50**	**26,17**	**26,25**

Após a apresentação desses resultados onde se obteve valores médios para o IEM de 32,07, correspondendo a uma dureza superficial média de 32,83 MPa, e sendo feita a referenciação sugerida na Figura 43, se obtêm um fck de referencia de 26,25 MPa, levando a indicação de que o concreto da marquise M4 situa-se em uma condição de qualidade regular conforme se apresenta no Figura 44.

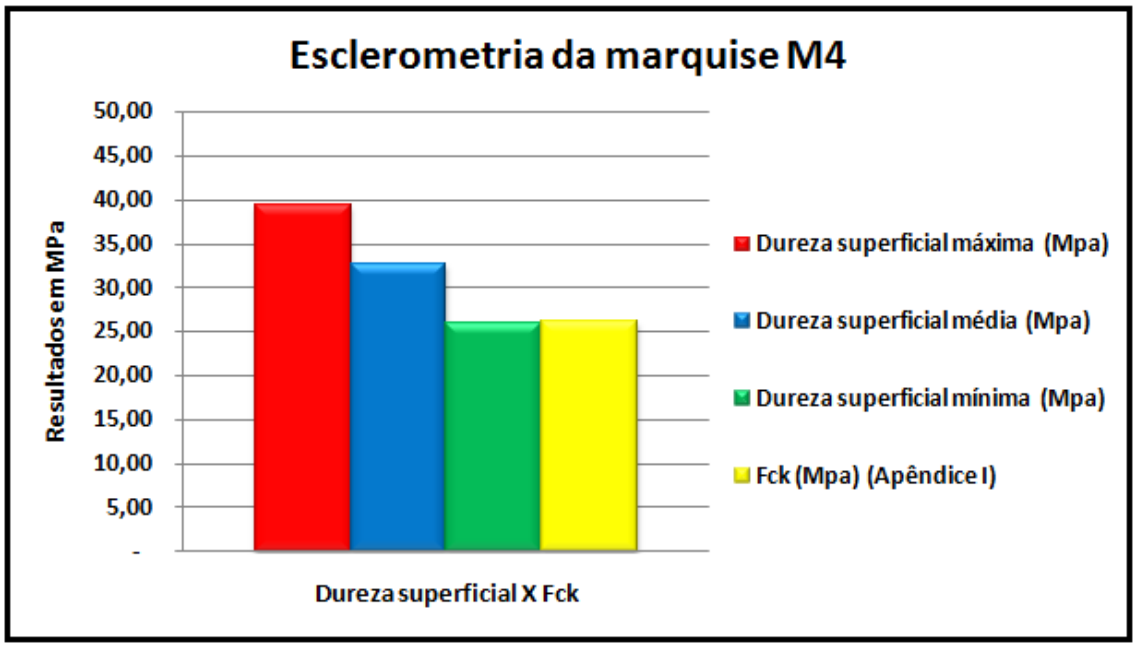


Figura 45 - Comparação entre a dureza superficial e a tensão de compressão (fck) de referenciação sugerida no apêndice I, da marquise M4.

4.5.2. Marquise M5

As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam os resultados obtidos na marquise M5, ensaiada.

Tabela 14 - Índice de reflexão da marquise M5

Área	Índice de Reflexão M05								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	36,6	32	43,7	26,6	28,5	32,9	33	30	27
2	30,4	33	34	38	28,7	32,6	25	29	35
3	35,9	35,9	37	37,8	31,6	30,6	38,8	33	34
4	24	33,9	31	35,6	37,7	36,6	31,3	27,2	22,6
5	28	26,5	27	27,6	22,6	28	28	28	26,5
6	34,1	42,3	34,6	27,7	40	25,6	36,6	32	33,9

Tabela 15 - Média do índice de reflexão da marquise M5

Peça	Média	Intervalo		M final
		-10%	10%	
1	32,26	29,03	35,48	31,98
2	31,74	28,57	34,92	31,28
3	34,96	31,46	38,45	35,03
4	31,10	27,99	34,21	NÃO
5	26,91	24,22	29,60	27,45
6	34,09	30,68	37,50	34,24

Tabela 16 - Índice de reflexão médio e dureza superficial através do ábaco do esclerômetro com fck de referencia, conforme Apêndice I

Área	Reflexão Média	Dureza Superficial W(MPa)				fck (Apêndice I)
		Wmed	Δ W	Wmax	Wmin	
1	31,98	33,20	6,66	39,86	26,54	26,18
2	31,28	31,50	6,58	38,08	24,92	25,61
3	35,03	39,90	6,97	46,87	32,93	28,68
4	NÃO					
5	27,45	25,60	6,35	31,95	19,25	22,47
6	34,24	35,60	6,83	42,43	28,77	28,03
Média	32,00	33,16	6,68	39,84	26,48	26,19

Após a apresentação desses resultados onde se obteve valores médios para o IEM de 32,00, correspondendo a uma dureza superficial média de 33,16 MPa, e sendo feita a referenciação sugerida na Figura 43 do apêndice, se obtêm um fck de referencia de 26,19 MPa, levando a indicação de que o concreto da marquise M5 situa-se em uma condição de qualidade regular, conforme o Figura 45.

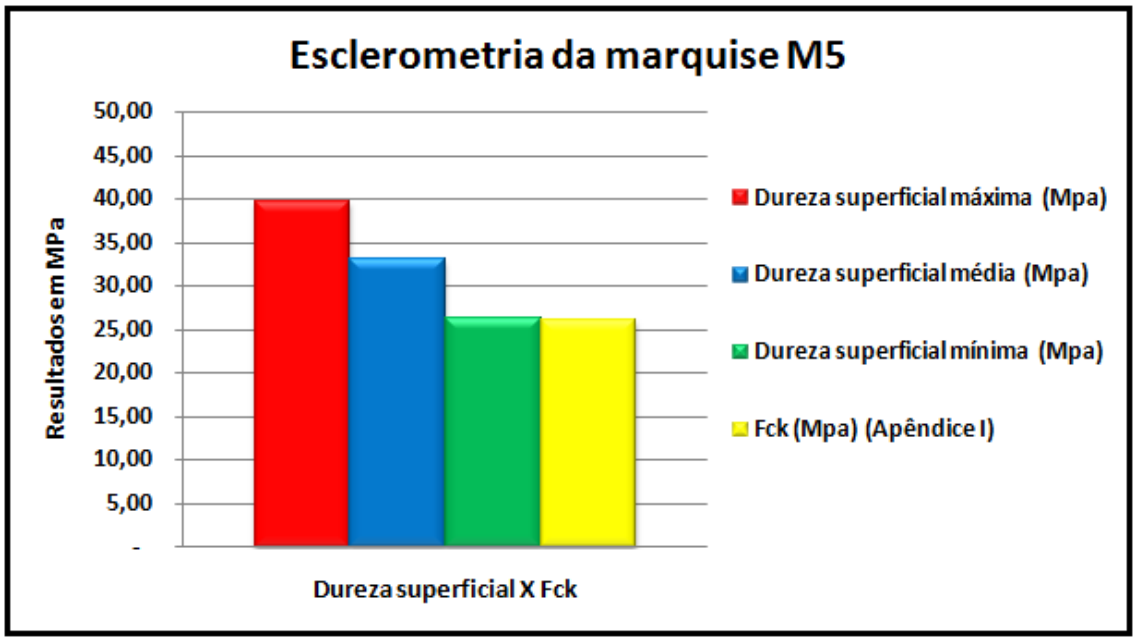


Figura 46 - Comparação entre a dureza superficial e a tensão de compressão (fck) de referenciação sugerida no apêndice I, da marquise M5.

4.5.3. Marquise M7

As Tabelas 17, 18 e 19 apresentam os resultados obtidos na marquise M7, ensaiada.

Tabela 17 - Índice de reflexão da marquise M7

Área	Índice de Reflexão M07								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	48	38	30	37,9	38,2	38	38	37	39
2	33	32	33	34	33	34	36	33,2	34,8
3	34	34	34	38	36,3	37	40	43	42
4	31	32,4	35	33	34	33	34	31	36
5	34	28	44	38	32	45	48	30	38
6	36,1	34	34	34,3	33	33,9	36	48	34

Tabela 18 - Média do índice de reflexão da marquise M7

Área	Média	Intervalo		M final
		-10%	10%	
1	38,23	34,41	42,06	38,01
2	33,67	30,30	37,03	33,67
3	37,59	33,83	41,35	36,19
4	33,27	29,94	36,59	33,27
5	37,44	33,70	41,19	NÃO
6	35,92	32,33	39,51	34,41

Tabela 19 - Índice de reflexão médio e dureza superficial da marquise M7 através do ábaco do esclerômetro com fck de referencia, conforme Apêndice I

Área	Reflexão Média	Dureza Superficial W(MPa)				fck (Apêndice I)
		Wmed	Δ W	Wmax	Wmin	
1	38,01	43,00	7,15	50,15	35,85	31,12
2	33,67	35,30	6,88	42,18	28,42	27,56
3	36,19	39,90	6,97	46,87	32,93	29,63
4	33,27	34,90	6,80	41,70	28,10	27,24
5	NÃO					
6	34,41	36,90	6,84	43,74	30,06	28,17
Média	35,11	38,00	6,93	44,93	31,07	28,74

Após a apresentação desses resultados onde se obteve valores médios para o IEM de 35,11, correspondendo a uma dureza superficial média de 38,00 MPa, e sendo feita a referenciação sugerida na Figura 43 do apêndice, se obtêm um fck de referencia de 28,74 MPa, levando a indicação de que o concreto da marquise M7 situa-se em uma condição de qualidade regular a bom, conforme o Figura 46.

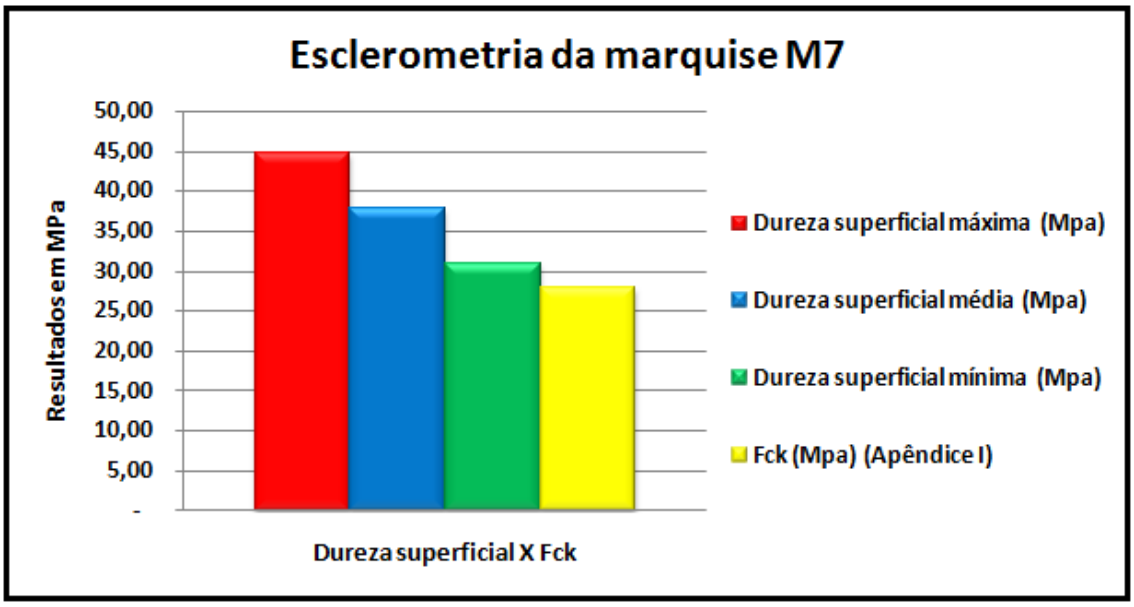


Figura 47 - Comparação entre a dureza superficial e a tensão de compressão (fck) de referenciação sugerida no apêndice I, da marquise M7.

4.5.4. Marquise M8

As Tabelas 20, 21 e 22 apresentam os resultados obtidos na marquise M8, ensaiada.

Tabela 20 - Índice de reflexão da marquise M8

Área	Índice de Reflexão M08								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	30,9	34	36	34	36	36	28	34	32
2	48	28	48	48	30	38	48	39	30
3	36	42	30	42	42	38	44	28	39
4	31	40	40	32	44	40	35,3	40	44
5	45	40	42	38	32	42	38	42	42
6	28	22	29	30	30	37	30	27	27

Tabela 21 - Média do índice de reflexão da marquise M8

Área	Média	Intervalo		M final
		-10%	10%	
1	33,43	30,09	36,78	33,43
2	39,67	35,70	43,63	NÃO
3	37,89	34,10	41,68	NÃO
4	38,48	34,63	42,33	39,06
5	40,11	36,10	44,12	40,57
6	28,89	26,00	31,78	28,71

Tabela 22 - Índice de reflexão médio e dureza superficial da marquise M8 através do ábaco do esclerômetro com fck de referencia, Apêndice I

Área	Reflexão Média	Dureza Superficial W(MPa)				fck (Apêndice I)
		Wmed	ΔW	Wmax	Wmin	
1	33,43	35,10	6,77	41,87	28,33	27,37
2	NÃO					
3	NÃO					
4	39,06	44,90	7,30	52,20	37,60	31,98
5	40,57	47,50	7,38	54,88	40,12	33,22
6	28,71	27,20	6,36	33,56	20,84	23,51
Média	**35,44**	**38,68**	**6,95**	**45,63**	**31,72**	**29,02**

Após a apresentação desses resultados onde se obteve valores médios para o IEM de 35,44, correspondendo a uma dureza superficial média de 38,68 MPa, e sendo feita a referenciação sugerida no Figura 43 do Apêndice I, se obtêm um fck de referencia de 29,02 MPa, levando a indicação de que o concreto da marquise M8 situa-se em uma condição de qualidade regular a bom, conforme o Figura 47.

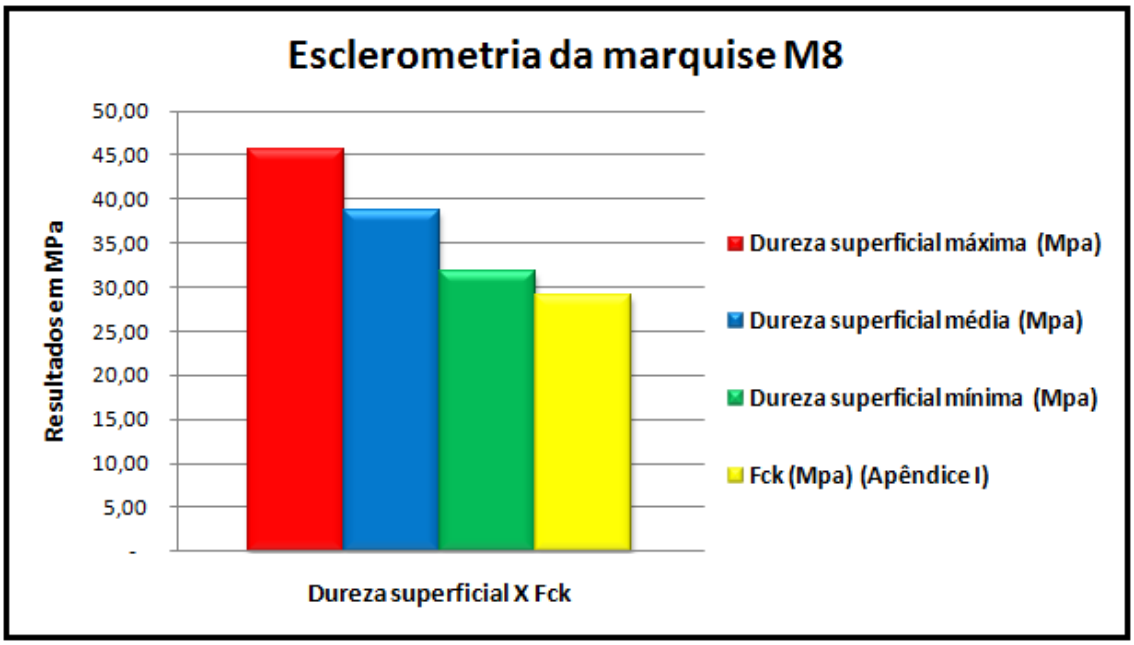


Figura 48 - Comparação entre a dureza superficial e a tensão de compressão (fck) de referenciação sugerida no apêndice I, da marquise M8.

Pelos resultados obtidos através dos dois métodos de ensaios utilizados, observa-se que os concretos das marquises estudadas podem ser considerados bons e com uma tensão de compressão que atende as exigências das normas em vigor (> 20MPa), mesmo tendo sido executadas em épocas diferentes e se situarem em regiões com Agressividade Ambiental também diferentes (Figura 48).

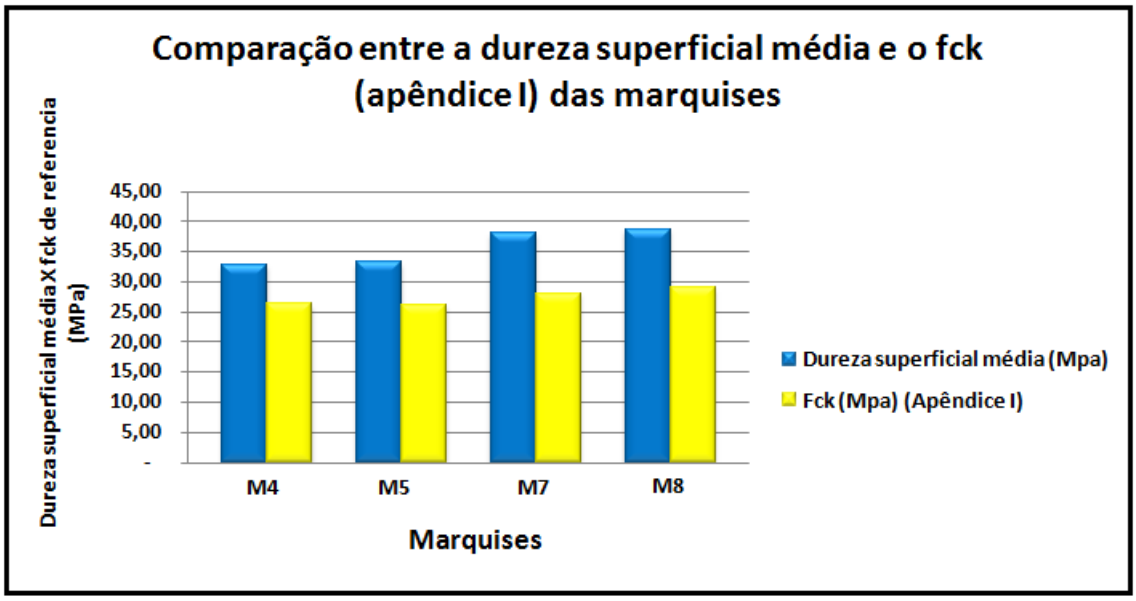


Figura 49 – Dureza superficial média e fck de referencia, conforme Apêndice I, de todas as marquises ensaiadas

4.6. Ultrassom

Para execução do ensaio de Ultrassom, aproveitaram-se as áreas já demarcadas para realização da esclerometria, com exceção da marquise M4 onde se aproveitou uma área que teve o revestimento removido. O ensaio foi realizado colocando-se o emissor fixo na área denominada de 1 de cada marquise e o receptor foi deslocado entre as demais áreas numeradas de 1 a 6, sendo realizado seis leituras de tempo em cada área, totalizando 36 leituras por marquise. Também foram medidas as distâncias entre o receptor e o emissor do equipamento. As Fotos 71 e 72 mostram a utilização do Ultrassom nas marquises estudadas.

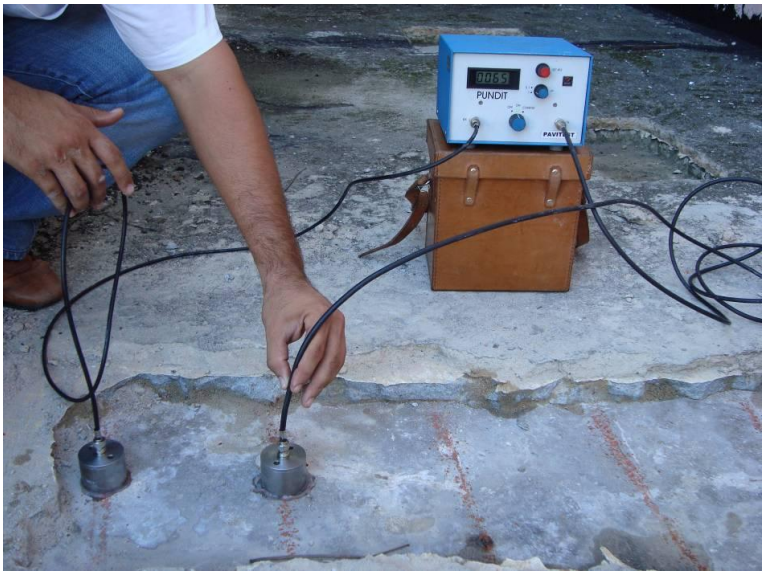


Foto 71 - Execução do ensaio de ultrassom

Foto 72 - Execução do ensaio de ultrassom

4.6.1. Marquise M4

A Tabela 23 mostra as distâncias entre o receptor (posição variável) e o emissor (fixo) e os respectivos resultados do tempo da propagação da onda ultrassônica em microssegundos. A Figura 49 apresenta o resultado do cálculo das velocidades médias que o som percorre na estrutura a medida que foi variando as distâncias do emissor ao receptor.

Tabela 23 – Leituras do tempo da velocidade de propagação do em microssegundo

Ultrassom M04						
Emissor	Receptor	Receptor	Receptor	Receptor	Receptor	Receptor
fixo(0 cm)	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	120 cm
Tempo em µs	65	160	169	358	425	561
	65	107	158	300	415	523
	66	110	160	303	410	528
	60	120	155	310	413	520
	45	110	160	298	417	500
	51	115	172	301	408	499

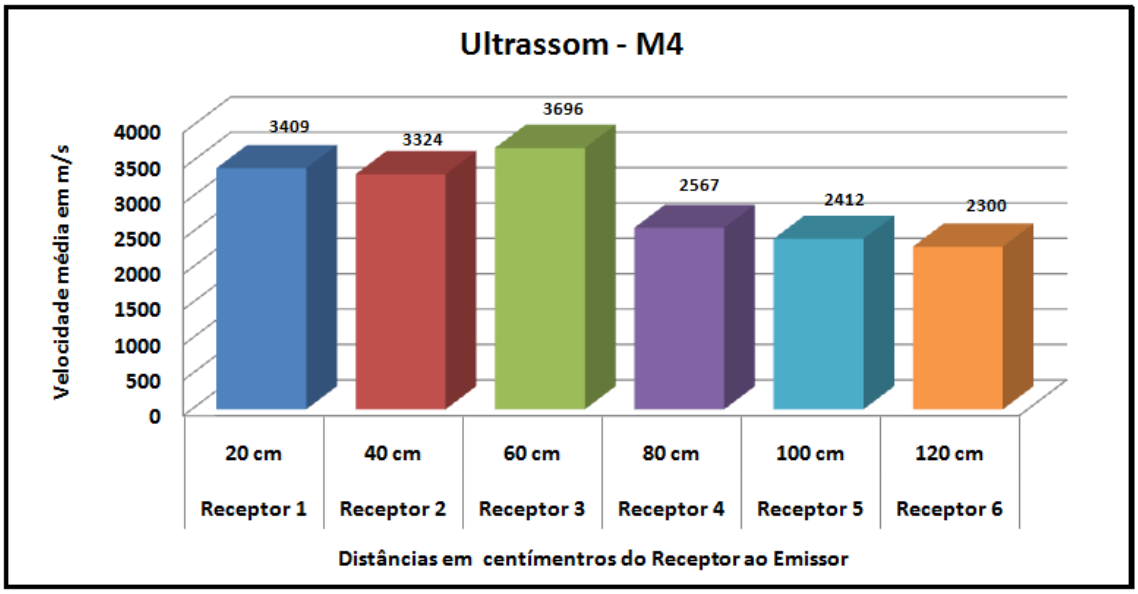


Figura 50 – Gráfico da velocidade média ultrassônica de M4

Os resultados do ultrassom na marquise M4 mostram que nos pontos 4, 5 e 6 indicam que o concreto é de qualidade regular, já nos pontos 1 e 2 a velocidade indica que o concreto é bom e no ponto 3 com uma velocidade de 3696 m/s apresenta uma classificação de qualidade ótimo.

4.6.2. *Marquise M5*

A Tabela 24 mostra as distâncias entre o receptor (posição variável) e o emissor (fixo) e os respectivos resultados das leituras do tempo em microssegundos da propagação da onda ultrassônica. A Figura 50 apresenta o resultado do cálculo das velocidades médias que o som percorre na estrutura a medida que foi variando as distâncias do emissor e do receptor.

Tabela 24 - Leituras do tempo da velocidade de propagação do som em microssegundo

Ultrassom M05						
Emissor	Receptor	Receptor	Receptor	Receptor	Receptor	Receptor
Fixo(0 cm)	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	120 cm
Tempo em µs	95	137	269	358	430	569
	93	139	189	335	415	553
	90	140	191	338	410	548
	99	150	182	345	413	520
	96	140	193	333	434	532
	91	135	202	346	438	531

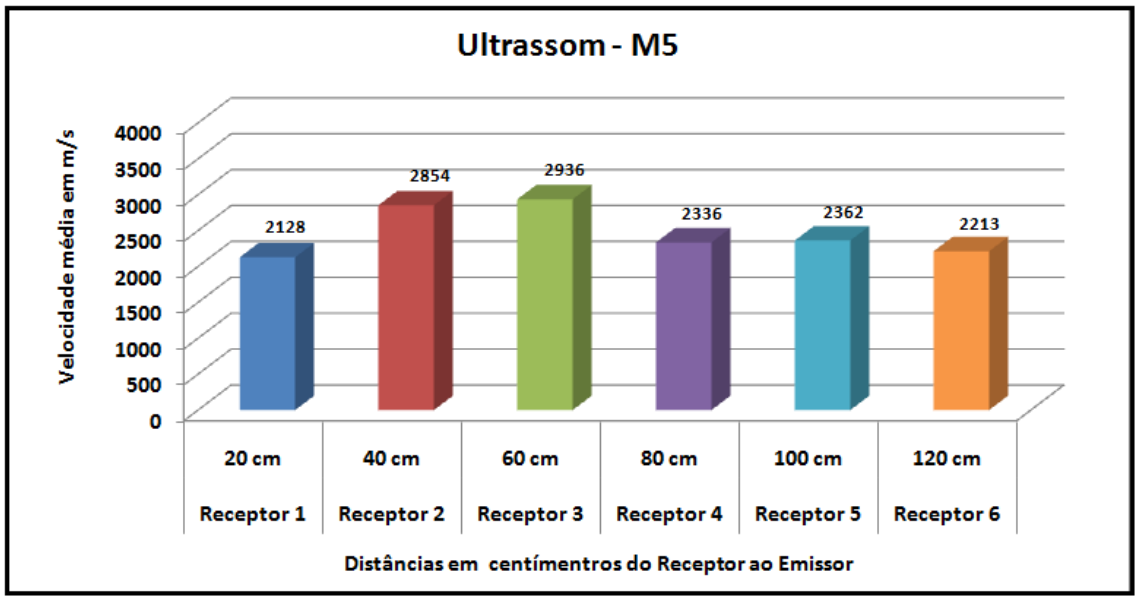


Figura 51 – Gráfico da velocidade média ultrassônica de M5

Os resultados do ultrassom na marquise M5 mostram que, na região na qual o ensaio foi realizado, o concreto apresenta uma velocidade ultrassônica abaixo de 3000 m/s, sinalizando para um concreto de qualidade regular.

4.6.3. Marquise M7

O ensaio de ultrassom foi realizado colocando-se o emissor fixo na Área 6 e o receptor foi deslocado entre as Áreas 6 e 1, sendo realizado seis leituras de tempo para cada área, totalizando 36 leituras na marquise M7. Também foram medidas as distâncias entre o receptor e o emissor do equipamento. A Tabela 26 mostra as distâncias entre o receptor (posição variável) e o emissor (fixo) e os respectivos resultados das leituras do tempo em microssegundo da propagação da onda ultrassônica. A Figura 51 apresenta o resultado do cálculo das velocidades médias que o som percorre na estrutura a medida que vão variando as distâncias do emissor ao receptor.

Tabela 25 - Leituras do tempo da velocidade de propagação do som em microssegundo

Ultrassom M07						
Emissor (área 6)	Receptor (área 6)	Receptor (área 5)	Receptor (área 4)	Receptor (área 3)	Receptor (área 2)	Receptor (área 1)
fixo(0 cm)	10 cm	60 cm	110 cm	160 cm	210 cm	260 cm
Tempo em µs	100	300	870	1070	1567	1890
	117	331	865	1047	1587	1900
	112	345	890	1054	1567	1876
	109	365	900	1078	1565	1856
	134	334	976	1056	1543	1890
	123	324	889	1034	1545	1901

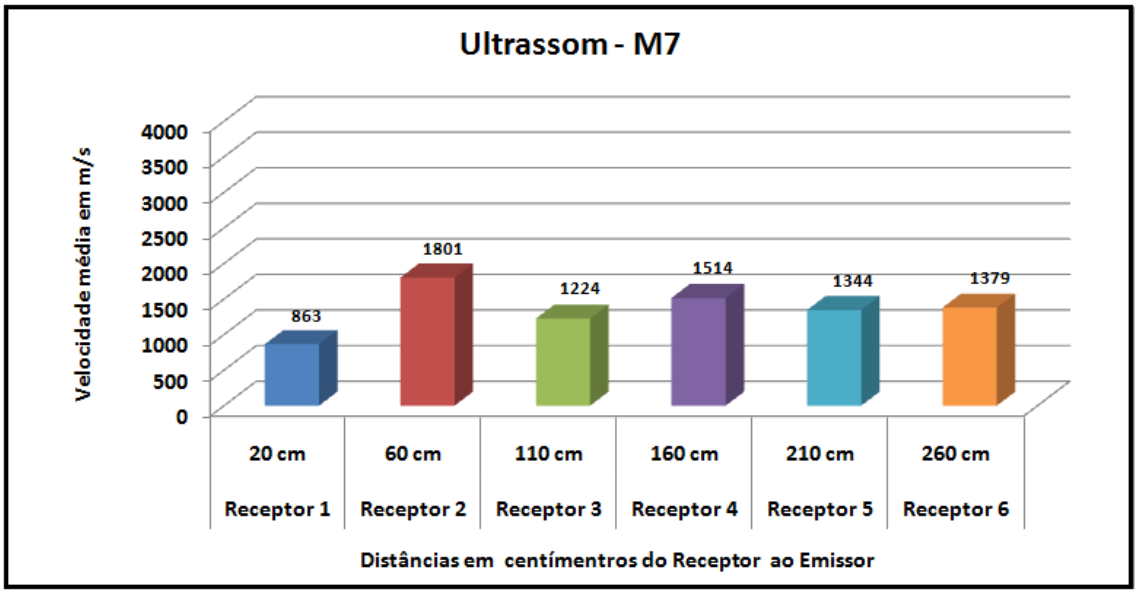


Figura 52 – Gráfico da velocidade média ultrassônica de M7

Os resultados do ultrassom na Marquise M7 mostram que, na região na qual o ensaio foi realizado, o concreto apresenta uma velocidade ultrassônica abaixo de 2000 m/s, sinalizando para um concreto de qualidade ruim.

4.6.4. Marquise M8

Na marquise M8 foi aberta uma área a mais, a Área 7, nela foi fixado o emissor e deslocou-se o receptor da Área 6 até a Área 1, sendo realizado seis leituras de tempo para cada área, totalizando 36 leituras na marquise M8. Também foram medidas as distâncias entre o receptor e o emissor do equipamento. A Tabela 26 mostra as distancias entre o receptor (posição variável) e o emissor (fixo) e os respectivos resultados das leituras do tempo em microssegundo da propagação da onda ultrassônica. A Figura 52 resulta do cálculo das velocidades médias que o som percorre na estrutura a medida que vão variando as distâncias do emissor ao receptor.

Tabela 26 - Leituras do tempo da velocidade de propagação do som em microssegundo

Ultrassom M08						
Emissor (área 7)	Receptor (área 6)	Receptor (área 5)	Receptor (área 4)	Receptor (área 3)	Receptor (área 2)	Receptor (área 1)
fixo(0 cm)	30 cm	90 cm	150 cm	210 cm	270 cm	330 cm
Tempo em µs	610	1492	2000	3000	4500	5600
	873	1487	2012	3166	4300	5827
	790	1458	2080	2996	4937	5706
	763	1427	2077	2997	4800	5558
	790	1448	2048	3014	4732	5559
	639	1328	2057	3050	4837	5935

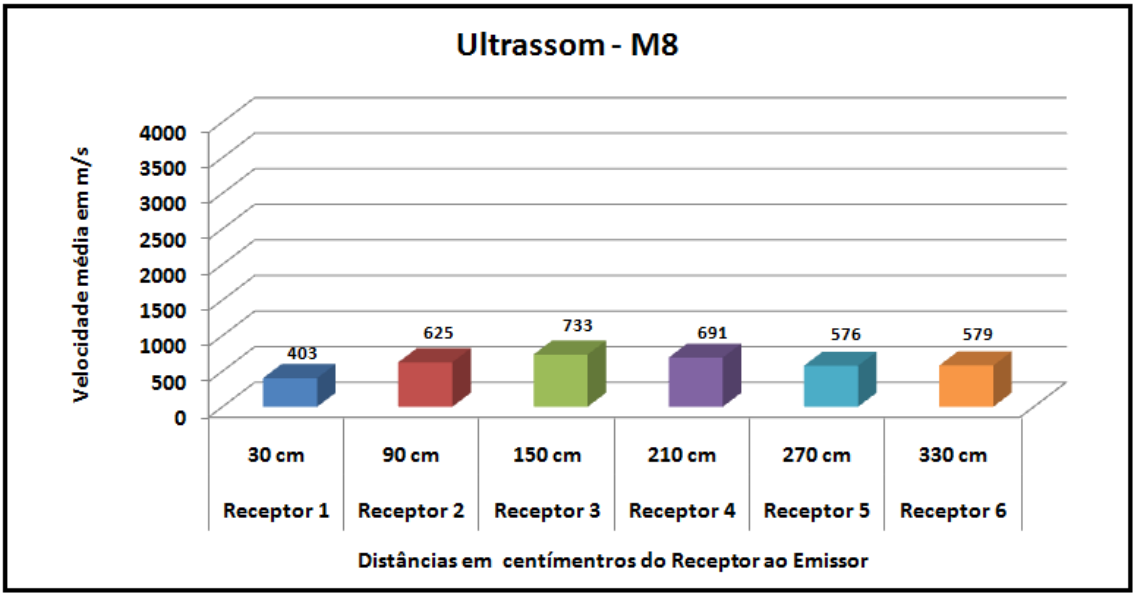


Figura 53 – Gráfico da velocidade média ultrassônica de M8

Os resultados do ultrassom na marquise M8 mostram que, na região na qual o ensaio foi realizado, o concreto apresenta uma velocidade ultrassônica abaixo de 2000 m/s, sinalizando para um concreto de qualidade ruim.

Os resultados obtidos através do ensaio de Ultrassom mostram que as marquises M4 e M5 que tem a mesma idade, 76 anos, pertencem ao mesmo conjunto de obras e estão na Classe de Agressividade Ambiental II, em uma região de pouco fluxo de veículos, apresentam um concreto com uma qualidade de regular a ótimo. A Marquise M7 situa-se em uma Classe de

Agressividade Ambiental II, construção mais nova que as duas anteriores, localizada em uma rua de grande fluxo de veículos de pequeno porte, apresenta um concreto de qualidade ruim. Já a Marquise M8, mais nova que as duas primeiras, situada em uma Classe de Agressividade Ambiental III, em uma avenida de grande fluxo de veículos inclusive de transporte coletivo, apresenta um concreto de qualidade ruim e com valores da velocidade média de propagação do som bem menor que as demais marquises.

4.7. Potencial de Corrosão

O ensaio de potencial de corrosão foi realizado com a finalidade de medir as diferenças de potencial entre o aço da armadura e um eletrodo de referência padrão, normalmente eletrodos de cobre/sulfato de cobre. Os valores da diferença de potenciais obtidos são indicadores da situação de corrosão ou passividade das armaduras. O ensaio de Potencial de Corrosão foi realizado aproveitando todas as áreas já delimitadas nas marquises e em uma delas foi retirada parte do concreto de cobrimento da armadura, deixando-a exposta o suficiente para fixar o conector (garra), como se apresentam nas Fotos 73, 74 e 75 e em seguida o eletrodo foi sendo deslocado sobre cada área aferindo as leituras registradas no Potenciômetro. Foram realizadas seis leituras por área, totalizando 36 leituras para cada marquise.

Foto 73 - Garra fixada na armadura

Foto 74 - Utilização do Potencial de Corrosão

Foto 75 - Eletrodo colocado na superfície do concreto

4.7.1. Marquise M4

A Tabela 27 traz os resultados das 36 leituras efetuadas durante a execução do ensaio de Potencial de Corrosão, gerando a Figura 53 que mostra a média das leituras em cada área.

Tabela 27 - Potencial de Corrosão em mv de cada área

Potencial de Corrosão em mv - M04						
Leitura	**Área 1**	**Área 2**	**Área 3**	**Área 4**	**Área 5**	**Área 6**
1	244	116	258	173	160	128
2	218	99	307	172	131	107
3	210	120	294	166	120	106
4	236	142	316	170	103	103
5	213	112	291	170	98	97
6	208	115	298	165	102	100

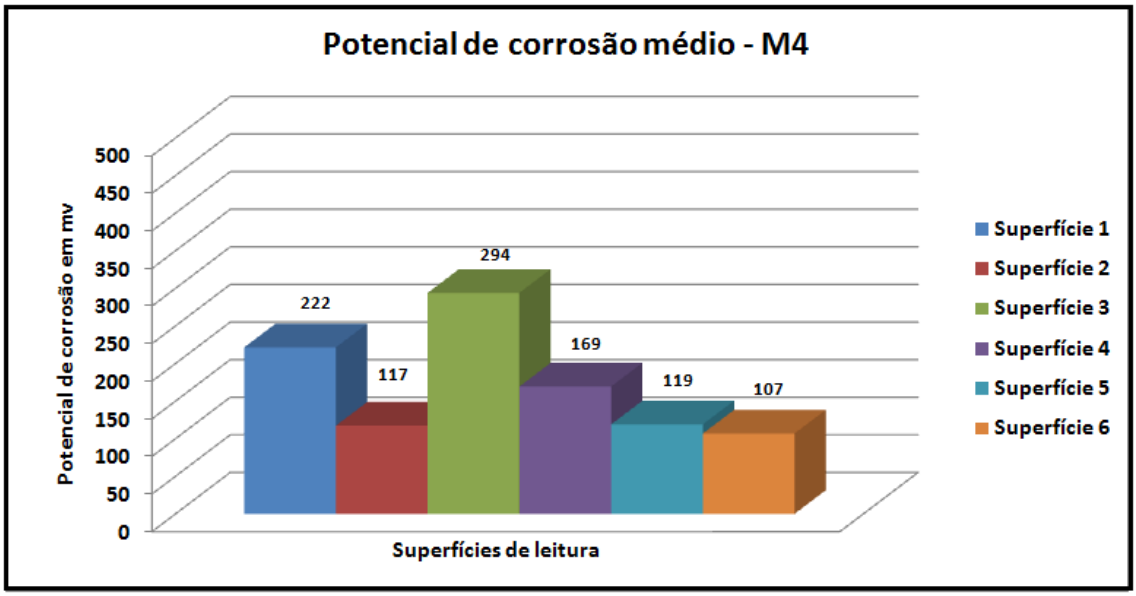


Figura 54 – Gráfico da média dos potenciais de corrosão em cada superfície de M4

O resultado da média do potencial de corrosão na marquise M4 de todas as seis leituras, ficaram entre 107 e 294 mv, indicando que a probabilidade do processo de corrosão está ocorrendo é de 10% , segundo a norma ASTM 879 (1991).

4.7.2. Marquise M5

Do mesmo modo que ocorreu na Marquise M4, a Tabela 28 traz os resultados das 36 leituras efetuadas durante a execução do ensaio de Potencial de Corrosão, gerando a Figura 54 que mostra a média das leituras em cada área da Marquise M5.

Tabela 28 - Potencial de Corrosão em mv de cada área

Potencial de Corrosão em mv - M05						
Leitura	**Área 1**	**Área 2**	**Área 3**	**Área 4**	**Área 5**	**Área 6**
1	200	112	258	173	145	130
2	218	130	307	145	131	107
3	210	120	294	143	121	122
4	236	142	316	169	122	105
5	213	115	175	155	98	89
6	208	120	298	165	102	100

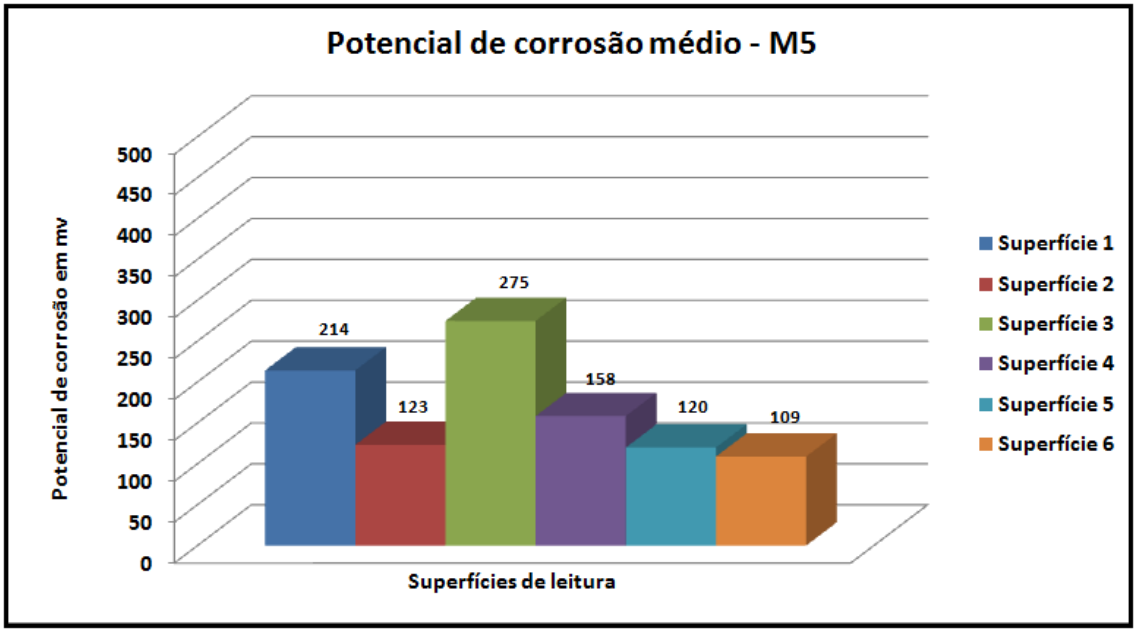


Figura 55 – Gráfico da média dos potenciais de corrosão em cada superfície de M5

O resultado da média do potencial de corrosão na Marquise M5 de todas as seis leituras, ficou entre 109 e 275 mv, indicando que a probabilidade do processo de corrosão está ocorrendo é de 10%, segundo a norma ASTM 879 (1991).

4.7.3. Marquise M7

A Tabela 29 traz os resultados das 36 leituras efetuadas durante a execução do ensaio de Potencial de Corrosão, gerando a Figura 55 que mostra a média das leituras em cada área da Marquise M7.

Tabela 29 - Potencial de Corrosão em mv de cada área

Potencial de Corrosão em mv - M07						
Leitura	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6
1	-450	-355	-432	-367	-312	-350
2	-380	-500	-456	-469	-343	-400
3	-430	-356	-875	-390	-532	-559
4	-258	-500	-331	-349	-434	-433
5	-267	-323	-399	-234	-325	-345
6	-600	-342	-349	-450	-356	-344

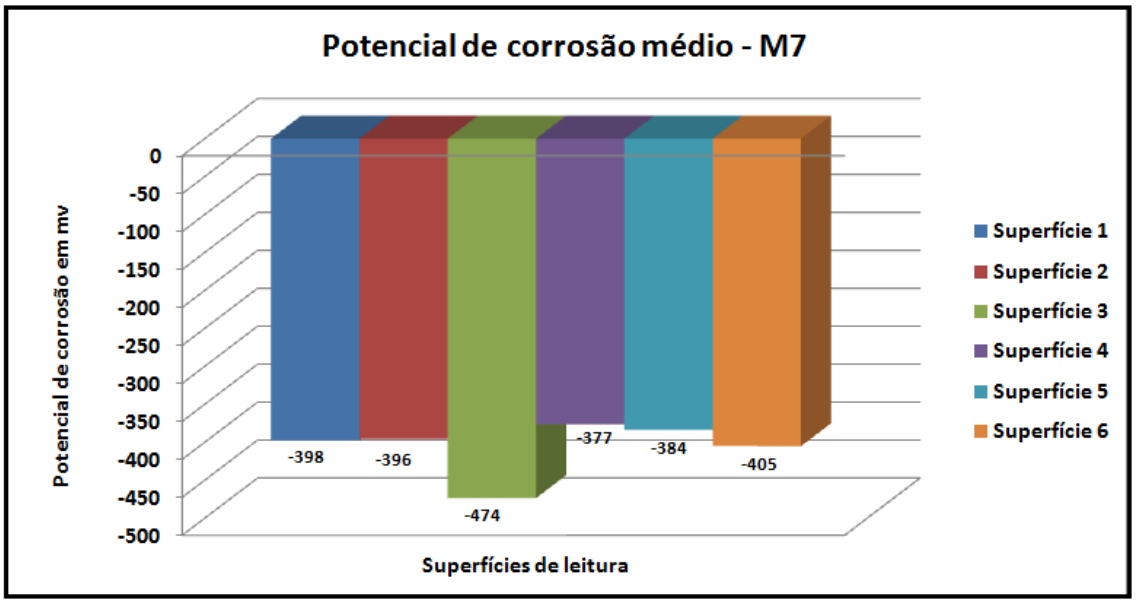


Figura 56 – Gráfico da média dos potenciais de corrosão em cada superfície de M7

O resultado da média do potencial de corrosão na marquise M7 de todas as seis leituras, ficou entre -474 e -377 mv, indicando que a probabilidade do processo de corrosão está ocorrendo é de até 90%, segundo a norma ASTM 879 (1991).

4.7.4. Marquise M8

A Tabela 30 apresenta os resultados das 36 leituras efetuadas durante a execução do ensaio de Potencial de Corrosão, gerando a Figura 56 que mostra a média das leituras em cada área da Marquise M8.

Tabela 30 - Potencial de Corrosão em mv de cada área

Potencial de Corrosão em mv - M08						
Leitura	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6
1	19	33	50	38	93	82
2	24	31	43	45	74	103
3	25	27	46	40	19	90
4	26	32	34	46	79	88
5	39	37	55	48	62	120
6	27	35	65	46	53	101

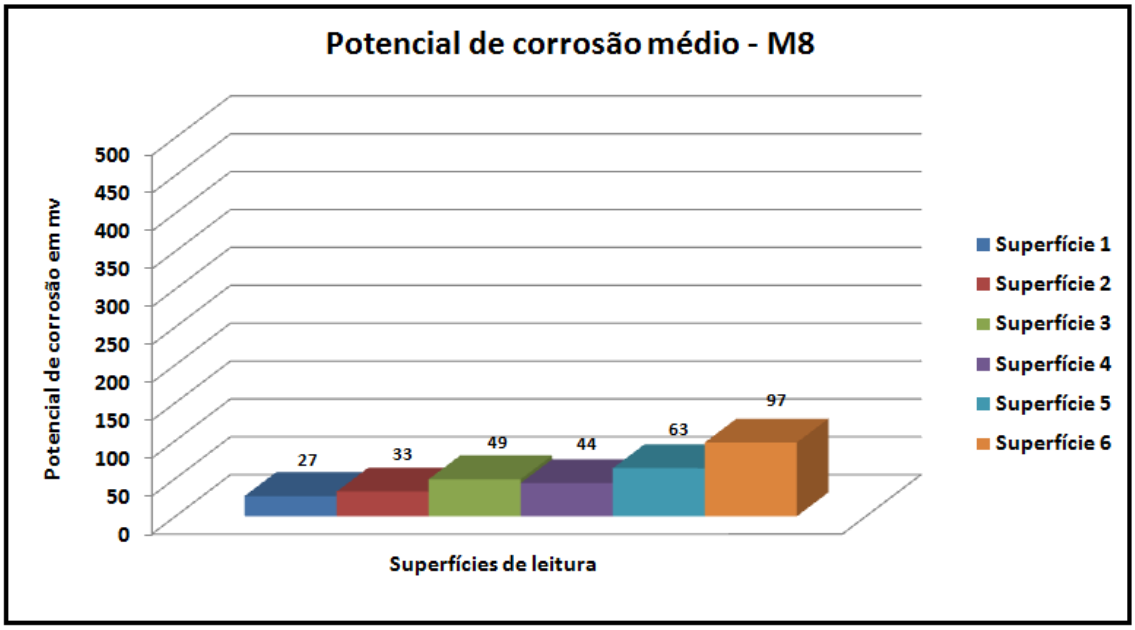


Figura 57 – Gráfico da média dos potenciais de corrosão em cada superfície de M8

O resultado da média do potencial de corrosão na marquise M28 de todas as seis leituras, ficou entre 27 e 97 mv, indicando que a probabilidade do processo de corrosão está ocorrendo é de 10%, segundo a norma ASTM 879 (1991).

Os resultados obtidos através do potencial de corrosão indicam que as marquises M4, M5 e M8 apresentam uma possibilidade de estar em processo de corrosão de 10%, já a marquise M7 tem 90% de possibilidade de se encontrar em processo de corrosão. Observa-se que a idade da marquise nem a Classe de Agressividade Ambiental foram decisivos para a probabilidade de estar ocorrendo corrosão.

4.8. Aspersão de Fenolfetaleina

O ensaio para verificar a profundidade de carbonatação foi realizado através da aspersão de Fenolfetaleina em aberturas que foram executadas após a realização dos ensaios já

apresentados, normalmente nas aberturas feitas para execução do potencial de corrosão, já que para efetuar o mesmo era necessário descobrir a armadura, e por sua vez, essa é a profundidade que se precisa, como se pode vê nas Fotos 76, 77 e 78. Em todas as marquises foram efetuadas seis medidas. Para esse tipo de análise de resultado o que vai importar é o valor da maior profundidade de carbonatação.

Foto 76 - Aspersão de Fenolfetaleina

Foto 77 - Área aspergida, apresentando a região carbonatada

Foto 78 - Demarcação da área para posterior medição da profundidade de carbonatação.

Após a execução do ensaio e de posse dos resultados montou-se uma planilha com os resultados encontrados em cada marquise.

4.8.1. Marquise M4

Observa-se na Figura 57 que nessa região a frente de carbonatação, numericamente, ainda não atingiu as armaduras da marquise M4, mas está muito próxima, já que seu cobrimento é de 1,3 cm e a profundidade de carbonatação é de 1,29 cm, logo, com a profundidade atingida pode-se dizer que a armadura se encontra em uma região carbonatada, admissível de despassivação.

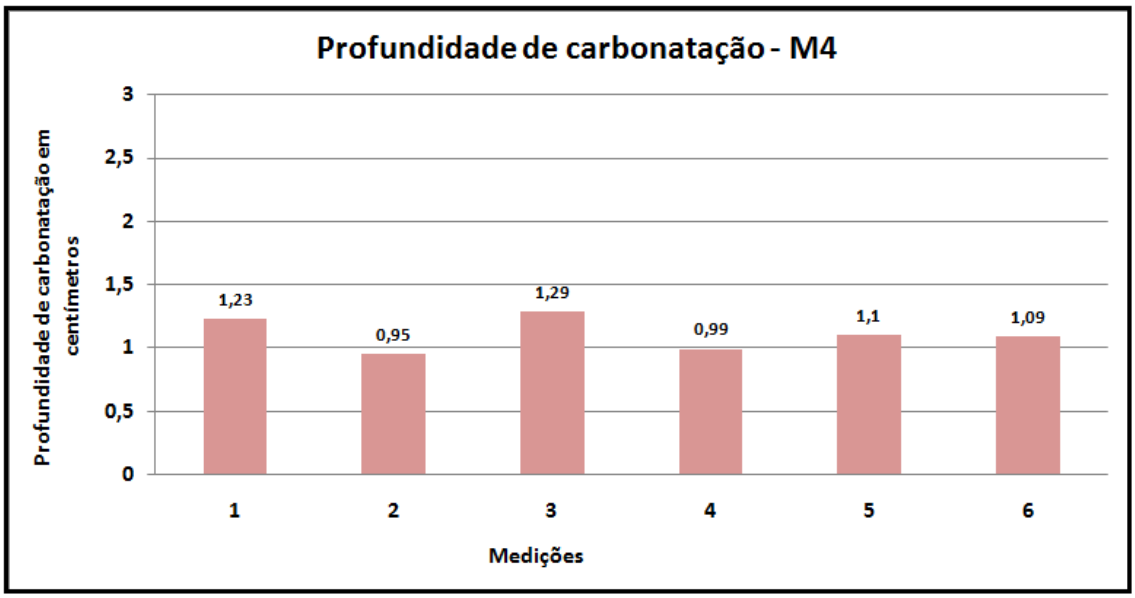


Figura 58 - Profundidade de carbonatação M4

4.8.2. Marquise M5

Igualmente a marquise M4, observa-se na Figura 58 que nessa região a frente de carbonatação, numericamente, ainda não atingiu as armaduras da Marquise M5, porém esta

muito próxima, já que seu cobrimento é de 1,8 cm e a profundidade de carbonatação é de 1,7 cm, logo, com a profundidade atingida pode-se dizer que a armadura se encontra em uma região carbonatada, admissível de despassivação.

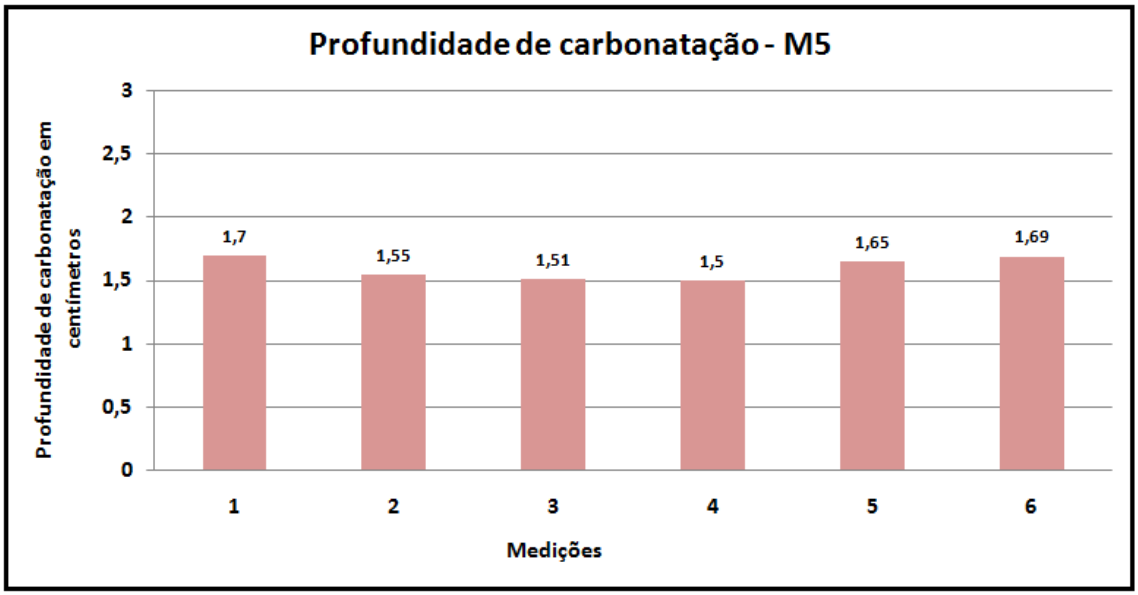


Figura 59 - Profundidade de carbonatação M5

4.8.3. Marquise M7

Diferente das marquises M4 e M5, nesse caso pode-se afirmar que as armaduras da marquise M7 estão em região já carbonatadas, pois a profundidade de carbonatação é igual ao cobrimento da mesma, tendo sido iniciado o processo de despassivação da armadura (Figura 59).

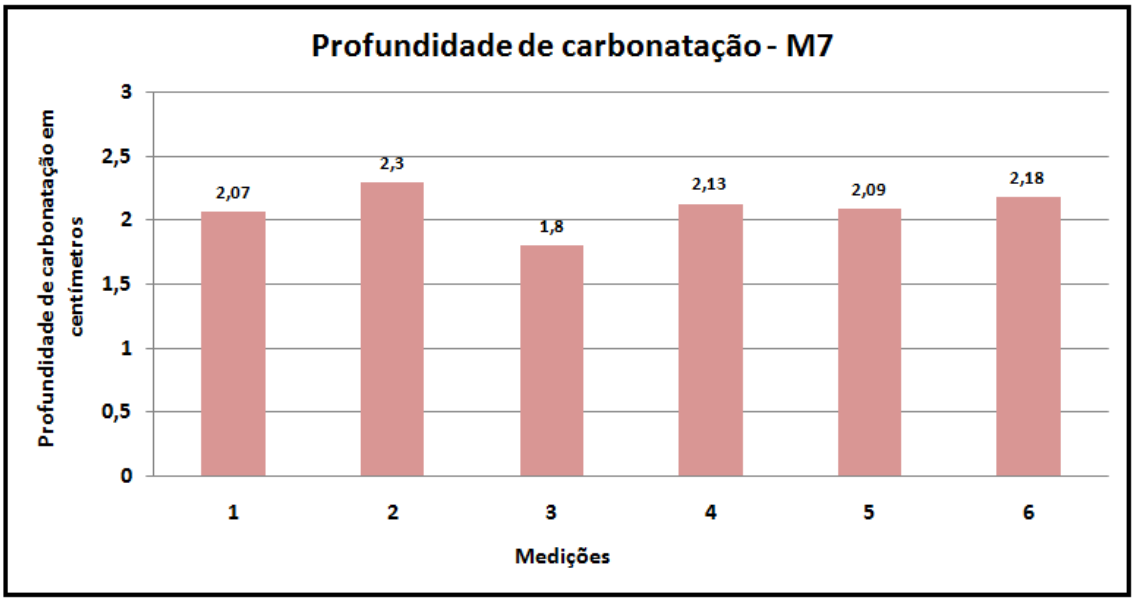


Figura 60 - Profundidade de carbonatação da marquise M7

4.8.4. Marquise M8

Observa-se na Figura 60 que nessa região a frente de carbonatação ainda não atingiu as armaduras da marquise M8, já que seu cobrimento é de 1,7 cm e a profundidade de carbonatação de 0,92 cm.

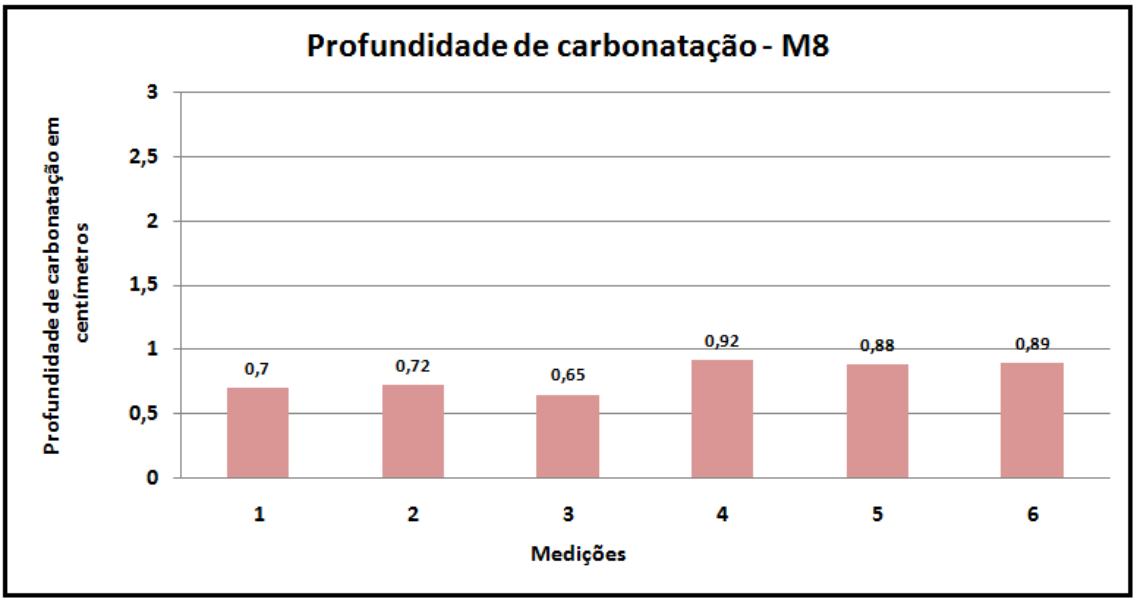


Figura 61 - Profundidade de carbonatação da marquise M7

Os resultados obtidos através do ensaio de profundidade de carbonatação mostram que mesmo a Marquise M8 estando situada em uma avenida de maior volume de transito, com maior probabilidade de contaminação por CO^2, a mesma é a menos atingida. Pode-se afirmar que, tal fato é coerente, tendo em vista a pouca umidade existente no local, uma edificação sem edificações de maior envergadura ao seu entorno, sem arborização e exposta ao sol, enquanto as demais se situam em ruas bastante arborizadas, com edificações elevadas em seu entorno, sombreando-as, com um teor de umidade bastante elevado.

4.9. Cloretos

O ensaio de verificação de contaminação por íons cloreto, através da aspersão de Nitrato de Prata foi realizado em todas as marquises em um espaço lateral ao utilizado para aspersão de fenolfetaleina. Sabe-se que o ensaio de aspersão de Nitrato de Prata não indica a profundidade da contaminação, mesmo assim, realizamos a medição da área reagente, aquela que indica a

contaminação, para isso, utilizamos o mesmo processo para o qual executamos o ensaio de Profundidade de Carbonatação, como se pode observar na Foto 79, sendo feita seis medias da área contaminada.

Foto 79 - Carbonatação em cor violeta (acima) e cloretos, incolor (abaixo).

4.9.1. Marquise M4

A Figura 61 mostra que o ataque a estrutura da Marquise M4 por cloretos foi inexistente e pode-se concluir que as poucas manchas de cloretos existentes podem ter ocorrido por contaminação na execução da obra ou durante a realização das camadas de proteção mecânica com aplicação de aditivos a base de cloretos.

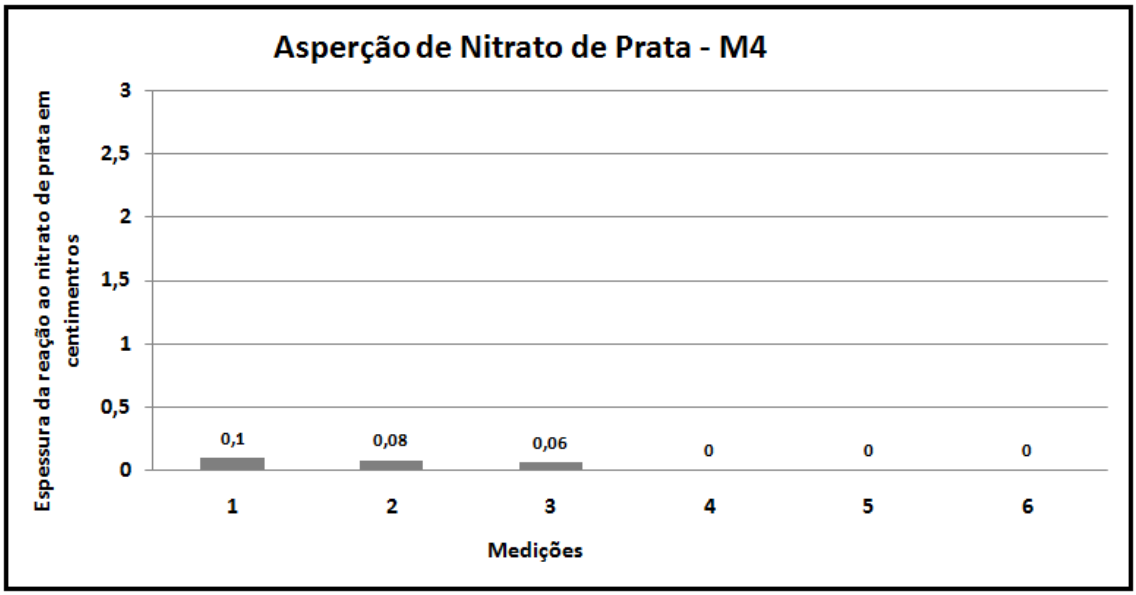


Figura 62 - Espessura da camada de concreto reagente ao Nitrato de Prata na M4

4.9.2. Marquise M5

A Figura 62 mostra que o ataque a estrutura da Marquise M5 por cloretos foi inexistente e pode-se concluir que as poucas manchas de cloretos existentes podem ter ocorrido por contaminação na execução da obra, durante a realização das camadas de proteção mecânica ou impermeabilizações com aplicação de aditivos a base de cloretos.

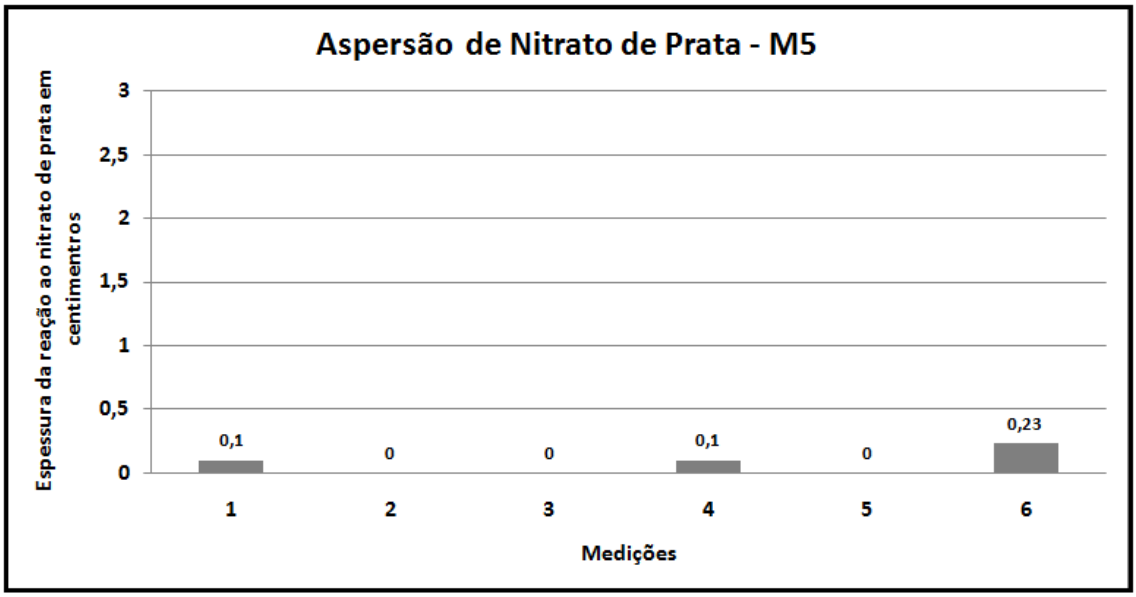


Figura 63 - Espessura da camada de concreto reagente ao Nitrato de Prata na M5

4.9.3. Marquise M7

A Figura 63 mostra que a Marquise M7 foi a que apresentou uma maior área de concreto reagente ao Nitrato de Prata.

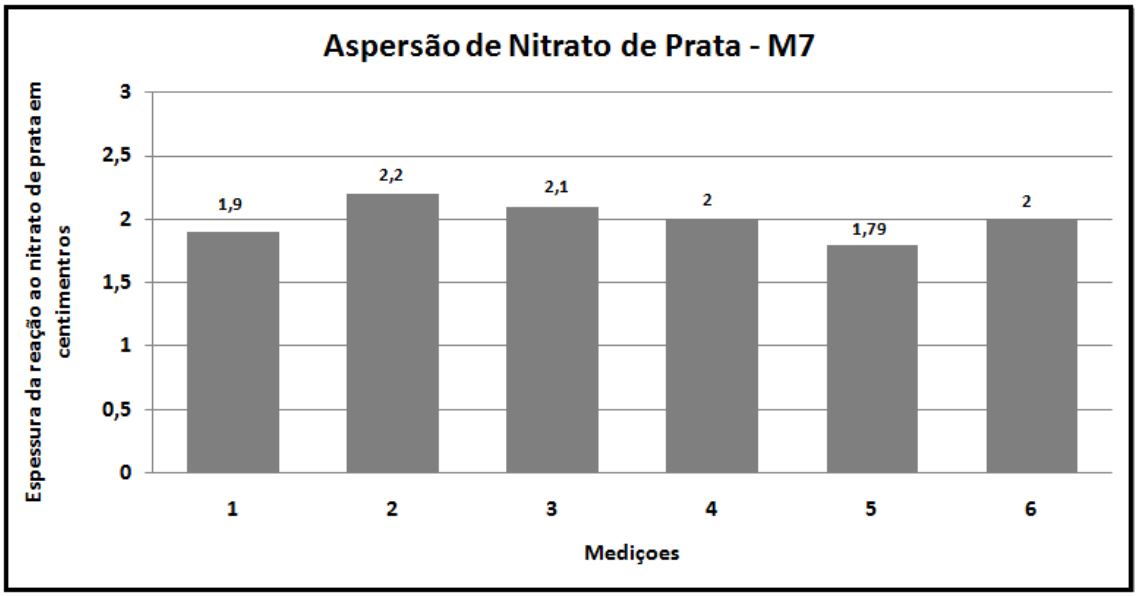


Figura 64 - Espessura da camada de concreto reagente ao Nitrato de Prata na M7

4.9.4. Marquise M8

Os resultados obtidos através do ensaio de Aspersão de Nitrato de Prata na Marquise M8 mostram que, mesmo estando situada em uma Classe de Agressividade Ambiental III, mais sujeita as contaminações por cloreto que a Marquise M7, apresenta uma menor espessura de concreto reagente que a M7. Atribui-se esse fato a presença de umidade maior em M7 que em M8, além da espessura da camada de proteção mecânica (Figura 64).

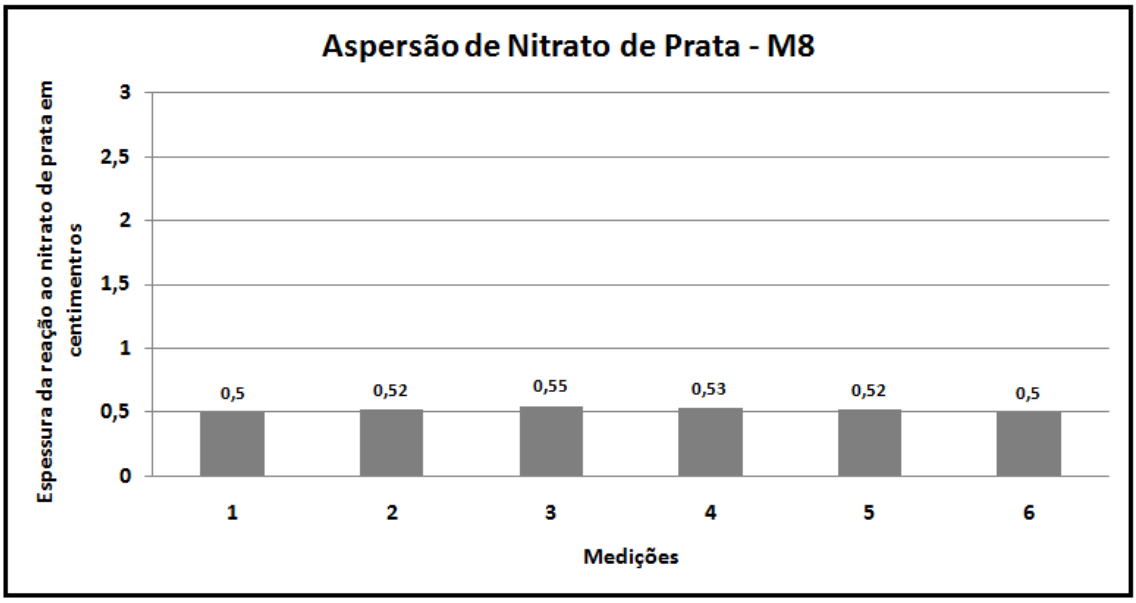


Figura 65 - Espessura da camada de concreto reagente ao Nitrato de Prata na M8

4.10. Discussão dos resultados

Para que seja feita uma discussão de todos os ensaios realizados, retomou-se alguns dados relevantes de cada marquise, como se apresentam resumido na Tabela 31.

Tabela 31 - Conjunto de variáveis das marquises

ELEMENTOS DE DISCUSSÃO DAS MARQUISES				
Variáveis	**M04**	**M05**	**M07**	**M08**
Cobrimento da armadura	1,3	1,8	2,2	1,7
Espessura do revestimento	3,1	3,3	1,5	4,5
Zona de Agressividade Ambiental	II	II	II	III
Exposição ao sol	Pouca	Pouca	Muito pouca	Muita
Tráfego	Leve	Leve	Intenso	Intenso
Esclerometria	Bom	Bom	Bom	Bom
Ultrassom	Regular/Ótimo	Regular	Ruim	Ruim
Potencial de Corrosão	Pouca	Pouca	Grande	Pouca
Profundidade de Carbonatação	Carbonatado	Carbonatado	Muito carb.	Pouco carb.
Contaminação por Cloretos	Muito pouco	Muito pouco	Muito	Pouco

Com o conjunto de variáveis exposta, foi possível observar que alguns fatores muitas vezes não considerados, agravam as condições das marquises, e outros trabalham protegendo-as, tais como:

- Observou-se que 100% das marquises vistoriadas apresentam algum tipo de manifestação patológica, com uma maior incidência de infiltrações (77%) que associada às fissuras, a má qualidade do concreto e a ausência de manutenção, levarão ao colapso das mesmas;

- A pouca exposição ao sol e a pouca espessura da camada de proteção mecânica (revestimento), aumentam a umidade na estrutura, facilitando a penetração do gás carbônico e dos íons cloreto;

- A espessura do cobrimento das armaduras é fundamental para a proteção das mesmas, porém, a falta de manutenção periódica no sistema de impermeabilização provavelmente reduz a sua vida útil;

- Os resultados encontrados através dos ensaios de profundidade de carbonatação e de aspersão de nitrato de prata justificaram os resultados obtidos através do ultrassom e do potencial de corrosão, principalmente esse, já que, quanto maior a contaminação por cloretos, mais negativo o potencial;

- A comparação entre os resultados obtidos para dureza superficial através da esclerometria com a Tabela elaborada através da comparação entre o Índice Esclerométrico e a Tensão de Compressão ensaiada em laboratório, onde os valores mínimos para a dureza superficial são bastante próximos da tensão de compressão dos corpos-de-prova e, tendo em vista a impossibilidade de retirar corpos-de-prova das marquises, os resultados foram suficientes para avaliar a qualidade do concreto quanto à resistência à compressão;

- Através da realização dos ensaios, juntamente com o registro das demais manifestações patológicas e informações de natureza técnica, foi possível diagnosticar a marquise e a qualidade do concreto;

Diante das dificuldades encontradas para elaboração de vistorias e ensaios nas marquises, falta de projetos, dificuldade de acesso, retirada de amostra, diversidade de manifestações patológicas, além da grande quantidade de parâmetros que são necessários para que se possa elaborar um laudo, elaborou-se uma Tabela com as diretrizes mínimas para elaboração de vistoria e laudo técnico de marquises, atendendo as necessidades que a complexidade que esse assunto requer, conforme Tabela 32.

Tabela 32 - Diretrizes para elaboração de Laudo Técnico de Marquises

ÍTEM	DIRETRIZES	
1	**Dados da edificação**	
	Proprietário	Dados
	Identificação da edificação	Denominação (Nome do imóvel)
		Endereço (Rua, Av., número, bairro, cidade, estado, CEP)
		Responsável (Nome, telefone, email)
		Tipo de uso (residencial ou comercial)
		Tipo da Agressividade Ambiental, conforme NBR 6118 – 2007
2	**Projetos e dados de execução**	
	Existe os projetos?	**Arquitetura**
		Autor
		Desenhos existentes
		Tipo de uso
		ART
		Aprovação e Habite-se
		Estrutura
		Autor

		Desenhos existentes
		NBR utilizada
		Vínculos
		Armadura de tração
		Cobrimento
		Fck
		ART
		Execução
		Dados da empresa (nome, endereço completo, telefone, CNPJ e CREA)
		Responsável Técnico (nome, endereço completo, telefone e CREA)
		Data de execução
		ART
	Não existe os projetos?	**Levantar projetos executados**
		Arquitetura
		Impermeabilização
		Drenagem
		Estrutura
		Dimenções
		Vínculos
		Tensão de Compressão
		Armadura
		Cobrimento
		Sobrecargas atuantes
	Elaborar projetos utilizando as Normas Técnicas vigentes	
3	**Compatibilização dos projetos**	
	Existindo os projetos	Projetos apresentados X Os que se encontram executados
	Não existindo os projetos	Projetos do que foi executado X Projetos ualizados
4	**Identificar as manifestações patológicas**	
	Projetos	Incompatibilidades encontradas no item 3
	Fissuração	Variações térmicas
		Sobrecargas
		Deformação excessiva
		Retração
	Fenômenos químicos no concreto	Eflorescência
		Ataques por sulfatos
		Ataques por ácidos
		Ataques por cloretos
	Ataques físicos, deficiências de manutenção e acidentais	Corrosão das armaduras
		Bolor (mofo)
		Limo
		Umidade
		Desplacamento de revestimento
		Impermeabilização (deficiente ou inexistente)

		Drenagem (deficiente ou inexistente)
		Sobrecargas indevidas
		Mudança de uso
		Escoramento de modo incorreto
		Impactos acidentais
5	**Ensaios complementares**	
	Profundidade de carbonatação	
	Profundidade de ataque por Cloretos	
	Potencial de corrosão	
	Ultrassom	
6	**Recomendações**	
	Estabilidade Estrutural	
	Vida útil	
	Manutenção ou demolição	
7	**Conclusão**	

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados obtidos durante as análises efetuadas nas vistorias e nos ensaios, bem como, todos os demais aspectos analisados durante a elaboração desse estudo, pôde-se concluir:

Através das inspeções visuais:

- Pela amostragem apresentada, 100% das marquises apresentam algum tipo de manifestação patológica;
- Cada marquise apresenta pelo menos 4 tipos de manifestações patológicas, sendo as infiltrações (77%) a mais frequente;
- Intercorrências que sinalizam para manifestações patológicas graves na estrutura, como desplacamento do concreto, fissuras e corrosão nas armaduras atingem 41% das marquises;
- A ausência de rotina de manutenção atinge 76% das marquises vistoriadas;
- Observa-se que 73% das marquises que apresentam armadura exposta possuem cobrimento inferior ao exigido pela NBR 6118 (2007);
- Ações e intervenções indevidas ocorreram em 80% das marquises do espaço amostral desta pesquisa, prejudicando a conservação da estrutura e reduzindo sua vida útil.
- Entre as intervenções indevidas, os letreiros (placas de sinalização) presentes em 50% das marquises, seguida de equipamentos de ar-condicionado e abertura de furos para drenagem após execução, com 14% cada, são as que mais prejudicam as marquises;
- A colocação de resíduos diversos, inclusive proveniente de reformas encontra-se presente em 11% das marquises vistoriadas.

Através dos ensaios realizados pôde-se constatar que:

- Os cobrimentos existentes não atendem às especificações da norma vigente;
- Os revestimentos sobre as marquises, cimentados de regularização, nem sempre funcionam como barreiras para algumas contaminações;
- Os efeitos da profundidade de carbonatação e dos íons cloretos sobre as armaduras, foram confirmados pelo ensaio de potencial de corrosão;
- Para grandes áreas é possível avaliar a qualidade do concreto quanto à resistência à compressão sem a retirada de grande número de corpos-de-prova, desde que se realize a esclerometria nos corpos-de-prova retirados antes da execução do rompimento dos mesmos e se relacione o índice esclerométrico com a tensão de ruptura à compressão dos mesmos;
- Através dos resultados obtidos com os ensaios é possível avaliar as consequências, a gravidade dos danos causados a estrutura das marquises pelas manifestações patológicas existentes na mesma.

Diante do exposto conclui-se que:

- ✓ Fica registrado a adequação NBR 6118 (2007) estava correta quando inseriu recomendações mais rigorosas visando aumentar a durabilidade e a vida útil das estruturas, exigindo maiores cobrimentos conforme a Classe de Agressividade Ambiental em que se encontra a estrutura;
- ✓ É necessário de se utilizar uma armadura de compressão, nos elementos que compõem a marquise, dimensionadas para suportar o esforço de tração proveniente do peso da marquise evitando um tombamento brusco;
- ✓ As fissuras associadas às intempéries são o caminho mais rápido para se atingir e contaminar as armações das marquises, sendo assim, os elementos estruturais que

compõem as mesmas deveriam ser dimensionados como no Estádio I, ou seja, sem fissuras;

- ✓ A aplicação de diretrizes específicas tais como se apresenta na Tabela 32, para a realização de vistorias em marquises com a realização de ensaios, forneceria aos profissionais de engenharia melhores condições quando da realização do diagnóstico e da especificação dos métodos de recuperação das marquises;

- ✓ Acredita-se que levar ao conhecimento dos responsáveis diretos e indiretos, sejam de edificações públicas ou privadas, da necessidade da utilização de diretrizes mínimas para a realização de vistorias e da realização de rotinas de manutenção periódicas em marquises, seja a maneira de garantir sua durabilidade e vida útil;

Espera-se ter contribuído com o meio acadêmico sobre as verdadeiras condições das marquises da Cidade de Recife, para o aumento do conhecimento das necessidades especiais que essa estrutura merece, tanto quanto para as já existentes, da sua conservação, manutenção e recuperação, como também para as que venham a ser projetadas e construídas.

Que sejam elaboradas novas pesquisas visando melhorar as recomendações quanto à durabilidade, fissuração e vida útil, e que se busque estudar as marquises como uma estrutura especial, formada por um conjunto de elementos estruturais, tais como vigas, consoles, lajes e pilares, que devido a sua exposição necessita de maiores cuidados desde a fase de projeto a execução e manutenção, buscando assim minimizar os riscos de desmoronamento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7584:** Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 8802:** Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 1994.

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**, Editora Pini, S. Paulo, 104 p., 1992.

ANDRADE, J.J.O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco.** 148p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado.** V. 2, ed. 2ª, Ed. Dunas, 2003.

ASEFA. **Eflorescência na fachada.** Disponível em: http://www.asefa.es/index.php?option=com_content&task=view&id=106&Itemid=45&lang=pt Acessado em: 01 nov. 2008.

BOTELHO, MARCHETTI, M. H. C., O. **Concreto Armado Eu Te Amo.** V. 1, ed. 4ª, Ed. Edgard Blücher, 2006.

BUILDING RESEARCH ESTABLICHMENT. **Estimation of thermal and moisture movements and stresses**, Garston, 1979.(Digest 227, Part 1)

CABRAL, G. **Umidade do ar.** Disponível em: http://www.brasilescola.com/geografia/umidade-ar.htm. Acessado em: 14 mar. 2009.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**, ed. 1ª, Ed. Pini, p.47-8, 66-7, 71-3, 1988.

CÁNOVAS, M. F. **Intervenciones en reparación de estructuras dañadas por diversas causas,** Seminario S.4: Patologia estrutural en edificacion: Diagnostico y soluciones de intervención, XII CEMCO - 92, Instituto de Ciências de la Construccion Eduardo Torroja, Espanha,19p , Março, 1992.

CARMO, MARCO ANTÕNIO. **Estudo da Deterioração de Marquises de Concreto Armado nas Cidades de Uberlândia e Bambuí.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2009.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**. São Paulo: PINI. 237p. 1997.

CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 185p, dezembro,1994.

CEB (COMMITE EURO-INTERNACIONAL DU BETON), **Assessment of concrete structures and design procedures for upgrading (Redesign)**, Bulletin d'Information No. 162, Outubro, 1983.

CEB, **Comite Europeu de Beton Design guide: Durable concrete structures**, Bulletin d'Information No. 182, Junho, 1989.

CEB, **CEB - FIP Model Code 90 (MC - 90) - Final Draft,** Bulletin d'Information No. 203, Julho, 1991.

Comité Euro-International du Béton. **CEB-FIP Model Code 1990.** London, Thomas Telford, 1993.

CEPD – Centro de Estudos e Pesquisa de Desastres. **Inspeção em marquises de prédios residenciais e comerciais.** Rio de Janeiro, 2008.

CIB W80/RILEM 71-PSL. (CONSEIL INTERNACIONAL DU BÁTMENT POUR LA RECHERCHE L'ÉTUDE ET LA DOCUMENTATION & RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET DE RECHERCHES SUR LES MATÉRIAUX ET LES CONSTRUCTIONS), **Prediction of service life of building materials and components.** Rotterdam, 98p. 1983.

COSTA, M.R.N. **Manual para normatização de trabalhos acadêmicos: monografias, dissertações e teses**. Recife: INSAF, 191p., 2007.

CINCOTTO, M. A. **Danos de revestimento decorrentes da qualidade da cal hidratada.** São Paulo, Associação Brasileira de Produtores de cal. 1975.(Boletim nº 7).

CLÍMACO, J.C.T.S., **Repair of structural concrete involving the addtion of new concrete,** Tese de Doutorado, Polytechnic of Central London, Londres, 239p, 1990.

CLÍMACO, J.C.T.S. & NEPOMUCENO, A.A., **Parâmetros para uma metodologia de manutenção de estruturas de concreto,** 36a Reunião Anual do IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, Vol. 1, pp 109-119, Porto Alegre, Setembro, 1994.

HELENE, P.R.L., **Vida útil de estruturas de concreto armado sob o ponto de vista da corrosão de armadura**, Departamento de Engenharia de Construção Civil - EPUSP, 25p. 1993.

HELENE, Paulo R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª Edição. São Paulo: Pini, 1992.

HELENE, P.R.L.. **Introdução da Vida Útil no Projeto das Estruturas de Concreto..** In: 2º WORKDUR, 2001, São José dos Campos. Anais do 2º WORKDUR, v.1.p.58-94. 2003.

LIMA, M. G. **CONCRETO Ensino, Pesquisa e Realizações**. Volume 1. São Paulo: IBRACON, 2005. Capítulo 24.

IME – Instituto Militar de Engenharia. **Marquises de concreto armado na Orla Marítima.** Disponível em: http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/exemplo103.pdf. Acessado em: 25 dez. 2008.

ISAIA, Geraldo C. **CONCRETO Ensino, Pesquisa e Realizações**. Volume 1 e 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

JOHN, V. M. **Avaliação da durabilidade de materiais, componentes e edificações: Emprego do índice de degradação**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 115p, Junho, 1987.

JORDY, J.C. & MENDES, L.C. **Análise e procedimentos construtivos de estruturas de marquises com propostas de recuperação estrutural**. Dissertação (Doutorado) Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. 2006.

METHA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3ªed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEDEIROS,M. H. F., GROCHOSKI, M., HELENE, P. , **Marquises: por que algumas caem.** Disponível em: Revista Concreto, 2006.

MEIRA, G. M. **Agressividade por cloretos em zonas de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estruturas de concreto armado.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2004. 327p.

NEVILLE, A.M (1979). **Propriedades do concreto.** Trad. Salvador Eugênio Giammusso. São Paulo, PINI, 1988.

OLIVEIRA, Eduardo Marques Righi de. **Metodologia de caracterização de Patologias em Obras de arte especiais.** Dissertação de mestrado em Engenharia civil da Universidade Federal Fluminense. UFF. Niterói, 2002.

PUCPR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. **Flexão em estruturas.** Disponível em: http://www.pucpr.br/. Acessado em: 25 dez. 2009.

RIZZO, B. E. **Marquises – Uma abordagem técnica**. Disponível em: http://www.ofca.com.br/BOTAO_PRINCIPAL/PUBLICACOES_ARTIGOS/ARTIGOS/30_08_07_MARQUISE_O_QUE_FAZER.pdf. Acessado em: 25 dez. 2009.

ROCHA, A. M. **Concreto Armado**, V. 3, ed. 1ª, Ed. Nobel, p. 11-46. 1986.

ROCHA, E. A. **Inspeção e diagnóstico das edificações públicas da Universidade de Pernambuco.** Monografia (Iniciação Científica do PIBIC POLI) Universidade de Pernambuco. Recife, 2008.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. – **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto** – São Paulo: Pini. 1998.

SOUZA, R. H. F., **Análise do comportamento de vigas de betão armado reforçadas à flexão e ao esforço transverso**, Tese de Doutorado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 277 p, Julho, 1990.

SCIENTIFIC COMMONS. **Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção.** Disponível em: http://en.scientificcommons.org/20934674. Acessado em: 11 mar. 2009.

THOMAZ, L. **Levantamento de dados sobre a deterioração de estruturas na região centro-oeste**, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 176p., 1989.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das edificações**, ed. 1ª, Ed. Sagra, p.7, 28-9, 87-91,149-150, 1991.

VICTOR, M. **PCC II – Armaduras de concreto armado – corrosão.** Disponível em: http://edificios.eng.br/corrosaodearmaduras.doc. Acessado em: 22 out. 2008.

APÊNDICE I – Referenciação entre Índice de Reflexão e Resistência à Compressão

1. REFERENCIAÇÃO ENTRE INDICE DE REFLEXÃO E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Mesmo sabendo da calibração do Esclerometro de Reflexão usado na pesquisa, foi-se em busca de uma referenciação, um valor comparativo, entre a dureza superficial do concreto obtida através do ensaio de esclerometria e valores de tensão ruptura a compressão, o qual foi possível através da execução em laboratório de esclerometria em corpos de prova e em seguida ensaio de compressão, como se apresenta na foto 01.

Foto 1 – Parte dos corpos de prova utilizados para calibragem do Esclerômetro

Foram 36 corpos de prova e em cada um deles foi efetuado 10 impactos com o Esclerometro de Reflexão. Antes da execução do ensaio de Compressão, fixava-se os corpos de prova na prensa aplicando uma carga de 8t (foto 02), após a qual se executava a esclerometria (foto 03) e em seguida o ensaio a compressão (foto 04). Durante a execução registravam-se os resultados obtidos em cada corpo de prova, como se apresenta na Tabela 01, efetuando a média aritmética,

excluindo os valores que se encontravam 10% acima ou abaixo da mesma e com os resultados restantes obtinha-se uma média final a qual foi usada para comparar com os resultados obtidos através do ensaio a compressão.

Foto 2 – Fixação do corpo de prova na prensa

Foto 3 – Execução da esclerometria no corpo de prova

Foto 4 – Ruptura do corpo de prova à compressão

Tabela 1 – Valor médio do índice de reflexão realizado em corpos de prova

Corpo de	Impacto											Intervalo		
Prova	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	-10%	10%	M final
1	30	34	30	31	32	33	32	34	30	32	31,80	28,62	34,98	31,80
2	26	23	24	24	25	24	26	23	24	24	24,30	21,87	26,73	24,30
3	29	39	29	31	31	29	28	31	31	31	30,90	27,81	33,99	26,56
4	42	39	36	36	40	38	34	38	38	36	37,70	33,93	41,47	37,22
5	34	37	38	34	40	40	35	33	34	38	36,30	32,67	39,93	35,38
6	23	24	22	22	24	24	27	24	24	23	23,70	21,33	26,07	23,33
7	32	36	37	33	30	34	32	31	32	32	32,90	29,61	36,19	32,44
8	20	22	25	25	22	22	21	25	21	26	22,90	20,61	25,19	22,88
9	26	22	26	22	28	27	24	25	28	30	25,80	23,22	28,38	26,29
10	30	28	30	26	27	29	32	38	30	27	29,70	26,73	32,67	29,13
11	23	22	22	22	24	24	23	30	30	22	24,20	21,78	26,62	22,75
12	40	44	40	39	43	38	38	38	36	36	39,20	35,28	43,12	38,67
13	31	31	25	32	28	29	24	26	31	29	28,60	25,74	31,46	29,29
14	35	38	36	35	33	38	35	28	36	35	34,90	31,41	38,39	35,67
15	29	28	30	26	26	25	28	29	29	27	27,70	24,93	30,47	27,70
16	27	35	37	36	39	36	35	37	32	29	34,30	30,87	37,73	35,43
17	33	32	36	34	35	34	35	34	34	34	34,10	30,69	37,51	34,10
18	28	28	27	27	25	25	27	29	22	23	26,10	23,49	28,71	26,71
19	30	29	32	28	30	30	26	28	31	33	29,70	26,73	32,67	29,75
20	44	37	32	37	34	29	31	37	30	35	34,60	31,14	38,06	35,33
21	27	29	30	33	31	33	28	33	32	34	31,00	27,90	34,10	31,44
22	22	22	25	25	25	20	22	28	21	22	23,20	20,88	25,52	23,00
23	18	23	23	24	23	29	19	20	20	22	22,10	19,89	24,31	22,14
24	28	27	29	25	24	24	30	26	28	24	26,50	23,85	29,15	26,11
25	25	22	23	22	20	20	26	22	30	25	23,50	21,15	25,85	23,17
26	23	24	21	20	21	23	21	19	21	23	21,60	19,44	23,76	21,63
27	24	33	26	31	24	25	21	30	28	30	27,20	24,48	29,92	25,00
28	29	34	29	32	34	28	24	27	30	32	29,90	26,91	32,89	29,57
29	22	25	22	22	22	22	21	21	20	25	22,20	19,98	24,42	21,50
30	20	21	22	20	21	22	22	20	20	20	20,80	18,72	22,88	20,80
31	22	23	22	21	22	22	23	25	24	22	22,60	20,34	24,86	22,33
32	23	22	22	21	21	23	22	22	22	26	22,40	20,16	24,64	22,00
33	27	25	30	27	28	30	30	32	30	30	28,90	26,01	31,79	29,00
34	29	28	31	35	28	32	28	29	30	35	30,50	27,45	33,55	29,38
35	23	27	26	22	29	28	26	26	27	27	26,10	23,49	28,71	26,71
36	24	26	24	26	22	24	24	27	27	28	25,20	22,68	27,72	25,25

Com o valor da carga aplicada para romper o corpo de prova se obtêm a tensão de compressão e associando-a ao índice esclerométrico médio possibilitou montar a Tabela 2, Tensão de Compressão X Índice Esclerométrico.

Tabela 2 – Tensão de Compressão X Índice Esclerométrico Médio

Peça (Unid.)	Carga (kg)	fck (Mpa)	Índice Esc. M.
1	29140	37,10	31,80
2	16464	20,96	24,30
3	22513	28,66	26,56
4	36015	45,86	37,22
5	33650	42,84	35,38
6	14990	19,09	23,33
7	25063	31,91	32,44
8	22680	28,88	22,88
9	25525	32,50	26,29
10	27770	35,36	29,13
11	14479	18,44	22,75
12	30495	38,83	38,67
13	25205	32,09	29,29
14	35555	45,27	35,67
15	24770	31,54	27,70
16	40687	51,80	35,43
17	35403	45,08	34,10
18	14588	18,57	26,71

Peça (Unid.)	Carga (kg)	fck (Mpa)	Índice Esc. M.
19	26670	33,96	29,75
20	18414	23,45	35,33
21	17085	21,75	31,44
22	9109	11,60	23,00
23	12265	15,62	22,14
24	16200	20,63	26,11
25	14315	18,23	23,17
26	14703	18,72	21,63
27	19110	24,33	25,00
28	22626	28,81	29,57
29	14610	18,60	21,50
30	15189	19,34	20,80
31	13720	17,47	22,33
32	15420	19,63	22,00
33	25685	32,70	29,00
34	19020	24,22	29,38
35	24580	31,30	26,71
36	20304	25,85	25,25

De posse dos resultados obtidos na Tabela 02 elaborou-se o Figura Tensão de Compressão X Índice Esclerométrico Médio onde foi possível observar a dispersão entre os resultados, desse modo, foi necessário encontrar a equação da reta de dispersão, como se apresenta nas Figuras 01 e 02.

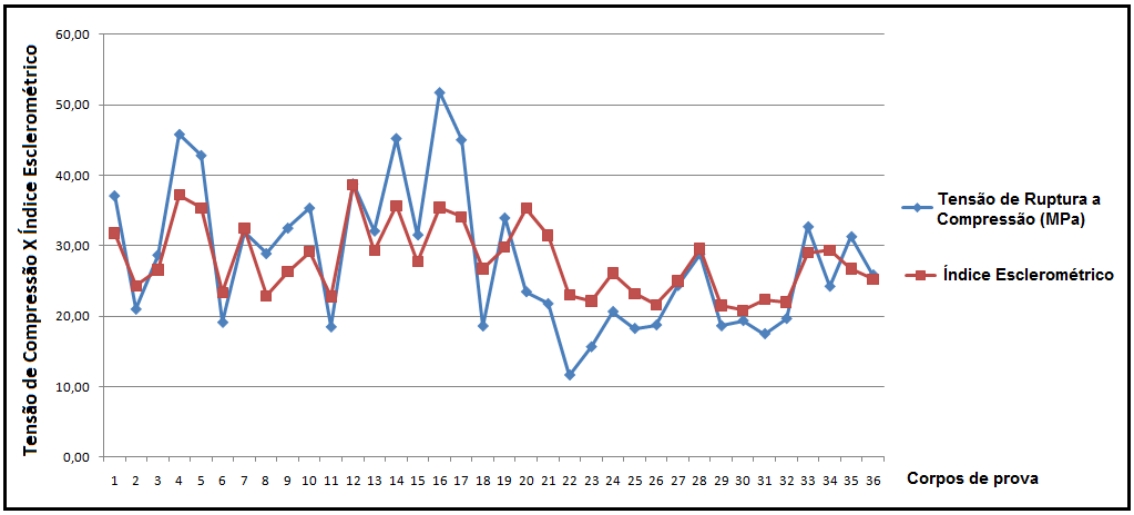


Figura 1 – Tensão de Compressão X Índice Esclerométrico

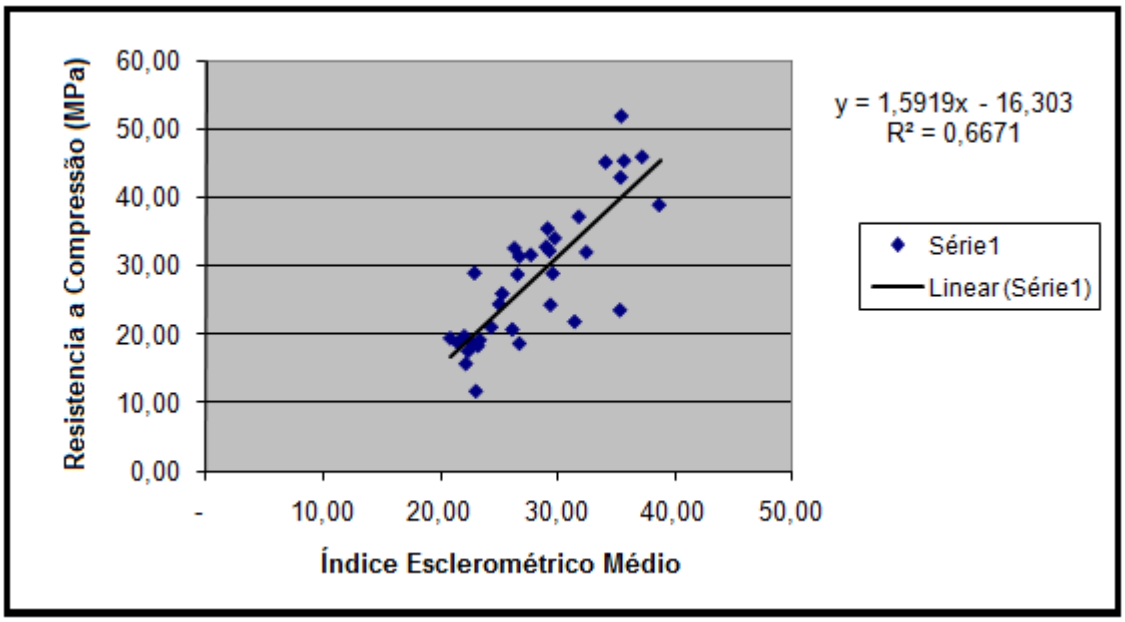


Figura 2 – Dispersão do Figura 01

Tendo em vista que os ensaios no campo seriam executados sobre as marquises, na vertical (-90o), e no laboratório na lateral do corpo de prova, ou seja, na horizontal (0o), foi necessário

encontrar qual a constante (k) de majoração entre os valores apresentados no Ábaco do Esclerômetro a -90o e a 0o. Sabendo da possibilidade da imprecisão na leitura do Ábaco do Esclerômetro, fez-se a correspondência entre dez leituras escolhidas de modo aleatório no Ábaco obtendo-se através da média entre esses valores a constante k=0,8187, que foi utilizada minorando os valores.

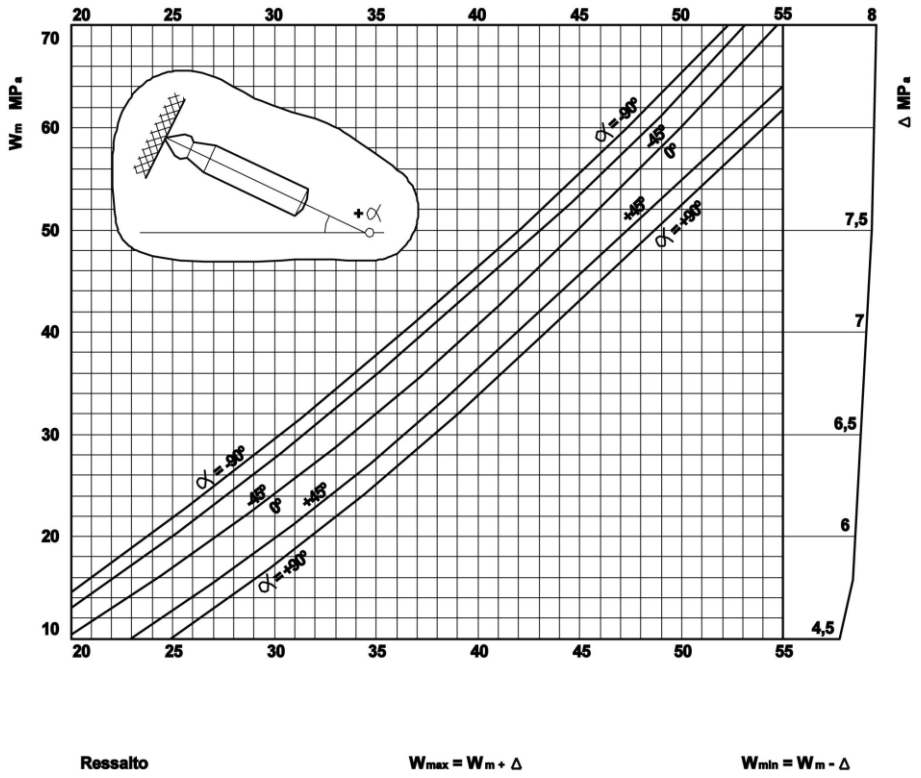


Figura 3 – Ábaco para determinação da dureza superficial para MPa do Esclerômetro de Schmidt tipo N

Através da Figura 3, é possível observar a relação entre o Índice Esclerométrico Médio (IEM) executado em laboratório e a resistência à compressão já corrigida pela constante k (Rck).

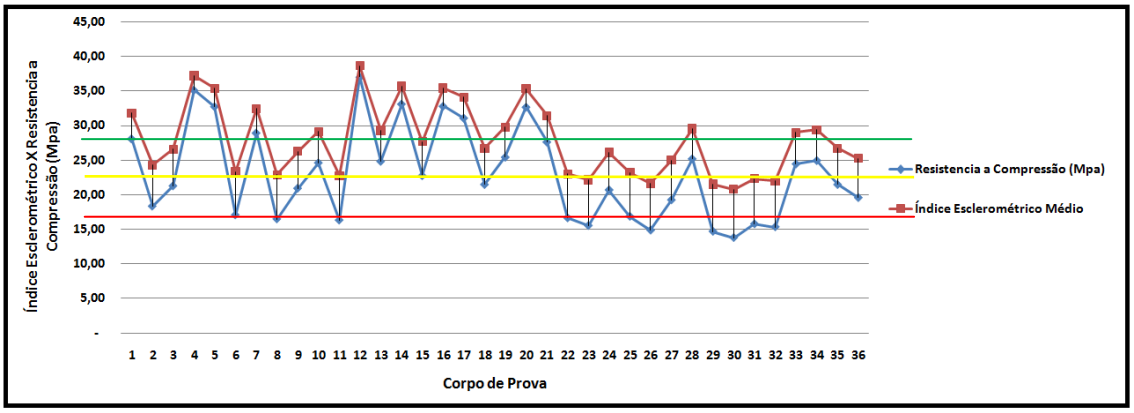


Figura 4 – Índice Esclerométrico Médio X Resistência a Compressão corrigida pela constante K

Não podemos afirmar que o valor da Rck obtida seja exatamente o valor da resistência à compressão do concreto (fck) analisado, mas podemos afirmar que para um determinado IEM obtido corresponde a valores de resistência a compressão (fck) menor do que a Rck encontrada. Pôde-se assim avaliar a qualidade do concreto de acordo com os valores estabelecidos pela NBR 6118 (2007) e os valores mais utilizados no mercado, como se pode observar na Figura 4.

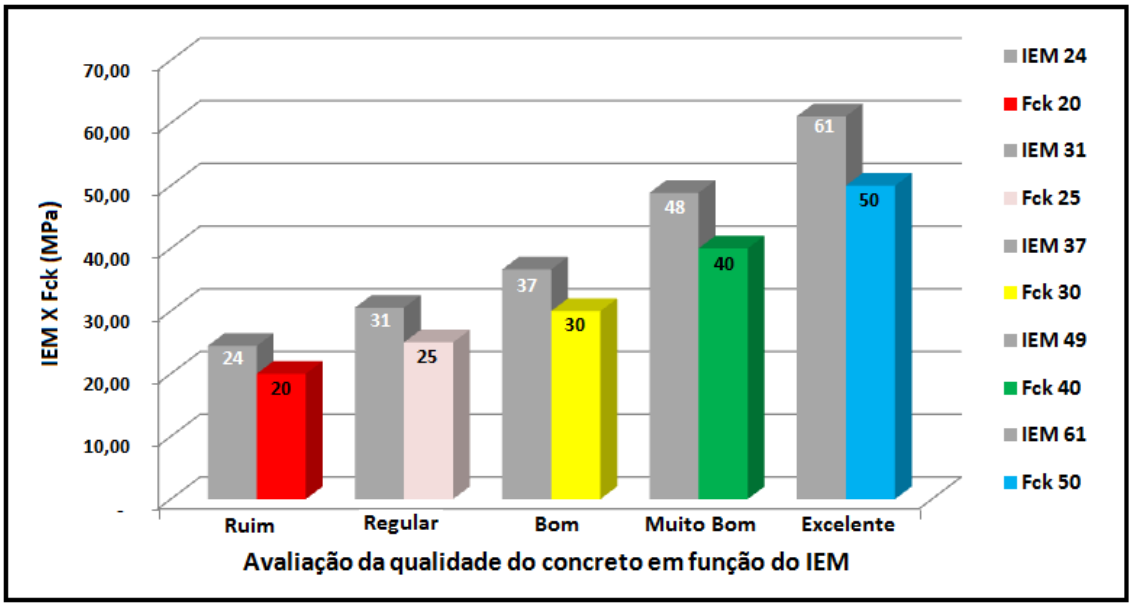


Figura 4 – Avaliação da qualidade do concreto em função do IEM

Após a conclusão desse processo de associação entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão em corpos de prova, deu-se início a realização da esclerometria na marquise em estudo.

ANEXO I – CHECK-LIST

Check List nº ____ Data da Inspeção __/__/__

01. Dados da edificação (marquise)

Bairro: _____
Rua: _____ **Nº da edificação:** _____
Idade: ____

Tipo de apoio da marquise:

☐ Engastamento; ☐ Pilar;

☐ Console/ Viga; ☐ Outros;

Tipo de marquise (quanto ao engastamento):

☐ Marquises engastadas nas lajes do piso ☐ Marquises engastadas em vigas

☐ Marquises engastadas em pilares ☐ Marquises engastadas em alvenaria

Tipo de edificação:

☐ Residencial ☐ Comercial ☐ Pública ☐ Religiosa ☐ Outro

Existe rotina de manutenção preventiva: ☐ Sim ☐ Não

Foi observada ou constatada alguma intervenção na estrutura: ☐ Sim ☐ Não

_____
_____

Comprimento longitudinal: ____ Comprimento transversal: ____
Comprimento da espessura: ____ Altura do pé direito: _____

Agressividade do meio ambiente (segundo a norma da ABNT - NBR 6118):

☐ I ☐ II ☐ III ☐ IV

Existe armadura exposta : ☐ Sim ☐ Não

Cobrimento Nominal: _____

02. Manifestações patológicas encontradas:

☐ Umidade ☐ Desagregação do concreto

☐ Mofo, bolor, limo. ☐ Descolamento cerâmico (concreto)

☐ Corrosão ☐ Fissuração

☐ Lixiviação ☐ Trincas

Outros:

_____
_____
_____

Rua Benfica, 455 • Madalena • Recife • Pernambuco • CEP 50.751.460 • BL – C • Sala C – 12
•Fone: (081) 2119-3855 - Ramal: 3247

03. Croqui

Rua Benfica, 455 • Madalena • Recife • Pernambuco • CEP 50.751.460 • BL – C • Sala C – 12
•Fone: (081) 2119-3855 - Ramal: 3247