

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**ESCOLA DE ENGENHARIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**RECORRÊNCIA DE PATOLOGIAS EM  
PROCESSOS DE ATAQUE VIA CLORETO EM  
CONCRETO ARMADO**

**ANA CAROLINA LAMEGO MORAES**

**Belo Horizonte**

**2012**

**Ana Carolina Lamego Moraes**

**RECORRÊNCIA DE PATOLOGIAS EM PROCESSOS DE  
ATAQUE VIA CLORETO EM CONCRETO ARMADO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Construção Civil na Universidade Federal de Minas Gerais como requisito à obtenção do Título de Mestre em Construção Civil e Materiais de Construção.**

Linha de Pesquisa: Materiais Cimentícios.

Orientador: Professor Doutor Adriano de Paula e Silva.

Co-orientador: Professor Abdias Magalhães Gomes

Belo Horizonte  
2012

M827r

Moraes, Ana Carolina Lamego.

Recorrência de patologias em processos de ataque via cloreto em concreto armado [manuscrito] / Ana Carolina Lamego Moraes. – 2012. xi, 210 f., enc. : il.

Orientador: Adriano de Paula e Silva.

Co-orientador: Abdias Magalhães Gomes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia.

Apêndices: f.152-210.

Bibliografia: f. 139-151.

1. Construção civil – Teses. 2. Concreto armado – Teses. 3. Cloretos-Teses. I. Silva, Adriano de Paula e. II. Gomes, Abdias Magalhães. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 691(043)

Ana Carolina Lamego Moraes

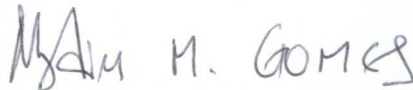
**RECORRÊNCIA DE PATOLOGIAS EM PROCESSOS DE  
ATAQUE VIA CLORETO EM CONCRETO ARMADO**

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós Graduação em Construção Civil  
na Universidade Federal de Minas  
Gerais como requisito à obtenção do  
Título de Mestre em Construção Civil.

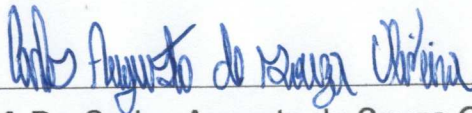
Comissão examinadora



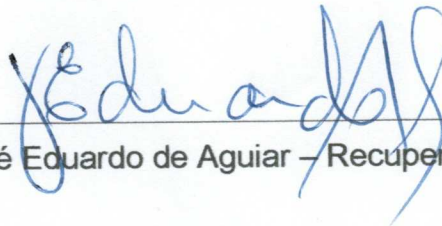
Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva (Orientador) – DEMC/UFMG



Prof. Dr. Abdias Magalhães Gomes (Co-orientador) – DEMC/UFMG



Prof. Dr. Carlos Augusto de Souza Oliveira – UNIFEI



Dr. José Eduardo de Aguiar – Recuperação Engenharia

Belo Horizonte, 02 de agosto de 2012.

Ao meu marido Fabiano, meu filho João Gabriel

e minha irmã e amiga BB.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom que me ofereceres, que sempre me encoraja em levar a diante meus sonhos. Obrigada, Senhor pelas pessoas especiais colocadas em meu caminho. Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que me auxiliaram nessa jornada.

Em especial, agradeço a meu filho João Gabriel que faz minha vida mais alegre e me motiva com seu sorriso que ilumina meus dias e me faz acreditar que tudo é possível.

Ao meu marido Fabiano, sempre um incentivador orgulhoso, pela paciência, carinho, respeito, companheirismo e cumplicidade em todos os momentos.

Aos meus pais, Eneida e Fernando e irmão Luiz, pela alegria e torcida. A Márcia mais que uma irmã, uma amiga de todas as horas. Com certeza não chegaria até aqui sem o apoio de vocês.

Ao professor e coorientador Abdias pela extrema competência, amizade, simplicidade e constante incentivo dispensado durante a realização deste trabalho.

Ao professor Adriano, meu orientador, pela valiosa oportunidade e apoio. Aos demais professores do departamento onde direta ou indiretamente apoiaram, obrigada pela fé.

Aos amigos e funcionários da Recuperação Engenharia, em especial ao Aguiar e Evandro que me deram total apoio e confiança. Agradeço também a Rodosol pela contribuição didática.

Aos amigos do mestrado pelos agradáveis momentos compartilhados ao longo do curso.

*A mente que se abre a uma nova ideia  
jamais voltará ao seu tamanho original.*

Albert Einstein

## RESUMO

O retorno ou a indução de corrosão nos bordos de áreas tratadas em presença de agentes aceleradores da corrosão, como íons cloretos e gás carbônico leva a uma análise sobre as metodologias atuais de reparos. Segundo RIBEIRO (2009) os custos econômicos associados a reparos em estruturas de concreto são cada vez maiores, e tem crescido a incidência de insucessos nessas intervenções. A corrosão ocorre no ânodo e as áreas adjacentes à corrosão funcionam como cátodo. Enquanto existe essa dinâmica elétrica, as áreas no entorno das manifestações patológicas encontram-se protegidas da corrosão. Após a execução do reparo, e com a conseqüente eliminação do ânodo, o efeito de proteção que a atividade exercia sobre as regiões vizinhas desaparece iniciando-se a corrosão (RIBEIRO, 2009). Portanto, a substituição do concreto deteriorado por outro material de reparo, pode induzir o surgimento de corrosão no entorno das áreas tratadas, agravado pela formação de macrocélulas de corrosão.

O presente trabalho relata o monitoramento de estruturas, por aproximadamente 12 anos onde foram constatados efeitos de macrocélulas de corrosão, estando essas estruturas expostas a ambientes agressivos. Foram averiguados os teores de cloretos impregnados no concreto e foram utilizadas técnicas eletroquímicas, bem como a medição do avanço da carbonatação. Como conclusões principais pode-se destacar que em presença de cloretos há uma aceleração da formação da macrocélula de corrosão; os ensaios utilizando técnicas eletroquímicas não podem ser tomados isoladamente nessas análises e que os parâmetros para a análise tanto da penetração de cloretos, quanto para os ensaios eletroquímicos não se encontram bem definidos.

**Palavras-chave;** Concreto armado, corrosão, macrocélulas, técnicas eletroquímicas, cloretos, carbonatação.



## ABSTRACT

The return or the induction of corrosion on the edges of areas treated in the presence of corrosion accelerator agents such as chloride ions and carbon dioxide leads to an analysis of current repair methodologies. According to Ribeiro (2009) the economic costs associated with concrete structures repairs are increasing and the incidence of failures in these interventions has increased. The corrosion occurs at the anode and corrosion areas adjacent to it act as a cathode. While there is that electric dynamic, the areas surrounding the pathological manifestations are protected from corrosion. After running the repair, and the consequent anode elimination, the protection effect that the activity had on neighboring regions disappears, starting the corrosion (RIBEIRO, 2009). Therefore, the replacement of deteriorated concrete by another repair material, can induce the onset of corrosion in the surroundings of treated areas, aggravated by the formation of corrosion macro cells.

This paper reports the monitoring of structures, for about 12 years where the effects of corrosion macro cells were observed, as these structures were exposed to harsh environments. We investigated the content of concrete impregnated chlorides with electrochemical techniques, as well as measuring the carbonation progress. As main conclusions we may note that in the presence of chlorides there is an acceleration on the corrosion macro cell formation; that the assays using electrochemical techniques can not be taken separately in these studies and that the analysis parameters of both the chloride penetration, and the electrochemical assays are not well defined.

**Keywords:** Reinforced concrete, corrosion macro cells, electrochemical techniques, chlorides, carbonation.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Protótipo original do barco de Lambot, preservado no Museu de Brignoles, França.</i>	9
<i>Figura 2- Comparativo entre os percentuais de gastos com reparos e manutenção de estrutura e novas construções em alguns países.</i>	14
<i>Figura 3- Lei dos cinco ou de evolução de custos.</i>	15
<i>Figura 4- Diagrama de equilíbrio E/pH, para o sistema ferro/água (Fe, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) a 25°C e 1 atm.</i>	24
<i>Figura 5- Apresentação das distintas regiões (zonas) de agressividade as estruturas de concreto.</i>	33
<i>Figura 6 - Apresentação das distintas regiões (zonas) de agressividade as estruturas de concreto.</i>	33
<i>Figura 7 – Diagrama da vida útil das estruturas</i>	39
<i>Figura 8 – Extração de amostra de concreto para realização de ensaios.</i>	41
<i>Figura 9 – Corpo de prova extraído, com diâmetro de 4”.</i>	41
<i>Figura 10 – Extração de amostra de pó concreto em estrutura.</i>	43
<i>Figura 11 – Realização de inspeção utilizando técnicas de rapel.</i>	45
<i>Figura 12– Realização de inspeção utilizando técnicas de alpinismo.</i>	45
<i>Figura 13 – Inspeção visual sendo auxiliada pelo uso de luneta.</i>	46
<i>Figura 14– Ensaios de medição da espessura de cobertura das armaduras, utilizando aparelhagem específica.</i>	47
<i>Figura 15 - Diagrama da situação das estruturas quanto a carbonatação, pelo ensaio de aspersão de fenolftaleína.</i>	50
<i>Figura 16 – Ensaio de aspersão de fenolftaleína, para constatação da frente de carbonatação.</i>	51
<i>Figura 17 – Corpo de prova onde fica nítida a corrosão nos locais onde a frente de carbonatação já ultrapassou o limite das armaduras. No local onde o aço encontra-se imerso em uma zona com pH &gt;9 o aço encontra-se íntegro.</i>	51
<i>Figura 18 – Tipos de transmissão no ensaio de ultrassom: a) direta, b) semidireta e c) indireta.</i>	53

<i>Figura 19 – Ensaio de ultrassonografia por transmissão indireta, para análise da compacidade do concreto das paredes do Ribeirão Arrudas.</i>	54
<i>Figura 20 – Ensaio de potencial de corrosão realizado nas paredes do canal do Ribeirão Arrudas.</i>	56
<i>Figura 21 – Realização de ensaios de íons cloretos, utilizando o método graviométrico.</i>	59
<i>Figura 22 – Realização de ensaios de íons cloretos, utilizando o método potenciométrico.</i>	59
<i>Figura 23 – Ensaio de permeabilidade em concreto realizada “in loco”.</i>	62
<i>Figura 24 - Variação do potencial no local da corrosão (a) corrosão em concreto devido ao efeito dos cloretos e inversão da pilha (b) proteção do local de reparo através das pilhas de sacrifício (c).</i>	66
<i>Figura 25 – Limpeza das superfícies de concreto em ambiente repleto de fuligem para o início dos tratamentos.</i>	71
<i>Figura 26 – Apicoamento mecânico de concreto em área que apresentava segregação e corrosão, com a etapa de reparo em andamento.</i>	73
<i>Figura 27 – Técnica que garante a correta cura dos reparos.</i>	78
<i>Figura 28 – Efeito da macrocélula observada em um dos blocos próximo a zona marinha.</i>	80
<i>Figura 29 – Efeito da macrocélula observada em uma das defensas próximo a zona marinha.</i>	80
<i>Figura 30 – Técnicas de mergulho profissional para realizar a inspeção subaquática, nas fundações da 3ª Ponte de Vitória.</i>	82
<i>Figura 31 – Inspeção utilizando plataforma elevatória.</i>	83
<i>Figura 32 – Inspeção utilizando técnicas de alpinismo.</i>	84
<i>Figura 33 – Mapa de localização da ponte que foi utilizado nos estudo de implantação.</i>	87
<i>Figura 34 – Local escolhido para o ensaio I, sobre reparo executado anteriormente, (aproximadamente 5 anos).</i>	94
<i>Figura 35 – Detalhe da execução do ensaio I, próximo ao reparo em área com pontos de armaduras expostas em processo de corrosão, porém medimos um valor de -0,0874mV.</i>	94

<i>Figura 36 – Resultado do ensaio I, localizado na barreira sentido Sul (Vila Velha) Km 0+430m. ....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 37 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado na barreira sentido Sul (cidade Vila Velha) Km 0+430m. ....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 38 – Local escolhido para o ensaio II, sobre reparo executado anteriormente (aproximadamente 5 anos). ....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 39 – Resultado do ensaio II, localizado na barreira sentido Sul (cidade Vila Velha) Km 1+210m. ....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 40 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado na barreira sentido Sul (cidade Vila Velha) Km 1+210m. ....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 41 – Local escolhido para o ensaio III, próximo ao reparo executado anteriormente (aproximadamente 5 anos). ....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 42 – Resultado do ensaio III, localizado na barreira sentido Norte (Vitória) Km 3+150m. ....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 43 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado na barreira sentido Norte (cidade Vitória) Km 3+150m. ....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 44 – Local escolhido para o ensaio IV, sobre fissura e reparo executado anteriormente (aproximadamente 5 anos). ....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 45 – Resultado do ensaio IV, localizado na barreira sentido Norte (cidade Vitória) Km 1+720m. ....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 46 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado na barreira sentido Norte (cidade Vitória) Km 1+720m. ....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 47 – Local escolhido para o ensaio V, sobre fissura. ....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 48 – Resultado do ensaio V, localizado na barreira sentido Norte (cidade Vitória) Km 1+250m. ....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 49 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado na barreira sentido Norte (cidade Vitória) Km 1+250m. ....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 50 – Local escolhido para o ensaio VI próxima aos reparos existem pontos com armaduras expostas em processo de corrosão. ....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 51 – Resultado do ensaio VI, localizado no guarda corpo central sentido Sul (cidade Vila Velha). ....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 52 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado no guarda corpo central sentido Sul (Vila Velha). ....</i>	<i>103</i>

<i>Figura 53 – Testemunhos de concreto do pilar do pórtico N03, sentido cidade de Vitória, face oeste.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 54 – Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar N3 sentido oeste. ....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 55 – Microestrutura típica do concreto via MEV na amostra do pilar N3 sentido oeste. ....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 56 – Testemunhos de concreto do Pilar S6, sentido cidade de Vila Velha, face oeste. ....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 57– Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar 06, sentido Vila Velha, face oeste.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 58 – Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar 06, sentido Vila Velha, face oeste.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 59– Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar 7, sentido oeste. ....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 60– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar 7 . ....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 61– Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar 03 na face norte.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 62 – Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar 03. ....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 63– Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar 06 no sentido Sul. ....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 64– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar 06 no sentido sul, face leste. ....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 65– Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar N3, face leste sentido Norte. ....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 66– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar N3, face leste, sentido Norte.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 67– Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar N3, face norte, sentido Norte. ....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 68– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar N3, face norte, sentido Norte.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 69– Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar N3, face oeste, sentido Norte. ....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 70– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar N3, face oeste, sentido Norte.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 71– Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar N3, face sul, sentido Norte. ....</i>	<i>123</i>

<i>Figura 72– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar N3, face sul, sentido Norte.</i> .....	124
<i>Figura 73– Diagrama do ensaio de EDS, realizada nas barreiras onde foram realizados os ensaios de potencial, ensaio III.</i> .....	125
<i>Figura 74– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto na barreira rígida onde foram realizados os ensaios de potencial, ensaio III.</i> .....	126
<i>Figura 75– Diagrama do ensaio de EDS, realizada nas barreias onde foram realizados os ensaios de potencial, ensaio V.</i> .....	127
<i>Figura 76– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto na barreira rígida onde foram realizados os ensaios de potencial, ensaio V.</i> .....	128
<i>Figura 77– Avanço da frente de carbonatação entre 2000 a 2011.</i> .....	131
<i>Figura 78– Relação das medianas dos cobrimentos e avanço da carbonatação entre 2000 e 2011.</i> .....	133

## ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Valores gastos com novas construções e manutenção de estrutura em alguns países .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 2 – Limites para o teor total de cloretos no concreto .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 3 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e a espessura de cobertura nominal.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 4 – Faixas de referência de potenciais eletroquímicos associados ao risco de corrosão. ....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 5 – Medianas das espessuras de cobertura das armaduras, em mm.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 6 – Medianas das medidas do ensaio da frente de carbonatação, em mm... </i>	<i>91</i>
<i>Tabela 7 – Valores das medianas dos ensaios de cloretos, realizados nos anos de 2000 e 2001. ....</i>	<i>104</i>
<i>Tabela 8 – Testes de Permeabilidade realizados nos elementos estruturais.....</i>	<i>129</i>

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

<i>Equação 1</i>	$Fe^{2+} + 2 Cl^- \rightarrow FeCl_2$	25
<i>Equação 2</i>	$FeCl_2 + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + 2 Cl^-$	25
<i>Equação 3</i>	$6FeCl_2 + O_2 + 6H_2O \rightarrow 2Fe_3O_4 + 12 H^+ + 12 Cl^-$	25
<i>Equação 4</i>	$4 Fe + 3 O_2 + 6 H_2O \rightarrow 4 Fe(OH)_3 \rightarrow 2 Fe_2O_3 + 6 H_2O$	27
<i>Equação 5</i>	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2 e^-$	27
<i>Equação 6</i>	$O_2 + 2H_2O + 4 e^- \rightarrow 4 OH^-$	27
<i>Equação 7</i>	$2 Fe + O_2 + 2 H_2O \rightarrow 2 Fe(OH)_2$	27
<i>Equação 8</i>	$\partial c / \partial t = D (\partial^2 c) / \partial x^2$	37
<i>Equação 9</i>	$Na_2 SiO_3 + y H_2O + x Ca (H_2O)_2 \rightarrow x CaO . SiO_2 . y H_2O + 2NaOH$	68



## LISTA DE ABREVIÇÕES E SIMBOLOS

a/c	Relação água/cimento
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
BAR	Unidade de medida de pressão igual a $10^5$ pascal, 750mmHg ou 0,987 atmosfera
BS	<i>British Standards Institution</i>
CAA	Classe de Agressividade Ambiental
cm	Centímetro
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de cálcio
Ca(OH) <sub>2</sub> , CH	Hidróxido de cálcio ou portlandita
C <sub>2</sub> S	Silicato Dicálcio (Belita)
C <sub>3</sub> S	Aluminato Tricálcio (Alita)
C <sub>3</sub> A	Silicato Tricálcio ou aluminato tricálcio
C <sub>4</sub> AF	Ferroaluminato Tetracálcio
C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
CEB-FIP	<i>Comité Euro-Internacional du Béton</i>
CEN	<i>Comité Européen de Normalisation</i>
Cl <sup>-</sup>	Íon cloreto
CP	Corpo de prova (testemunho)
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono ou gás carbônico
C <sub>6</sub> AS <sub>3</sub> H <sub>32</sub>	Etringita
D	Coeficiente de difusão
DRX	Difratometria de raios X
E <sub>corr</sub>	Potencial de corrosão
EN	Norma Europeia
ESC	Eletrodo de cobre-sulfato de cobre
eV	Eletrovolt
JIS	<i>Japanese Industrial Standards</i>
mm	Milímetro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
MO	Microscopia Óptica
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	Norma Brasileira Registrada
Pa	Pascal
pH	Potencial de Hidrogênio
S	SiO <sub>2</sub> – Dióxido de silício
UR (%)	Umidade relativa em porcentagem
UK	<i>United Kingdom</i>
°C	Grau Celsius
Letras Gregas	
μm	micrômetro

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	1
2. Objetivos do trabalho .....	4
2.1. Objetivo Geral .....	4
2.2. Objetivos Específicos .....	4
2.3. Justificativa e relevância do trabalho .....	5
3. Estado da Arte / Revisão de Literatura .....	7
3.1. A história do Concreto .....	7
3.2. O Concreto e a sustentabilidade .....	10
3.3. Durabilidade do Concreto .....	11
3.4. Estudos sobre o retorno das manifestações patológicas no entorno .....	16
3.5. Deterioração dos concretos .....	21
3.5.1. Manifestações patológicas em estruturas de concreto .....	21
3.5.2. Corrosão das armaduras .....	22
3.5.2.1. Mecanismos da corrosão .....	25
3.5.2.2. Tipos de aço .....	26
3.6. Penetração de Íons Cloreto .....	28
3.6.1. Meio Ambiente Marinho .....	31
3.6.1.1. Histórico de pesquisas do concreto exposto à água do mar .....	34
3.6.2. Difusão de cloretos .....	36
3.6.2.1. Migração .....	39
3.7. Métodos de investigação de estruturas de concreto .....	40
3.7.1. Introdução .....	40
3.7.2. Destrutivos .....	40

3.7.2.1. Extração de amostras (carotes) do concreto .....	40
3.7.2.2. Extração de pó de concreto .....	42
3.7.3. Não destrutivos .....	43
3.7.3.1. Inspeção Visual .....	43
3.7.3.2. Medição de cobrimento da camada de concreto .....	46
3.7.3.3. Ensaio colorimétrico de potencial alcalino .....	48
3.7.3.4. Ultrassonografia .....	52
3.7.3.5. Potencial de corrosão .....	54
3.7.3.6. Avaliação do teor de íons Cloretos .....	57
3.7.3.7. Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) .....	60
3.7.3.8. Permeabilidade do concreto .....	61
3.8. Sistema de Proteção .....	63
3.8.1. Inibidores de corrosão de atuação anódica e catódica .....	63
3.8.1.1. Inibidor de corrosão para argamassa .....	64
3.8.1.2. Inibidor de corrosão para superfícies .....	64
3.8.2. Pastilhas galvânicas .....	65
3.8.3. Formadores de película .....	67
3.8.4. Bloqueadores de poros .....	67
3.8.5. Hidrofugantes de superfície .....	68
3.8.6. Corrente galvânica .....	69
3.9. Técnicas de recuperação das estruturas .....	69
3.9.1. Preparação das superfícies .....	70
3.9.2. Tratamento das áreas com deslocamentos de concreto e corrosão .....	72
3.9.2.1. Marcação das áreas a serem recuperadas .....	72

3.9.2.2. Remoção do concreto nas áreas deterioradas .....	72
3.9.2.3. Limpeza das armaduras .....	74
3.9.2.4. Fechamento de reparos.....	74
3.9.2.5. Fechamento de reparos profundos.....	77
3.9.2.6. Cura das argamassas de reparo .....	78
4. Metodologia do trabalho .....	79
4.1. Introdução .....	79
4.2. Acessos às Áreas de Trabalho .....	81
4.3. Identificação dos Elementos Estruturais .....	84
4.4. Seleção dos locais para a inspeção e avaliação.....	85
4.5. Histórico de testes realizados .....	85
4.6. Ensaio realizados .....	87
4.6.1. Espessura de cobertura do aço .....	88
4.6.2. Ensaio colorimétrico de potencial alcalino .....	91
4.6.3. Potencial de corrosão .....	93
4.6.4. Determinação de íons cloretos totais via MEV .....	104
4.6.5. Permeabilidade.....	128
4.7. Análise geral dos resultados .....	130
5. Conclusão .....	136
6. Propostas de Novos Trabalhos .....	138
7. Referências Bibliográficas.....	139
APÊNDICE A – Apresentação dos resultados dos ensaios.....	152
APÊNDICE B - Tratamento estatístico dos ensaios realizados.....	183

## 1. Introdução

O concreto armado é o segundo material mais consumido atualmente, perdendo somente para a água (ISAIA et al., 2005 apud MEHTA & MONTEIRO, 2008), e sua produção torna-o insustentável pelo alto grau de transferência de gás carbônico para o meio ambiente.

A produção de cimento por ano é responsável por 7,9% da emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) em todo o mundo (RESCHKE, et al., 2005), este fato leva a necessidade do uso racional do material. Essa análise quanto ao consumo do concreto em obras novas traz em cena também a manutenção das estruturas existentes e ao próprio conceito de durabilidade.

No cenário mundial, acredita-se que para cada tonelada de clínquer produzido seja gerada cerca de uma tonelada de CO<sub>2</sub> (METHA, 1999 apud GONÇALVES, 2005). A produção mundial por ano de cimento é de 1,5 bilhões de toneladas, principalmente de cimento Portland.

Visto que o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) é o gás gerador do efeito estufa e o fenômeno o principal agente do aumento das temperaturas na Terra, faz-se necessária uma análise crítica quanto à utilização e aproveitamento do material concreto, bem como estudos sobre os processos de degradação do concreto.

Outrora se acreditava que o material concreto era infindável e duradouro, sem a preocupação com a durabilidade do mesmo, nem tão pouco observações e análises quanto às manifestações patológicas.

Com o envelhecimento das estruturas compostas pelo concreto armado, iniciou-se a engenharia de reparos, onde foram tomados termos e métodos da medicina. A estrutura é vista e cuidada como um sistema complexo tal qual o corpo humano.

Apesar do tema patologias e reparos em concreto ser relativamente recente, a reparação de defeitos nas edificações já era previsto pelo código de Construção de

Hammurabi's (Rei da Babilônia) no ano 2.200 a.C. Esse código impunha severas punições no caso de ocorrência de falhas e colapsos estruturais.

Segundo Helene (1993), o estudo da durabilidade das estruturas de concreto armado, tem evoluído graças ao maior conhecimento dos mecanismos de transporte de líquidos e gases agressivos nos meios porosos como o concreto.

Com a engenharia da recuperação iniciaram-se os métodos de reparos que tratavam as manifestações patológicas, sendo que o processo de degradação do concreto armado de maior ocorrência se dá pela corrosão das armaduras.

O tratamento nas estruturas é um processo dispendioso e moroso, e em geral causa diversos transtornos aos usuários.

A prática mais utilizada como solução para as manifestações patológicas oriundas da corrosão encontra-se no tratamento localizado dessas áreas. Uma analogia com medicina odontológica consiste na obturação de uma cárie. Constata-se o problema, retira-se todo o material deteriorado, se limpa o local e então se procede ao preenchimento do local. Assim também é feito em estruturas de concreto.

No caso de reparos em concreto, o preenchimento após a retirada do concreto deteriorado, consiste na substituição por argamassas a base de cimento Portland modificadas com polímeros.

Através do monitoramento de estruturas recuperadas com reparos tradicionais e submetidas em altos índices de íons cloretos, constatou-se a indução da corrosão no entorno das áreas tratadas.

O retorno da corrosão ocorre nas áreas adjacentes aos reparos que antes se encontravam protegidas. Esse retorno ou indução é conhecido como macrocélula, ânodo incipiente ou efeito auréola, e observa-se escassez de pesquisas e até mesmo de literatura desse fenômeno.

O presente trabalho consiste na discussão e ensaios em estruturas onde foi observado o retorno da corrosão em áreas adjacentes aos reparos, imersas num ambiente fortemente agressivo, com presença de íons cloretos e carbonatação.

Convém ressaltar que para abordar o tema específico, impõe-se em pinceladas dos aspectos históricos do concreto, das manifestações patológicas, tecnologias das metodologias de reparos e histórico dos estudos realizados sobre o retorno das patologias.

## **2. Objetivos do trabalho**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral desta pesquisa consiste na avaliação da recorrência de ações deletérias observadas em estruturas de concreto armado, nomeadamente através de um estudo de caso, com foco nas ações decorrentes dos fenômenos de carbonatação e ataques por cloretos.

Neste sentido, é inevitável que vá propiciar igualmente uma contribuição para o estudo das reações deletérias do concreto, das técnicas de recuperação e da indução das patologias nos bordos de reparos tratadas pelos métodos convencionais.

O presente estudo descreve as práticas atuais de reparos em estruturas de concreto, descrevendo as formas de tratamentos via de regra utilizadas pelos interventores, com foco nos agentes agressivos presentes e na qualidade do concreto.

Como corolário ao estudo de caso, será feita uma análise sistemática dos ensaios realizados durante aproximadamente 12 anos em estruturas, beira mar, expostas a ambientes agressivos onde foram realizados tratamentos específicos face à corrosão observada nas armaduras.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Este trabalho tem como objetivos específicos analisar a degradação do concreto armado, considerando o efeito da corrosão, estabelecer parâmetros e motivos para o início ou indução dos processos patológicos no entorno de uma área tratada com métodos tradicionais de recuperação de estruturas de concreto, nomeadamente:

- serão averiguados os teores de cloretos impregnados no concreto e medidos os potenciais de corrosão em locais onde já foram feitos reparos anteriores que se



encontram em bom estado e onde for constatada a recorrência das manifestações patológicas.

- medição de permeabilidade no concreto em estudo, será apresentada visando uma análise da penetração dos agentes agressivos, em face da porosidade do concreto.

- avaliação do cobrimento das armaduras;

- avaliação colorimétrica comparativa para controlar a eficiência da barreira física protetora contra corrosão.

### **2.3. Justificativa e relevância do trabalho**

O retorno ou a indução de corrosão nos bordos de áreas tratadas em presença de agentes aceleradores da corrosão, como íons cloretos e gás carbônico, leva a uma análise sobre as metodologias atuais de reparos.

A indução da corrosão leva a deterioração precoce e torna os gastos destinados em obras de reparos estruturais, portanto cíclicos. Análises e estudos sobre novas metodologias executivas ou materiais mais compatíveis quimicamente devem ser desenvolvidos.

Segundo Ribeiro (2009) os custos econômicos associados aos reparos de estruturas de concreto são cada vez maiores, e tem crescido a incidência de insucessos nessas intervenções. Novas metodologias de tratamentos deverão ser consideradas e testadas.

A corrosão ocorre no ânodo e as áreas adjacentes à corrosão funcionam como cátodo. Enquanto existe essa dinâmica elétrica, as áreas no entorno das patologias encontram-se protegidas da corrosão. Após a execução do reparo, e com a consequente eliminação do ânodo, o efeito de proteção que a atividade exercia sobre as regiões vizinhas desaparece e inicia-se a corrosão (RIBEIRO, 2009). Portanto, a substituição do concreto deteriorado por outro material de reparo, pode

induzir o surgimento de corrosão no entorno das áreas tratadas, agravado pela formação de macrocélulas de corrosão.

As pesquisas realizadas sobre esse tema até o presente objetivaram somente a análise dos efeitos das macrocélulas de corrosão induzida pela aplicação em reparos localizados, de forma experimental. Esse trabalho relata o monitoramento das estruturas com ocorrência de reparos e de surgimento de macrocélulas de corrosão, por aproximadamente 12 anos, realizado ensaios para quantificar o ambiente.

### **3. Estado da Arte / Revisão de Literatura**

#### **3.1. A história do Concreto**

Desde as primeiras construções do homem na qual se têm registros, constata-se o emprego de materiais como a pedra natural e madeira, pela disponibilidade na natureza e facilidade de trabalhabilidade.

A Revolução Industrial foi um processo histórico de transformação econômica e social da segunda metade do século XVIII, essa influência também se deu no setor dos materiais. O ferro e o aço vieram com o início dos processos industriais e da metalurgia, revolucionando assim a construção civil (ISAIA, 2005).

Com o tempo, os homens foram verificando as propriedades dos materiais que constituíam suas estruturas e concluindo: a pedra tem grande resistência à compressão e durabilidade muito elevadas, porém baixas resistências à tração. Já a madeira possui beleza e resistência, o ferro e o aço tem resistência elevada, mas a durabilidade de ambos é limitada. Surgia a necessidade de um novo material para ser empregado nas construções que aliasse resistência e durabilidade.

Assim, historicamente iniciou-se o emprego do cimento como material de construção, aliando durabilidade, resistência e beleza. Tem-se o primeiro indício do uso do cimento nas pirâmides do Egito, onde pode-se verificar que em sua concepção há o uso de barro misturado com palha para a fabricação de tijolos (secos ao ar livre) e de argamassas de gipsita e de cal, uma espécie de gesso calcinado (ISAIA, 2005).

Passando por Roma e Grécia antigas, verifica-se monumentos com uma massa obtida pela hidratação de cinzas vulcânicas, numa combinação de tijolos de argila, pedra e outros materiais. A versatilidade para a aplicação desse material, nas mais variáveis formas e facilidades, motivou seu desenvolvimento.

Panteão foi construído em 27 a.C e o Coliseu construído em 69 e 79 d.C, mesclando pedras e materiais cimentícios, onde a arquitetura incrível e criativa chama atenção pela sua variedade de formas e detalhes.

O inglês John Smeaton desenvolveu em suas pesquisas um aglomerante para construir o farol de Eddystone em 1756, cujo nome cimento Portland foi atribuído em razão da semelhança desse cimento endurecido com as rochas da ilha britânica de Portland.

No ano de 1770, em Paris associou-se ferro com pedra para formar vigas, tal qual as modernas, com barras longitudinais e barras transversais ao cortante.

Com James Parker, que descobriu em 1791 e patenteou em 1796 um cimento com o nome de Cimento Romano, composto por sedimentos de rochas da ilha de Sheppel, ganha destaque com pesquisas e publicações feitas pelo engenheiro francês Louis José Vicat em 1818 (LIMA, 2005).

O ponto marcante, porém, para a história do cimento atual, se deu pelas mãos do construtor inglês Joseph Aspdin, com suas experiências envolvendo processos de mistura, queima e moagem de argila e pó de pedra calcária retirado das ruas. Neste desenvolvimento, Aspdin conseguiu um material pulverulento, no qual ele misturava certa quantidade de água, produzindo uma argamassa. Depois, deixava-a secar, conseguindo um material de dureza parecida com as pedras utilizadas nas edificações. Por fim, o construtor patenteou este pó em 1824, com o nome de cimento Portland (VASCONCELOS, 1992).

Segundo Vasconcelos (1992) o fato histórico mais reconhecido ocorreu em 1849, onde o cimento armado teve seu marco histórico reconhecido com seu surgimento, na França, através do barco do Francês Joseph Lambot (Figura 1), o qual foi apresentado oficialmente em 1855.

Esse foi construído com telas de finos fios de ferro preenchidas com argamassa, sendo considerado a 1ª peça de concreto armado. Observa-se, porém, que esse

barco executados pelo agricultor Frances de fato não era constituído por concreto armado e sim em ferro-cimento ou cimento armado, mais conhecido no Brasil como argamassa armada.



Figura 1 - Protótipo original do barco de Lambot, preservado no Museu de Brignoles, França.

(Fonte: <http://www.museebrignolais.com/pieces.htm>)

Em 1861 o também francês Mounier fabricou vasos de flores com argamassa de cimento com armadura de arame (VASCONCELOS, 1992).

Os alemães estabeleceram a teoria mais completa do novo material, toda ela baseada em experiências e ensaios. “O verdadeiro desenvolvimento do concreto armado no mundo iniciou-se com Gustavo Adolpho Wayss que fundou sua firma em 1875, após comprar as patentes de Mounier para empregar no norte da Alemanha” (VASCONCELOS, 1992).

O início do dimensionamento das peças de concreto armado surgiu com a publicação de E. Mörsch em 1902 da 1ª edição da obra sobre a “Teoria e a Prática do Concreto Armado”. Mörsch era um engenheiro alemão, professor da

Universidade de Stuttgart. Suas pesquisas deram origem às primeiras normas para o cálculo e construção em concreto armado.

As fissuras (trincas de pequena abertura  $w_k \approx 0,05$  a  $0,4$  mm), causadas pelas tensões de tração no concreto, atrasaram o desenvolvimento do concreto armado devido à dificuldade na resolução do problema. Como forma de contornar o problema da fissuração no concreto, M. Koenen propôs, em 1907, tracionar previamente as barras de aço, para assim originar tensões de compressão na seção, como forma de eliminar a tração no concreto e conseqüentemente eliminar as fissuras. Surgiu assim o chamado “Concreto Protendido”.

Com o desenvolvimento do novo tipo de construção, tornou-se necessário regulamentar o projeto e a execução, surgindo as primeiras instruções ou normas: 1904 - Alemanha; 1906 - França; 1909 - Suíça. No Brasil surgiu somente em 1940 com a NB-1 – Norma para o projeto e execução de estruturas de concreto armado da ABNT (VASCONCELOS, 1992).

Até o ano de 1920 o concreto armado era conhecido como cimento armado, prosseguindo para como é conhecido até a atualidade.

### **3.2. O Concreto e a sustentabilidade**

O planeta Terra enfrenta atualmente um grande desafio ambiental, que pode estar ligada a própria sobrevivência do ser humano. Após acarretar grandes devastações em nome do consumismo desenfreado e de uma cultura que nunca pensou em termos ambientais, hoje o homem enfrenta um novo desafio: desenvolvimento sem agredir o meio ambiente.

As preocupações ambientais começaram a ganhar vulto após a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente, realizada em 1972 em Estocolmo, sendo marco inicial para o debate de sustentabilidade e origem oficial do tema.

Em 1987 na Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Comissão Brundtland, foi cunhada a definição mais utilizada de desenvolvimento sustentável: Desenvolvimento sustentável é o tipo de desenvolvimento que atende as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem suas próprias necessidades (Guia de Sustentabilidade na Construção, FIEMG, 2008).

Na área da engenharia a preocupação quanto ao desenvolvimento sustentável deve ser discutido visto o alto consumo atual de cimento; a produção de cimento é responsável pela grande emissão de gás carbônico, e como consequência a necessidade do uso coerente do material, fato interligado ao próprio conceito de durabilidade.

Há atualmente uma tentativa na diminuição do consumo do clínquer através de uma substituição do mesmo por subprodutos com características pozolâmicas, tais como cinzas volantes, escórias de alto forno, resíduos da indústria de petróleo. Porém as reduções das emissões ainda são muito limitadas.

Como reagirão as adições inseridas em um concreto armado que já sofreu ligações e transformação devido aos diversos agentes ligantes é inimaginável, e somente o tempo e as pesquisas que prosseguiram poderão trazer tal resposta.

Muito se tem gasto em pesquisas e no desenvolvimento de ligantes alternativos ao cimento Portland em termos ambientais, porém, pesquisas sobre as compatibilizações e reações desse novo material, e entre esse material e o concreto antigo, são reduzidas.

### **3.3. Durabilidade do Concreto**

A discussão sobre a durabilidade do concreto é um fato relativamente novo. No Brasil o assunto teve início através da norma ABNT NBR 6118 em 2003 focando o tema.

O avanço tecnológico observado em diversos setores da engenharia civil não foi acompanhado nas metodologias de execução das construções. A tecnologia verificada na fabricação do concreto, com a melhoria das propriedades dos aditivos, adições e ligantes possibilitou a redução nas seções das peças em função de um aumento das resistências mecânicas (FERREIRA, 2000) sem haver, porém, um avanço na durabilidade das estruturas.

Segundo Vasconcelos (2005), a fim de facilitar o lançamento do concreto em peças cada vez mais estreitas e mais armadas, lançou-se mão de concretos mais fluidos e compostos com materiais mais finos, resultado em um produto final de qualidade inferior.

Verifica-se que concretos antigos, em geral possuem uma durabilidade superior aos executados recentemente. Nos anos 60 para produzir um concreto que atendesse uma resistência a compressão de 30 MPa era necessário um consumo de cimento entre 400 a 500 kg/m<sup>3</sup>. Nos anos seguintes verificaram-se concretos resistentes com um teor de cimento menor (FERREIRA, 2000).

O comitê 201 do AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) definiu a durabilidade do concreto de cimento Portland como a capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração.

Para Neville (1997) o concreto é considerado durável quando desempenha as funções que lhe foram atribuídas, mantendo a resistência e a utilidade esperada, durante um período de vida previsto.

Segundo Helene (1986), o estudo da durabilidade das estruturas de concreto armado, tem evoluído graças ao maior conhecimento dos mecanismos de transporte de líquidos e gases agressivos nos meios porosos como o concreto.

A NBR 6118 (ABNT, 2003) indica que a durabilidade “consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do



projeto.” A Norma prevê, ainda, o fato de que, para que a estrutura seja conservada, a mesma não deverá necessitar de reparos de alto custo, ao longo de sua vida útil.

Os requisitos e exigências de durabilidade foram definidos na NBR 12655 (ABNT, 2006) sendo as estruturas projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, apresentem segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

Porém a experiência tem mostrado que a velocidade do término da vida útil da estrutura é um fato que merece uma análise mais profunda. Esse estudo advém dos gastos que vem sendo gerados pelos reparos. Um comparativo entre os gastos dos reparos e gastos em obras novas em estruturas em 3 países, foi levantado e apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores gastos com novas construções e manutenção de estrutura em alguns países

(Fonte: UEDA, Takewaka, 2007).

<b>País</b>	<b>Gastos com construções novas</b>	<b>Gastos com manutenção e reparo</b>	<b>Gastos totais com construção</b>
França	85,6 bilhões de Euros (52%)	79,6 bilhões de Euros (48%)	165,2 bilhões de Euros (100%)
Alemanha	99,7 bilhões de Euros (50%)	99,0 bilhões de Euros (50%)	198,7 bilhões de Euros (100%)
Itália	58,6 bilhões de Euros (43%)	76,8 bilhões de Euros (57%)	135,4 bilhões de Euros (100%)

Observação: todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto o caso da Itália que refere ao ano de 2002.

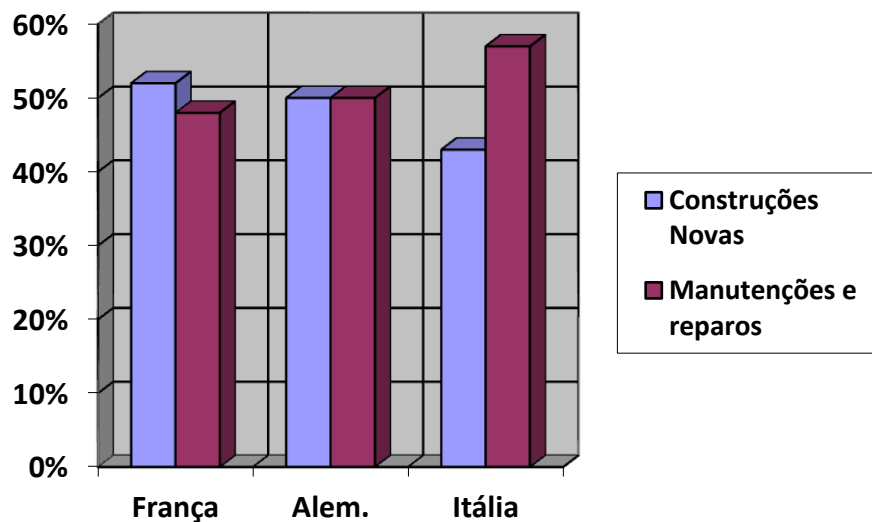


Figura 2– Comparativo entre os percentuais de gastos com reparos e manutenção de estrutura e novas construções em alguns países.

A partir dos dados relacionados na Tabela 1 e Figura 2, pode-se observar que na Alemanha o gasto com novas construções, reparos e manutenções já estão equiparados. Na Itália o gasto com a manutenção e reparos já ultrapassou o gasto com as novas construções. Já na França se tem um gasto maior com obras novas, porém pode-se verificar que os valores se aproximam em todos os casos analisados, onde se conclui que uma estrutura em uso possui um gasto aproximado a uma nova estrutura. Os investimentos com as estruturas, sem as devidas manutenções preventivas, se equiparam a construí-las novamente.

A lei de evolução de custos, “lei dos cinco” ou lei de Sitter, desenvolvida por Sitter (1983) apud Helene (1993), demonstra que o custo das intervenções de reparos pode chegar a ser superior ao de construir uma estrutura nova, devido ao elevado custo de uma intervenção para aumentar a durabilidade de uma estrutura no período de manutenção corretiva, conforme demonstra a Figura 3.

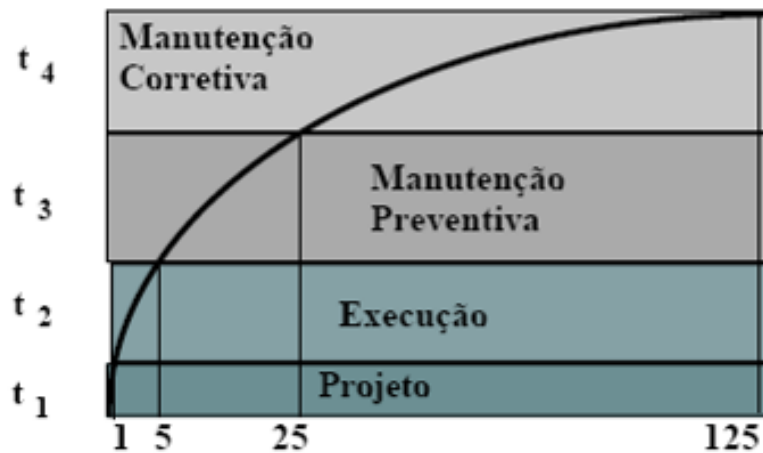


Figura 3– Lei dos cinco ou de evolução de custos.

(Fonte: SITTER, 1983 CEB - Comité Euro-Internacional Du Béton. apud HELENO, 1993)

Analisando a Figura 3 se pode verificar uma divisão em 4 (quatro) etapas construtivas, a saber: projeto (t1), execução (t2), manutenção preventiva (t3) e manutenção corretiva (t4).

Segundo Sitter, formulador da lei de custos muito citada em trabalhos sobre o tema, colaborador do CEB-FIP (Comité Euro-Internacional du Béton) apud Helene, adiar uma intervenção significa aumentar os custos diretos em progressão geométrica na razão 5 (cinco).

Na fase de projeto (t1) toda decisão tomada tem um custo de 1 (uma) unidade. Nessa etapa podem ser adotados cuidados iniciais, por exemplo, da escolha adequada do cobrimento das armaduras, redução da relação a/c, pinturas de proteção adequadas, adequados tipos de cimento, escolha de aditivos e adições, ou seja, decisões que oneram financeiramente nessa fase.

Na fase de execução (t2) cada medida a ser tomada há um aumento de 5 (cinco) vezes o gasto na fase de projeto. Nessa etapa está incluído não somente a construção propriamente dita, mas também o período da obra recém-construída. Já as medidas tomadas na fase de manutenção preventiva tem um gasto 25 (vinte e cinco) vezes maior do que uma atitude tomada na fase de projeto e, por

consequente, uma medida tomada na fase de manutenção corretiva corresponde a um custo 125 vezes maior do que aquela tomada na fase de projeto.

A luz do exposto, a fase de projeto deve ser desprendida os maiores gastos na programação e desenvolvimento do empreendimento.

### **3.4. Estudos sobre o retorno das manifestações patológicas no entorno de reparos**

As pesquisas relacionadas sobre o tema da formação de manifestações patológicas no entorno de áreas tratadas ainda são bem escassas, e apenas em três pesquisas foram usados concretos carbonatados, a saber: Gulikers; Van Mier, 1992; Schiessl et al., 1994 e Ribeiro, 2009.

No Brasil as pesquisas iniciaram na década de 1990, com professor Paulo Helene da Escola Politécnica da USP e no exterior também se tem registros de estudos sobre o assunto.

Segundo Ribeiro (2009), alguns estudos importantes sobre o tema foram publicados em revistas e congressos internacionais.

No estudo de Gulikers e Van Mier (1992), sobre o efeito de reparos localizados de argamassa na corrosão de armaduras em concreto carbonatado, foi discutido a repassivação do aço promovido pelo reparo e do concreto original e a corrente de macrocélula entre essas áreas. Para tanto foram realizados reparos em concretos previamente carbonatados e o efeito de macrocélula antecipado por meio de ciclos de umedecimento e secagem. Foi feito o monitoramento das diferenças de potencial entre as barras imersas nos reparos e as barras imersas no concreto previamente carbonatado.

Conclui-se, portanto que o emprego de argamassa à base de cimento Portland como reparo em estruturas de concreto carbonatado com problemas de corrosão induz a corrente por macrocélula e acelera a corrosão do aço no concreto carbonatado

original; conclui-se também que a relação entre as áreas catódicas e anódicas é um fator controlado da intensidade de corrente por macrocélula e que a distância entre as barras acopladas teve pouca influência na corrente de corrosão por macrocélula.

Nepomuceno (1982) estudou o comportamento das armaduras situadas na interface do material de reparo e ao substrato, com o objetivo de verificar a correlação entre a capacidade de proteção das argamassas e a sua influência na formação de pares galvânicos. Nesse trabalho teve-se como referencia uma argamassa de reparo constituída por cimento e areia, num traço de 1:3, a/c=0,5, sem aditivos.

Para tanto os reparos foram executados após 105 dias da moldagem e após sete dias de cura. Sobre as juntas de interface dos reparos e o substrato foi utilizada uma solução de NaCl, a 5%, por 15 dias e secos por 7 dias.

Prosseguindo por mais 13 dias de e 60 dias de secagem. A partir dai iniciou-se o monitoramento da corrente galvânica pela resistência de polarização, o potencial de corrosão e a resistência ôhmica. As colusões foram que a velocidade de corrosão nas barras na interface argamassa/concreto foi pouco influenciada pelas fissuras abertas nessa região.

Helene (1993) e Monteiro (2002) avaliaram o desempenho de cinco sistemas de reparos, expostos a contaminação via cloretos, com a finalidade de desenvolver uma metodologia de avaliação do desempenho dos materiais e sistemas de reparos usados em reparos localizados de estruturas de concreto. Para tanto foram preparados reparos em vigas, previamente submetidos à corrosão. Após a aplicação e cura dos reparos, as vigas foram umedecidas parcialmente em recipientes com solução de 5% de NaCl no lado do reparo, por 1 ano.

Para avaliar o desempenho dos sistemas foi dotada a medição de potencial de corrosão, profundidade de carbonatação, teor de cloretos, perda de massa e observação visual. Após os exames, conclui-se que:

- a) Em concretos de qualidade média, expostos a ambientes agressivos e com elevados níveis de contaminação, os reparos localizados podem acelerar o aparecimento de outros pontos de corrosão, aumentando o problema ao invés de reduzi-lo;
- b) Há necessidade de desenvolver metodologias de ensaio mais adequadas para estudar o emprego de reparos localizados em estruturas de concreto com corrosão.

Já no ano de 1994, Schiessl et al. estudaram o comportamento do aço antes e após a execução dos reparos no concreto, através de um estudo experimental em corpos de prova. No citado estudo teve como resultado que onde o concreto carbonatado não foi removido completamente, foi constatada a macrocélula de corrosão, quando os CP's foram umedecidos; que a taxa de corrosão depende essencialmente do grau de saturação e é menos influenciada pelas características específicas do concreto. No caso de macrocélula induzida por contaminação de cloretos, toda a área com um nível crítico deve ser removida, independente de haver ou não sinais de corrosão nas barras.

Também verificou que a reação catódica nas áreas reparadas foi reduzida a valores desprezíveis quando o aço foi revestido por uma camada de tinta a base epóxi.

Figueiredo (1994) avaliou a capacidade de proteção de três tipos de revestimentos aplicados sobre a armadura contra a corrosão induzida pela realização de reparos localizados. Em seu estudo foi adotado corpos de prova confeccionados em duas etapas: a inferior em concreto isento de cloretos e a parte superior com concreto contaminado com 0,7 % de cloretos. O reparo foi executado com argamassa de cimento, areia e plastificante, num traço de 1:3, a/c0,42 e plastificante de 1,5%.

Os CP's foram mantidos em câmaras úmidas, entre 80 a 90 % de umidade relativa, durante 150 dias, sendo medida a intensidade de corrente galvânica. Após os 150 dias os CP's ficaram parcialmente submersos, concluindo-se que: a ação da

macrocélula é limitada nos primeiros dias, após o reparo. Quando menor a resistência ôhmica oferecida pelo revestimento, maior foi o efeito da macrocélula.

Em 1996 Morgan estudou de forma comparativa sobre a compatibilidade eletroquímica e o surgimento da macrocélula após a realização dos serviços de reparos.

Kazmierczak (1995) e Repette (1997) desenvolveram a propósito da proteção aplicada sobre o concreto para evitar a carbonatação e para meios de elevada agressividade.

Ping Gu e colaboradores (1997) publicaram um trabalho teórico, discutindo as causas da incompatibilidade eletroquímica entre o reparo e substrato, com base nos princípios básicos da eletroquímica. Também em 1997, Castanheira fez um estudo do desempenho de 3 materiais de reparo por técnicas eletroquímicas (potencial de corrosão, resistência ôhmica, intensidade de corrente galvânica e resistência de polarização).

O estudo da ação de revestimentos sobre a armadura na formação de macrocélulas de corrosão entre a área de reparo e o substrato foi elaborado por Castro et al. (2003)

Zhang e Mailvaganam (2006) elaboraram uma revisão teórica para verificar a correlação entre os mecanismos de corrosão por macrocélulas e por microcélulas em um sistema de reparo localizado. Analisaram os principais fatores que caracterizam a corrosão na deterioração dos reparos.

Cusson e colaboradores (2006) avaliaram o desempenho de seis sistemas de reparo industrializados e um repto de concreto, em condições de emprego no campo. Os reparos foram aplicados na defesa de uma ponte de concreto com problemas de corrosão por contaminação de íons cloretos e monitorados por três anos. Foram utilizados nesse monitoramento o potencial de corrosão, a resistência elétrica e a temperatura, tanto nas áreas do reparo quanto do substrato, próximo ao reparo.

Os potenciais da armadura medidos no interior dos seis sistemas de reparo industrializados tiveram pouca variação e permaneceram entre -200mV e -300mV, enquanto o potencial no sistema de referencia variou de -320mV para -470 mV. Os potenciais da armadura no substrato próximo aos reparos, ficaram mais negativos em mais de 100mV no decorrer dos três anos. Concluíram que:

- a) O risco de ocorrência de corrosão por microcélulas na armadura no interior do reparo era menor naqueles que tinham maior resistência à compressão e menores valores de permeabilidade medida em laboratório;
- b) O risco de corrosão por macrocélula no substrato era menor nos reparos com características similares às do concreto original;
- c) O risco de corrosão por microcélulas no substrato aumentava, mesmo após a execução do reparo.

Medeiros (2008) desenvolveu o estudo de uma metodologia de determinação da eficiência de sistemas de proteção das superfícies quanto ao ataque por cloretos, dando enfoque a capacidade de redução cinética da corrosão de armaduras, quando apenas produtos são aplicados em estruturas contaminadas por cloretos, e ao efeito de redução da velocidade da contaminação das estruturas.

Já Ribeiro (2009) elaborou um estudo sobre a compatibilidade eletroquímica entre a argamassa de reparo e o concreto existente carbonatado.

Em seu estudo conclui-se que quando a diferença de potencial entre o trecho da barra no interior do material de reparo e o trecho da barra no substrato de concreto carbonatado foi menor que 50 mV, a tendência à formação da macrocélula de corrosão é desprezível; quando a diferença estiver entre 50mV e 200 mV, a possibilidade de formação de macrocélula de corrosão é moderado e quando a diferença de potencial for maior que 200 mV, a possibilidade de formação de macrocélula de corrosão é alta.



### **3.5. Deterioração dos concretos**

#### **3.5.1. Manifestações patológicas em estruturas de concreto**

Helene (1992), cita "in verbis":

"a patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema". (op. cit. p. 19)

Para Gentil (1996) a deterioração de um material, normalmente metálico, pode ser por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos. Ocorre principalmente em ambiente marinho, em atmosfera salina, ou em lugares muito úmidos e com atmosferas contaminadas.

Para Souza e Ripper (1998), designa-se genericamente por Patologia das Estruturas "um novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas."

Também tem-se os conceitos de desempenho das estruturas que segundo Souza e Ripper, "por desempenho entende-se o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção."

O Código Modelo MC-90 do CEB – FIP, apud ARANHA e DAL MOLIN (1994), estabelece que as estruturas de concreto devam ser projetadas, construídas e operadas de tal forma que, sob as condições ambientais esperadas, elas mantenham sua segurança, funcionalidade e a aparência aceitável durante um período de tempo, implícito ou explícito, sem requerer altos custos imprevistos para manutenção e reparo.

Ainda segundo Souza e Ripper (1998), a vida útil de um material entende-se o período durante o qual as suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos especificados.

Para Andrade (1992), a vida útil é aquela durante a qual a estrutura conserva todas as características mínimas de funcionalidade, resistência e aspectos externos exigíveis.

Segundo Collepardi (1992), a durabilidade de uma estrutura de concreto armado é a capacidade de a estrutura manter as suas características estruturais e funcionais originais pelo tempo de vida útil esperado, nas condições de exposição para as quais foi projetada.

Neville (1997) diz que para o concreto ser considerado durável é essencial que as estruturas de concreto desempenhem as funções que lhe foram atribuídas, que mantenham a resistência e a utilidade que delas se espera, durante um período de vida previsto ou, pelo menos, razoável. Portanto, o concreto deve poder suportar o processo de deterioração ao qual se supõe que venha a ser submetido.

À terapia cabe estudar a correção e a solução desses problemas patológicos (HELENE, 1992). Para obter êxito nas medidas terapêuticas, é necessário que o estudo precedente, o diagnóstico da questão, tenha sido bem conduzido.

As medidas terapêuticas de correção dos problemas tanto podem incluir pequenos reparos localizados, quanto uma recuperação generalizada da estrutura ou reforços de fundações, pilares, vigas e lajes. É sempre recomendável que, após qualquer uma das intervenções citadas, sejam tomadas medidas de proteção da estrutura, com implantação de um programa de manutenção periódica.

### **3.5.2. Corrosão das armaduras**

De acordo com Panossian (1993), a interação destrutiva de um metal com o meio ambiente pode ser química ou eletroquímica, ocasionando dois processos de deterioração do metal:

- Oxidação direta ou corrosão seca: reações químicas gás metal ou íon metal com formação de película contínua de óxido de ferro.
- Corrosão eletroquímica: realiza-se em meio aquoso, onde há formação de pilhas ou células de corrosão.

O concreto que envolve a armadura de aço funciona como uma barreira de proteção. Quando executado sem os devidos cuidados pode permitir que os vergalhões de aço sofram ataques de íons agressivos ou de substâncias ácidas existentes na atmosfera, danificando a camada passivante ou protetora. Os principais agentes responsáveis pela perda de proteção são: o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e os íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ). No caso do ataque via dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é dado o nome ao fenômeno de carbonatação.

Pourbaix mostra em seu diagrama potencial-pH, Figura 4, que para valores de pH entre 10,5 e 12,6, bem como para potenciais situados entre + 0,1 e - 0,5V, relativos ao potencial normal de hidrogênio, há passivação do ferro/aço. (POURBAIX, 1987).

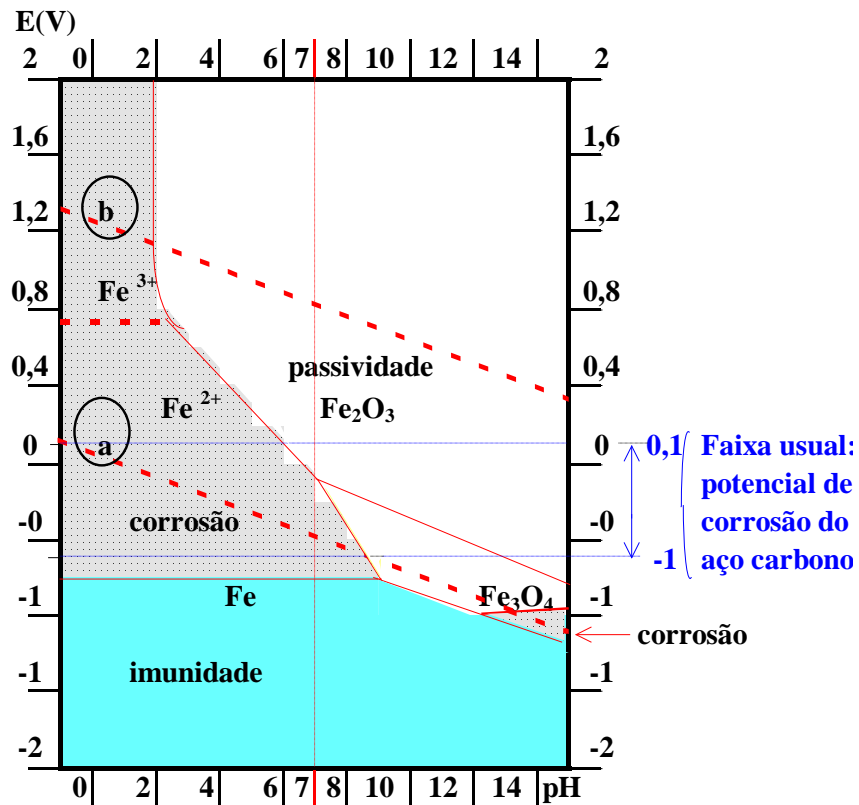


Figura 4- Diagrama de equilíbrio E/pH, para o sistema ferro/água (Fe, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) a 25°C e 1 atm.

(Fonte: POURBAIX, 1987).

No caso da corrosão da armadura presente no concreto com presença de cloretos, e foco desse estudo, essa se dá por natureza eletroquímica, envolvendo uma reação anódica de dissolução do metal e outra de natureza catódica, que ocorrem simultaneamente.

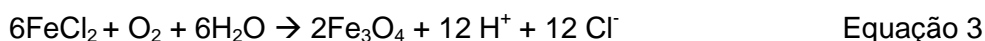
Nessa corrosão faz-se necessários quatro elementos, que são o condutor, que no caso do concreto armado é a própria barra de aço, a água, para constituir o eletrólito e conduzir os íons, o oxigênio, para a formação dos produtos de corrosão e a diferença de potencial.

Os potenciais eletroquímicos formam células de corrosão, sendo gerados por pites de composição por metais diferentes, dentro do concreto e pelas diferenças de concretagem de íons dissolvidos, como álcalis e cloretos.

Para Repette (1997), a corrosão trata-se de um processo eletroquímico no qual o ferro é transformado em óxidos e hidróxidos de ferro, causando aumento de volume dos compostos originais e redução da seção das armaduras, perda de aderência entre o concreto e o aço, e fissurações e destacamento do concreto.

São dois os fatores iniciais de despassivação de aço. O primeiro é a carbonatação e o segundo a presença de íons cloretos acima da concentração crítica. A propagação desse processo de corrosão depende de alguns fatores, tais como o teor de oxigênio, resistividade do material e umidade relativa.

A ação de cloretos sobre a armadura de aço se dá através das seguintes reações (Equações 1, 2 e 3), segundo Thangavel e Rengaswamy, 1998:



### 3.5.2.1. Mecanismos da corrosão

Uma das características mais notáveis da natureza é o seu incessante trabalho na transformação da matéria, para o qual contribuem agentes atmosféricos, tais como o vento, a chuva, o mar, o calor, o frio e os organismos vivos (DIAS, 1997).

Dias (1997) definiu corrosão como o conjunto de alterações físico-químicas que uma substância sofre pela ação de determinados agentes da natureza. Na prática, o termo foi apropriado para designar as reações existentes entre os metais e os agentes agressivos.

A corrosão dos metais pode ocorrer tanto por corrosão química (seca) como eletrolítica (úmida). A corrosão eletrolítica é mais representativa por ser o fenômeno que se verifica em maior intensidade e que será tratado nesse trabalho.

Em uma superfície de metal existem pequenas regiões ou pontos com potenciais elétricos diferentes em virtude de singelas alterações na composição do metal, de variações de temperatura ou de alterações do meio ambiente. Esses pontos constituem pequenas regiões anódicas ou catódicas na superfície do metal, como se fossem contatos elétricos abertos, ainda inativos, segundo Dias (1997).

Na presença de umidade há a dissolução de sais ou de gases e os circuitos se fecham, desencadeando o processo de corrosão.

### **3.5.2.2. Tipos de aço**

Dias (1997) defini o aço como uma liga metálica constituído basicamente de ferro e carbono, obtida pelo refinamento de ferro gusa. Como refinamento de ferro gusa entende-se a diminuição dos teores de carbono e de silício e enxofre. E entende-se como ferro gusa (ou simplesmente gusa) como o produto da primeira fusão do minério de ferro e contem cerca de 3,5 a 4,0 % de carbono.

Os tipos de aços também influenciam no processo de corrosão. Barras sem proteção em um mesmo ambiente podem ter velocidades de corrosão diferenciadas, regidas pelas diferenças dos tipos de aço.

Aços com menor dureza e resistência mecânica são menos suscetíveis a corrosão. Já aços mais processados pelos tratamentos à frio e trefilações, ou aços com alto teor de carbono, são mais suscetíveis a corrosão.

Os metais são sensíveis à corrosão, em maior ou menor grau, dependendo da sua natureza química e do ambiente em que se encontram.

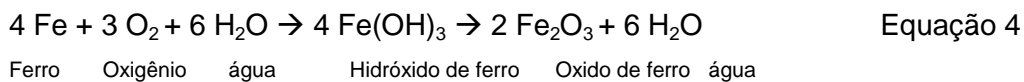
Segundo Dias (1997), a pilha galvânica ou célula eletroquímica é formada fundamentalmente por 2 eletrodos (metais diferente) e por um eletrólito. Como se sabe, cada metal tem um potencial de oxidação, que consiste na grandeza que mede a tendência que esse elemento tem de doar elétrons ou de sofrer oxidação.

Quanto maior seu potencial de oxidação mais eletronegativo é o metal e mais facilmente ele se oxida. Quanto mais eletropositivo é o seu potencial mais dificilmente ele sofre oxidação (é mais nobre).

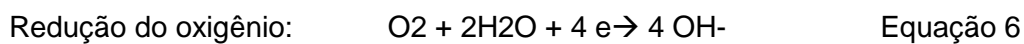
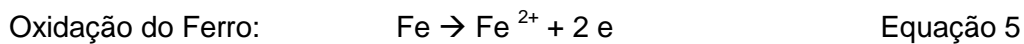
O processo de corrosão sempre ocorre na região anódica da célula galvânica e para que haja corrosão é necessária à presença do eletrólito. Por isso, em ar seco ou na ausência de água praticamente não há corrosão, pela ausência de migração iônica.

Porém, no caso do aço, existem microáreas anódicas e catódicas devido à presença de impurezas, de elementos de liga (Si, Cr, Ni, Mn, Ca) do tratamento térmico na laminação e de diferenças na relação carbono/ferro. Se a superfície do aço for exposta a atmosfera úmida na presença de poluentes – gases, anidritos sulfurosos (SO<sub>2</sub>) ou névoa salina (NaCl), o eletrólito será formado e ocorrerá a corrosão eletroquímica.

A reação de corrosão e formação de ferrugem é regida pela seguinte fórmula simplificada:



Que advém dos seguintes processos:



Equação Global da formação da ferrugem:



A reação de oxidação ocorre mesmo com pequenas quantidades de umidade no ar atmosférico.

Pela Equação 4 pode-se constatar a necessidade da presença de água e oxigênio como condição essencial para a ocorrência da corrosão, e a taxa da corrosão é função da quantidade de oxigênio e de água.

Segundo Dias (1997) da fórmula também advém o porquê de estruturas mergulhadas em água, enterradas ou estruturas sem suprimento de oxigênio, não há processos de corrosão, tais como estacas cravadas. Já nos locais onde o oxigênio é livre, a umidade é o fator que defini a taxa de corrosão.

Em certos casos, a parte elétrica da reação é um fator importante, pois as correntes geradas entre os polos positivos e negativos são pequenos, porém, quando dois metais diferentes estão em contato na presença de água, a corrente elétrica torna-se mais elevada, podendo atingir valores suficientes altos a ponto de alterar as superfícies do ânodo e do cátodo, Dias (1997).

### **3.6. Penetração de Íons Cloreto**

A literatura sobre a durabilidade das estruturas de concreto aponta a corrosão das armaduras, devido à ação dos íons cloreto como um dos principais e mais sérios agente de despassivação do aço (HELENE, 1986; FIGUEIREDO, 2000).

Esses íons podem ingressar ao interior do concreto de várias formas, onde pode-se destacar (HELENE, 1993):

- Adicionados involuntariamente na massa de concreto através dos agentes aceleradores de pega e endurecimento  $\text{CaCl}_2$  (Cloreto de cálcio)
- Contaminação dos materiais constituintes do concreto (água de amassamento, agregados);
- Impregnação pela nevoa salina (maresia);
- Contato direto com a água do mar;
- Impregnação por processos industriais;
- Tratamentos de limpeza pelo ácido muriático.



Segundo Tutti (1982), os cloretos tem a capacidade de desestabilizar o filme passivante das armaduras, imersas no concreto, além de participar das reações de óxido-redução no fenômeno de corrosão das armaduras.

Em qualquer caso, a difusão dos íons cloretos é feita através das águas presentes nos poros do concreto.

Os cloretos apresentam-se em três formas no concreto: quimicamente ligado ao aluminato tricálcio ( $C_3A$ ), formando o cloroaluminato de cálcio ou sal de Friedel ( $C_3A.CaCl_2.10H_2O$ ); adsorvido na superfície dos poros e sob a forma de íons livres. A forma de determinação da quantidade de cloretos mais usual é em relação a massa de cimento ou concreto.

O teor de cloretos que iniciam a despassivação das armaduras não encontra-se plenamente definido junto à comunidade científica, visto que é uma reação que depende um grande número de variáveis, como a dosagem, temperatura, umidade relativa, pH da solução dos poros, o teor de cloretos solúveis a quantidade de  $C_3A$  do cimento, as características metalúrgicas da armadura (ALONSO et al., 1997).

Segundo Aguiar (2006), existe muita controvérsia a respeito da quantidade de íons cloretos suficientes para romper a camada de óxidos passivantes e iniciar o processo de corrosão das armaduras. Este limite não está associado a um valor fixo, embora algumas normas recomendem alguns valores.

Certa quantidade de íons cloretos pode ser tolerada sem risco de corrosão, uma vez que, após reagirem com os aluminatos, provenientes do clínquer, esses íons não estarão livres (HASSON et al., 1985). No entanto, existe um limite de concentração na qual os íons cloretos podem romper a camada de óxidos passivante e iniciar o processo de corrosão (FIGUEIREDO, 2000) e esse limite é de difícil definição.

Para a definição dos limites de cloretos totais permitidos no concreto apresenta-se a citação de Helene (1993) constante na Tabela 2 como referência.

Tabela 2 – Limites para o teor total de cloretos no concreto

(Fonte: HELENE, 1993)

<b>País</b>	<b>Norma</b>	<b>Limite máximo cloretos</b>		<b>Referente a (ao)</b>
		<b>Concreto armado</b>	<b>Concreto protendido</b>	
Espanha	EH-88	0,40%		cimento
	EP-80		0,10%	
Estados Unidos	ACI-222	0,20%	0,08%	cimento
	ACI-201	0,20%	0,08%	
	ACI-318	0,30% ambiente normal	0,06%	
		0,15% ambiente com cloreto		
1,00% ambiente seco				
Europa	CEB	0,05%	0,025%	concreto
	CEB-FIP	0,40%	0,20%	
	ENV-206	1,0% concreto simples	0,20%	cimento

A literatura recomenda que um percentual máximo de 0,40% de cloretos em relação à massa de cimento pode ser adotado como valor admissível de cloretos em peças de concreto armado (ANDRADE, 1992; apud HELENE 1993). E a referência em relação à massa de concreto é ditada pela a norma Europeia CEB, onde o valor é limite de cloretos é de 0,05% para o concreto armado.

A Norma Brasileira NBR 6118 (ABNT) definia alguns limites para a quantidade de cloretos antes de sua revisão em 2003. Nessa versão anterior (no ano de 1978) era considerada a quantidade máxima de 500mg/l em relação à água de amassamento, para um consumo de cimento de 340 kg/m<sup>3</sup> em relação a/c igual a 0,55. Na versão de 2003 não há mais teores definido na norma, nem tão pouco a referência dos valores limites de cloretos em outra norma brasileira.

Embora a relação  $CL^-/OH^-$  seja considerada como o melhor parâmetro para quantificar o início do processo corrosivo no concreto, relativo ao cloreto livre, à obtenção desse valor é de difícil obtenção em ensaios. Algumas pesquisas estão sendo feitas nessa área, onde pode-se citar Hausmann (1967), que sugeriu o valor de 0,6 na relação  $CL^-/OH^-$ , já Lambert et al. (1991), trabalhando em corpos de prova atacados por uma fonte externa de cloretos verificou que a partir de uma relação entre  $[CL^-]/[OH^-] = 3$  ocorria a despassivação do aço.

A concentração de cloretos necessária para promover a corrosão é fortemente afetada pelo pH do concreto. Foi demonstrado que é necessário um nível de 8.000 ppm de íons cloretos para iniciar o processo quando o pH é de 13,2, mas quando o pH cai para um patamar de 11,6, a corrosão se inicia com somente 71 ppm de íons cloretos (EMMONS, 1994 apud AGUIAR, 2006).

Além do pH, sabe-se que vários fatores devem estar relacionados no mecanismo de penetração dos íons cloretos para que uma quantidade penetre até a armadura, na forma de cloretos livres e consiga desencadear o processo de corrosão. Cita-se o tipo de cimento, estado do concreto (se ainda fresco ou endurecido), estágio da frente de carbonatação no concreto, relação água / cimento, umidade ambiental e a quantidade de cimento por metro cúbico.

### **3.6.1. Meio Ambiente Marinho**

O ambiente marinho vem sendo alvo de constantes estudos devido a intensa presença de agentes agressivos, e a velocidade de ataque no concreto é bastante alta devido aos vários agentes agressivos que se encontram dissolvidos.

Esses agentes agredem a estrutura de concreto, diminuindo sua resistência e desempenho.

Segundo Metha & Monteiro (1994), no ambiente marinho, a água salgada é o principal agente responsável por processos físicos, químicos e biológicos de degradação.

Todos os elementos naturais conhecidos na tabela periódica são encontrados na água marinha, em maior ou menor proporção. As concentrações desses elementos podem variar consideravelmente com a localização, tempo, estação do ano e especialmente com a atividade biológica, segundo Ross (1982).

Os seis íons mais abundantes da água do mar, que compõem juntos em torno de 99% dos sais do mar, são  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , segundo Kiera (2001).

A salinidade do mar normalmente pode variar de 33 a 37 partes por mil em oceanos abertos, mas em áreas fechadas e locais onde as condições são apropriadas à amplitude, a salinidade pode variar entre 28 a 40 ou mais (partes por mil). No entanto, uma média global de salinidade aceita para todos os oceanos é de 35 partes por mil (LEMUS et al., 2001).

As zonas distintas no ambiente marinho apresentam principais características de degradação, conforme especificado por Biczok (1981) e Lopez (1998).

Essas regiões ou zonas podem ser classificadas de diferentes formas. Segundo Metha (1998) elas são divididas em 3 zonas principais, a saber: zona atmosférica, zona marinha e zona submersa (Figura 5). Já Lima (2005) subdivide ainda a zona marinha em zona de respingos e zona de variação das marés (Figura 6), a saber:

- i. **Zona de atmosfera marinha:** nesta região a estrutura recebe uma quantidade razoável de sais, mesmo não estando em contato direto com a água do mar. Os sais são capazes de produzir depósitos salinos nas superfícies, onde produzem ciclos de molhagem e secagem. Os ventos podem transportar sais na forma de partículas sólidas ou como gotas de solução salina. A quantidade de sais presentes vai depender da distância do mar: diminuindo em função da distância do mar, sofrendo influência da velocidade e direção dos ventos.
- ii. **Zona de respingos:** é a região onde ocorre a ação direta do mar, devido as ondas e aos respingos. Os danos mais significativos são produzidos por corrosão das armaduras pelos íons cloreto e por erosão, devido às ondas.
- iii. **Zona de variação de marés:** esta região está limitada pelos níveis máximo e mínimo alcançados pelos mares; devido a isso, o concreto pode encontrar-se sempre saturado, dependendo das condições climatológicas e com uma crescente concentração de sais. A degradação ocorre devido à ação de sais agressivos, corrosão de armaduras (devido à presença de cloretos), a ação das ondas e outras substâncias em suspensão (abrasão) e microclima.

- iv. **Zona submersa:** é a região onde a estrutura de concreto encontra-se permanentemente submersa. A degradação acontece pela ação de sais agressivos (sulfato e magnésio) e pela ação de microrganismos, que pode gerar corrosão biológica das armaduras.

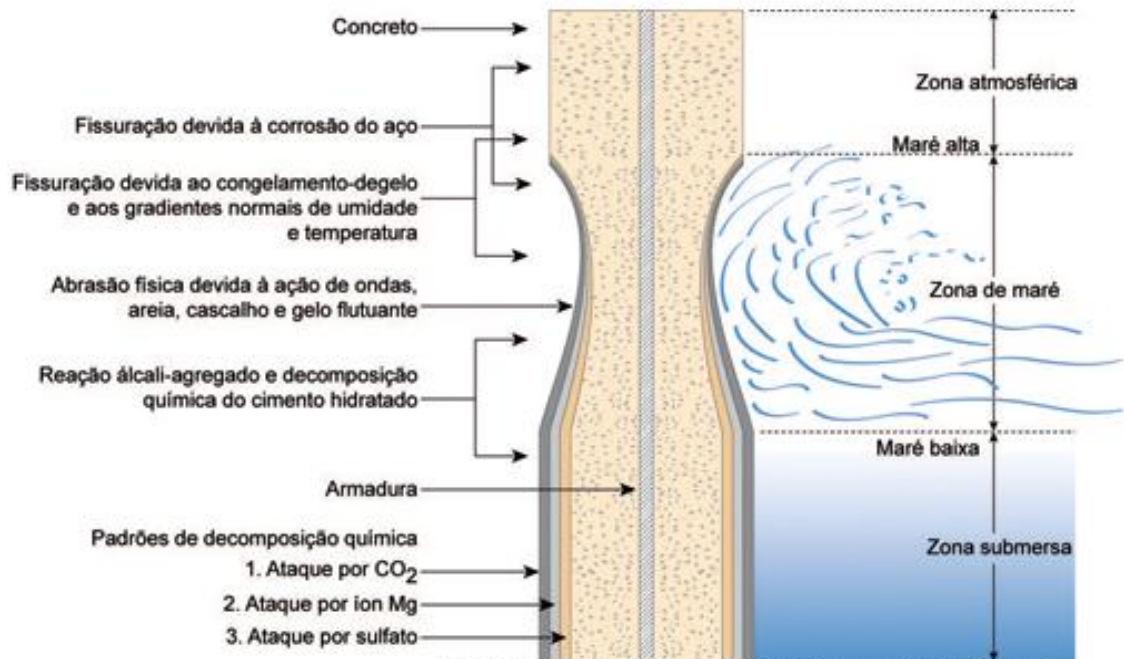


Figura 5- Apresentação das distintas regiões (zonas) de agressividade as estruturas de concreto.

(Fonte: METHA, 1980)

Névoa carregada de sais

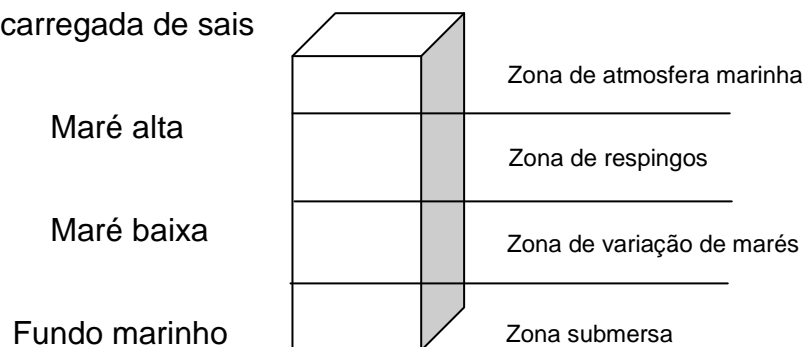


Figura 6 - Apresentação das distintas regiões (zonas) de agressividade as estruturas de concreto

(Fonte: adaptado de LIMA, 2005)

Outro fator que gera influência nessas zonas é a temperatura das águas. Segundo Duracrete (1999), a temperatura da água próxima à superfície dos mares varia de -2°C (ponto de congelamento da água do mar) até 30°C.

#### **3.6.1.1. Histórico de pesquisas do concreto exposto à água do mar**

Para o trabalho foi levantado o histórico de casos de concreto expostos ao ambiente marinho em conjunto com ambiente exposto ao gás carbônico.

Estruturas expostas ao ambiente marinho merecem análises especiais por estarem submetidas a ataques simultâneos de vários processos físicos e químico concomitante. Também devido às estruturas costeiras e de plataformas são de suma importância na vida, causando uma série de importunos a não operação das mesmas.

Segundo Mehta e Monteiro (2008) em 1904 cubos de argamassa de 40 cm foram expostos à água do mar em La Rochelle, sul da França. O local é caracterizado pelo clima ameno. Esses corpos de prova foram preparados com diferentes consumos de cimento, a saber: 300, 450 e 600 kg/m<sup>3</sup>.

Após mais de 60 anos de exposição, os testemunhos com o maior consumo de cimento (600 kg/cm<sup>3</sup>) encontravam-se em bom estado. Os testemunhos com menor consumo de cimento (300 kg/cm<sup>3</sup>) estavam destruídos. Estudos com microscopia eletrônica nas amostras mostraram a presença de aragonita (carbonato de cálcio), brucita, etringita e silicato de magnésio hidratado e taumasita (carbossilicato de cálcio).

No ano de 1905 foram confeccionados 18 blocos de concreto, com 6 diferentes cimentos Portland e 3 diferentes dosagens. Os blocos foram submersos em água do mar no porto de Los Angeles. Os blocos possuíam dimensão de 1,75x 1,75 x 1,07 metros (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Foi feita análise nos blocos, após 67 anos, onde se constatou que os blocos com concreto denso (traço 1:2:4), com 14% de  $C_3A$  encontravam-se em excelentes condições. Já os concretos magros perderam materiais. Foram feitas análises por difração de raio X do concreto enfraquecido, onde se constatou presença de brucita, gipsita, etringita e hidrocalumita, e não foram detectadas presença de gel C-S-H e  $Ca(OH)_2$ .

Em San Francisco Ferry Building foi usado cimento Portland tipo I com 14 a 17 % de  $C_3A$ , dosagem de concreto 1:5 e  $390 \text{ kg/m}^3$  de cimento nas estruturas de concreto. O clima é ameno e o concreto de baixa permeabilidade.

Foram feitas análises nas estruturas que a compõe e após 46 anos de utilização as jaquetas cilíndricas pré-moldadas estavam em excelente estado, 90% das estacas estavam em boas condições e 35% das vigas transversais profundas encontravam-se com manifestações patológicas, tais com fissuras, fragmentação do concreto e delaminação.

A presença de microfissuras nas vigas devido à flexão sob o carregamento podem ter permitido a entrada de agentes agressivos trazidos pelas águas do mar, além de problemas durante a fase da construção que foram diagnosticadas.

Entre 1953 e 1955 foi feita uma pesquisa em 431 estruturas presente na Dinamarca, entre 20 a 50 anos de idade. Dessas estruturas costeiras cerca de 40% apontaram deterioração generalizada e 35% danos severos. O local apresenta clima frio, dosagens de concreto sem proteção por ar incorporado, levando a conclusão que o início do processo corrosivo se deu pela fissuração dos ciclos de gelo-desgelo (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Entre 1962 e 1964 na Noruega foram analisadas cerca de 716 estruturas, onde 60% eram cais com pilares delgados contendo concreto submerso. Os cais ainda tinham tabuleiro composto por laje e vigas. As estruturas possuíam entre 20 a 50 anos de idade.

Abaixo do nível da maré baixa e acima do nível da maré alta os pilares encontravam-se em bons estado, porém na zona de arrebentação 50 % dos pilares encontravam-se em bons estado, 38% estavam com seção reduzida. As lajes estavam em boas condições, e 20% das vigas com corrosão.

A deterioração dos pilares na zona da maré foi atribuída à ação de congelamento em concretos de baixa qualidade.

A partir dessas análises dos desempenhos do concreto exposto à água do mar pode-se concluir que a permeabilidade do concreto é a chave para a durabilidade.

### **3.6.2. Difusão de cloretos**

A difusão de cloretos é o mecanismo de transporte dos íons cloretos pelo concreto que inicia sua deterioração. Esse parâmetro influencia na previsibilidade de vida útil das estruturas contaminadas via cloretos.

A determinação do coeficiente de difusão de cloretos é um grande desafio no meio técnico, por ser bastante complexo, sendo uma combinação de vários fatores que o influenciam.

Alguns parâmetros que influenciam nesse mecanismo é a variação da temperatura, variação do coeficiente em função do íon combinado, variação da concentração superficial de cloretos com o tempo, capacidade de combinação com o tipo de cimento, microestrutura do concreto, presença de vazios, mudança das características do concreto, entre outras.

Segundo Halamickova et al. (1995) a hidratação do agregado reduz o coeficiente de difusão e a maior quantidade de agregados aumenta o coeficiente de difusão, porque aumenta-se a conectividade da zona de transição.

Para Polder e Rooij (2005) os modelos de previsão de penetração de cloretos são bastante úteis, pois oferecem a oportunidade de começar a pensar na manutenção



da estrutura de concreto antes mesmo da corrosão iniciar devido, dentro outros fatores, ao conhecimento do período de iniciação da corrosão.

Alguns são os ensaios para determinar o coeficiente de difusão dos cloretos: uma delas se baseia na primeira lei de Finck. Nela a determinação é elaborada por meio de medição da concentração de cloretos em uma solução que atravessa a amostra de concreto que divide duas câmeras. O coeficiente de difusão é determinado depois que o fluxo torna-se constante, porém não considera a influência da combinação dos íons cloretos com só compostos do cimento.

Outro método de medição da penetração de cloretos no interior do concreto baseia-se na segunda lei de Finck (Equação 8). Nele aplica-se sobre a superfície de concreto uma solução de cloretos constantes.

Medem-se as diversas profundidades do teor de cloretos em função do tempo, dependendo das condições de contorno, podendo assumir várias configurações (DAL MOLIN, 1995 e ANDRADE, 2005)

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad \text{Equação 8}$$

Onde,

C=concentração de cloretos, em uma determinada profundidade de penetração referenciada a superfície de concreto (x);

D= coeficiente de difusão de cloretos; e

t=tempo.

Porém existem restrições para o uso da 2ª lei de Finck, que de acordo com CRANK (1975) definiu as condições de contorno:

- O concreto é admitido como um material homogêneo e isotrópico;
- O coeficiente de difusão do cloreto é considerado constante (no tempo e espaço)

- O fluxo de cloreto acontece em condições de saturação e o único mecanismo de transporte atuante é a difusão
- A concentração superficial de cloretos também é admitida como constante ao longo do tempo e no espaço, e
- Admite-se que não ocorrem interações entre os cloretos e os componentes do concreto no momento da penetração.

Devido às citadas premissas, em alguns casos a lei de Finck não representa a realidade da penetração dos cloretos.

Em estruturas expostas aos íons livre, o teor de cloretos pode ser medido retirando-se amostras ao longo do tempo e avaliando.

Um método que vem sendo empregado em instituições de pesquisa utiliza-se de um campo elétrico para forçar a passagem dos íons cloreto através de amostra para determinar o coeficiente de difusão.

A velocidade da corrosão é representada na Figura 7, onde apresenta o período de iniciação e o período de programação a partir da contaminação dos agentes agressivos: gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e cloretos ( $\text{Cl}^-$ ). O período de iniciação consiste no intervalo de tempo necessário para que os agentes agressivos penetrem no concreto, até atingir as armaduras, numa quantidade necessária para provocar a despassivação das barras de aço.

Já o período subsequente, que é chamado de período de propagação, ocorre efetivamente a instalar os produtos da corrosão, gerados pela dissolução do ferro, ou seja, a oxidação.

Para a ocorrência dos fenômenos, devem estar presentes oxigênio, temperatura e umidade numa faixa adequada.

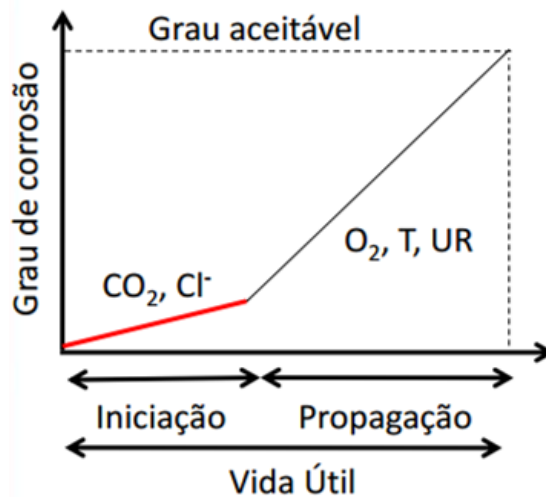


Figura 7 – Diagrama da vida útil das estruturas  
(Fonte: TUUTTI, 1982).

### 3.6.2.1. Migração

O mecanismo de transporte definido como migração ocorre quando um campo elétrico provoca o deslocamento dos íons através dos poros do concreto.

Em estruturas de concreto reais esse fenômeno pode ocorrer em estruturas de suporte de veículos que utilizam corrente elétrica para sua movimentação. É o que pode ocorrer também em estruturas de concreto com proteção catódica por corrente impressa, nos ensaios de extração de cloretos de estruturas contaminadas por aplicação de potencial e naquelas submetidas à realcalinização pelo mesmo mecanismo. Esses dois últimos procedimentos são mecanismos eletroquímicos de reparação de estruturas de concreto armado em fase de estudos.

## **3.7. Métodos de investigação de estruturas de concreto**

### **3.7.1. Introdução**

Além da verificação utilizando métodos visuais para caracterizar as manifestações patológicas encontradas no concreto, às vezes deve-se lançar mão de exames ou testes para constatar a composição do concreto ou as contaminações a fim de concluir o diagnóstico estrutural e propor a melhor opção de reparo e proteção, garantindo a não recorrência das manifestações patológicas.

Os testes podem ser feitos *in loco* ou em laboratórios, destruindo as estruturas (localizada ou parcialmente) ou conservando-as intactas.

### **3.7.2. Destrutivos**

Ensaio destrutivos são experimentos que causam danos parciais na estrutura em análise. Para as estruturas em concreto armado há alguns ensaios que necessitam ser lesivos. A extração de testemunhos tem como objetivo retirar uma carote (pedaço) do concreto constituinte da estrutura, para análise visual e demais ensaios, tais como teor íons cloreto e teor de sulfato, MEV (Microscopia Eletrônica por Varredura), ação de álcalis-agregados e ensaio colorimétrico (medição da profundidade de carbonatação).

#### **3.7.2.1. Extração de amostras (carotes) do concreto**

Um dos métodos de extração se dá nas carotes de concreto. Esse ensaio é feito utilizando equipamento próprio de extração, tipo perfuratriz, dotada de serra copo no diâmetro esperado para a amostra, conforme Figura 9. O equipamento tipo perfuratriz é fixado na superfície de concreto em análise, conforme mostrado na Figura 8 e extraída a amostra.



Figura 8 – Extração de amostra de concreto para realização de ensaios.  
(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)



Figura 9 – Corpo de prova extraído, com diâmetro de 4".  
(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

Após a coleta do corpo de prova é recomendável condicioná-los em sacos plásticos para evitar a contaminação do material, e esses arranjados em caixas com serragens ou outro material semelhante que preserve os testemunhos durante o transporte, não devendo esses sofrer impactos mecânicos, nem ações deletérias que comprometam sua integridade e futuras análises.

Deve sempre realizar a extração tentando não atingir as armaduras das estruturas, nem elementos muito solicitados, visando sempre garantir a estabilidade estrutural.

Para ensaios de resistência a compressão, deve-se garantir a relação altura/diâmetro (h/d) do testemunho preparado através de capeamento, nunca devendo ser maior que 2,02, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007) – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Caso esta relação seja menor que 1,94, serão feitas correções.

Esse ensaio é normatizado pela NBR 7680 – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto.

### **3.7.2.2. Extração de pó de concreto**

Outra forma de extração de testemunhos é a coleta de pó de concreto. Esse ensaio, de fácil execução, é mais favorável a estrutura e deve ser sempre escolhido quando não intervier nos demais ensaios.

O ensaio destrutivo é realizado através de equipamento tipo furadeira, onde o objetivo é a retirada de pó de concreto, resultado do uso da furadeira e não o furo em si.

No momento da coleta do pó de concreto deve-se utilizar uma furadeira elétrica, tubo de PVC para coleta do pó e sacos plásticos para armazenamento do material, conforme demonstrado na Figura 10.

Deve-se garantir uma quantidade mínima suficiente para a realização dos ensaios subsequentes (aproximadamente 50g de pó de concreto), que pode variar de acordo com o ensaio a ser realizado.

Após a coleta do material, o saco plástico deverá ser fechado, para evitar a contaminação do material, é importante etiquetar as amostras com a identificação do local onde foi realizada a extração e a data da coleta e responsável.



Figura 10 – Extração de amostra de pó concreto em estrutura.

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

### **3.7.3. Não destrutivos**

Ensaio não destrutivo são exames que visam verificar as descontinuidades nos materiais, sem prejudicar o uso futuro do material (ABNT NB 189:1971).

#### **3.7.3.1. Inspeção Visual**

A inspeção visual é método não destrutivo de ensaio mais antigo e provavelmente mais utilizado até a atualidade. Sua principal vantagem se dá na facilidade de

execução, além de fornecer os dados preliminares e perfazendo nos demais passos ou ensaios que devem ser executados.

Esse exame tem como objetivo a constatação, através de métodos visuais, das situações deparadas e também de uma classificação preliminar, de acordo com a degradação da estrutura e o ambiente na qual ela está inserida.

É recomendável que esse exame seja realizado por pessoa com experiência e capaz de realizar um diagnóstico preliminar das estruturas, munido de informações para os ensaios e futuras análises. A inspeção visual pode ser subdividida em inspeção em toda a estrutura ou inspeção por amostragem. Cabe a um profissional qualificado a escolha do tipo de inspeção.

Devem ser observados sintomas patológicos tais como: fissuras no concreto, fragmentação, lascamentos e destacamentos do concreto, exposição das armaduras, vestígios e crostas de ferrugens e manchas nas superfícies do concreto.

Um profissional com experiência consegue identificar a natureza do ataque a partir dessa análise. Por exemplo: a corrosão em pites, ou seja, em pequenas cavidades, normalmente ocorre em ataque via cloretos, já a corrosão de forma generalizada, geralmente ocorre devido à carbonatação.

A localização da estrutura pode ser um fator que dificulta esse simples método de análise. Estruturas submersas ou muito altas podem levar a lançar mão de uma metodologia fora dos padrões como, por exemplo, técnicas de mergulho, rapel ou alpinismo, como pode ser visualizada nas Figuras 11 e 12.





Figura 11 – Realização de inspeção utilizando técnicas de rapel.  
(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)



Figura 12– Realização de inspeção utilizando técnicas de alpinismo.  
(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

Também podem ser utilizados outros equipamentos a fim de auxiliar a visão de locais inacessíveis ou de difícil acesso, tais como binóculos ou lunetas, vide Figura 13, onde foi utilizada uma luneta para a inspeção no topo de chaminés.



Figura 13 – Inspeção visual sendo auxiliada pelo uso de luneta.  
(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

### **3.7.3.2. Medição de cobrimento da camada de concreto**

O cobrimento da armadura pelo concreto é uma proteção física, agindo contra os agentes agressivos e umidade no sistema concreto armado.

Quando ainda na fase de projeto, essa camada é determinada pela agressividade do meio no qual a estrutura será inserida, levando-se também em consideração a qualidade esperada do concreto (relação a/c - água/cimento).

O ensaio de medição da camada de cobertura de concreto deve ser feito através de aparelhagem própria, que geralmente é feita através do campo magnético. Coloca-se o aparelho na superfície da estrutura de concreto a ser analisado, movimentando o aparelho até que apareça no visor a espessura de cobertura das barras de aço, conforme Figura 14.

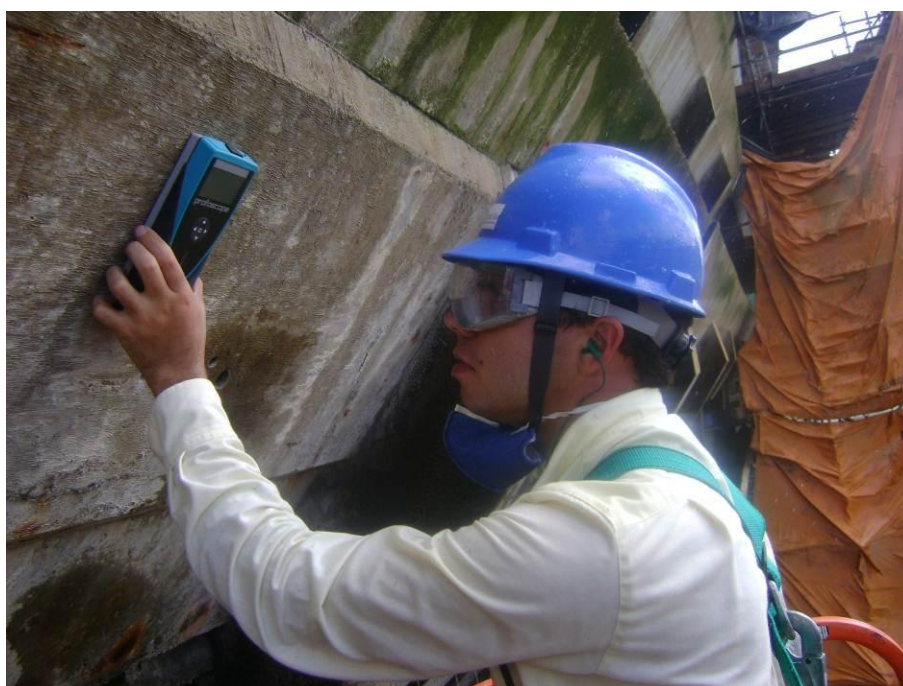


Figura 14– Ensaio de medição da espessura de cobertura das armaduras, utilizando aparelhagem específica (profoscope da marca Proceq).

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

Os valores para a espessura de cobertura das armaduras são analisados conforme definido pela Norma NBR 6118 (ABNT, 2007) (Tabela 3) que indica uma relação com a agressividade na qual a estrutura inserida.

Esta análise pode ser feita em conjunto com outros ensaios, tais como o avanço da frente de carbonatação, dependendo da investigação que esta sendo feita.

Tabela 3 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e a espessura de cobertura nominal

(Fonte: ABNT 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 <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito Forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

### 3.7.3.3. Ensaio colorimétrico de potencial alcalino

O ensaio colorimétrico de potencial alcalino ou ensaio para a medição do avanço da frente de carbonatação é realizado através da aspensão de indicadores de pH na estrutura ou em testemunhos extraídos da estrutura em análise.

Esses indicadores de pH são substâncias químicas que em contato com a solução alcalina do concreto, que é rica em hidróxido de cálcio, adquire colorações diferenciadas. Esses indicadores podem ser a Fenolftaleína ou o Timolftaleína (azul de Timol).

Para esse trabalho foi utilizado o indicador de pH chamado de Fenolftaleína, de acordo com as recomendações do CPC-18/RIELEM (1988).

O indicador fenolftaleína possui a fórmula química  $C_{20}H_{14}O_4$  e apresenta-se normalmente como um sólido em pó branco. Abaixo de pH 8,0 a superfície permanece incolor, o pH entre 8,0 e 10,0 apresenta-se rosa e o pH entre 10,0 e 12,0 apresenta-se carmim.

Essas alterações nas cores da superfície do concreto formam uma linha divisória fazendo um gráfico *in loco* do avanço da frente da carbonatação no interior do concreto, conforme mostrado na Figura 15.

É insolúvel em água e solúvel em álcool etílico com concentração mínima de 70% (etanol). A mistura é realizada com 1% de fenolftaleína ao álcool.

É recomendável que a mistura seja veiculada em recipiente tipo borrifador. O manuseio do produto requer cuidados especiais, inclusive com a colocação de luvas tipo cirúrgicas.

Diferente do ataque de cloretos, onde os supra citados íons precisam atingir um determinado valor em relação as hidroxilas para a despassivação das armaduras, a frente de carbonatação precisa atingir um determinado pH entre 9 e 11. Na prática adota-se um pH de viragem de 9,3.

A Timolftaleína é uma substância cuja fórmula química é  $C_{28}H_{30}O_4$ . Na temperatura ambiente se apresenta como um sólido branco de odor ténue. Possui intervalo de viragem de cor em pH na faixa de 9,3 a 10,5, mudando de incolor a azul.

Para o ensaio deve-se aspergir na superfície dos corpos de prova uma das soluções de indicador de pH. Após alguns minutos, esta solução reage com o concreto onde é possível constatar visualmente que as regiões mais alcalinas do concreto apresentam-se com cor alterada, enquanto as áreas menos alcalinas e, portanto carbonatadas, não apresentam alteração na cor (vide Figuras 16 e 17).

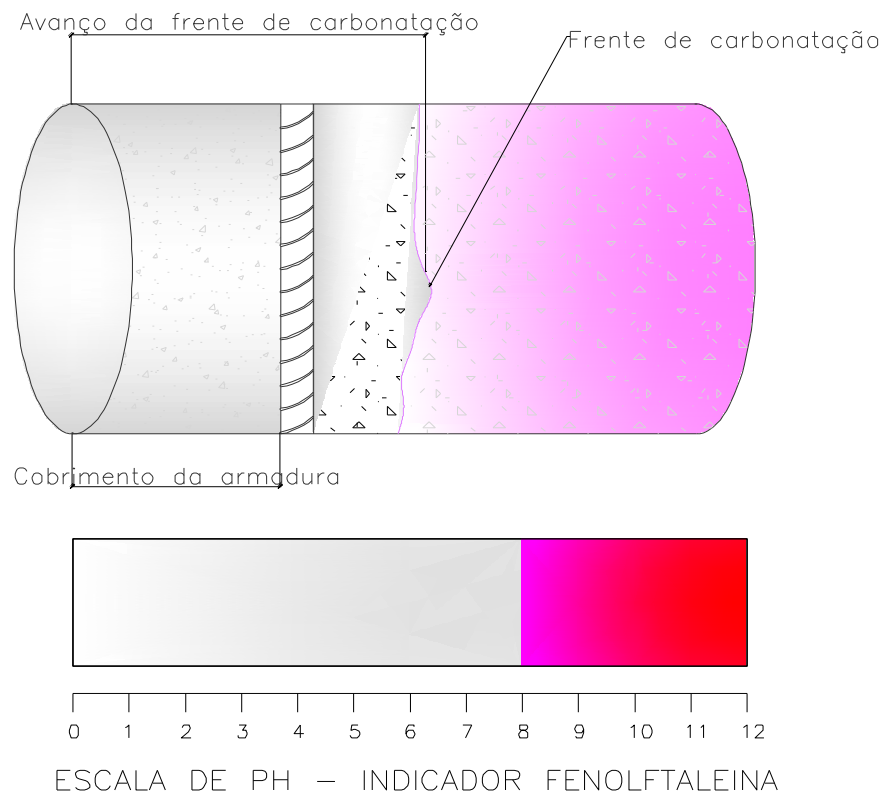


Figura 15 - Diagrama da situação das estruturas quanto a carbonatação, pelo ensaio de aspersion de fenolftaleína.

Segundo Derrien (1970) a explicação para esse ensaio é que uma característica do processo de carbonatação é a existência de uma “frente” de avanço do processo, que separa duas zonas com pH muito diferentes; uma com pH menor que 9 (carbonatada) e outra com pH maior que 12 (não carbonatada).

Esse segmento é conhecido como frente de carbonatação e deve sempre ser mensurada com relação à espessura do concreto de cobrimento da armadura. É importante que essa “frente” não atinja a armadura, sob pena de despассивá-la. Apesar de extremamente nocivo às armaduras, a carbonatação não causa anomalias ao concreto, no sentido contrário, onde é verificado um aumento de sua resistência nas áreas de concreto onde esse foi atacado pela carbonatação.



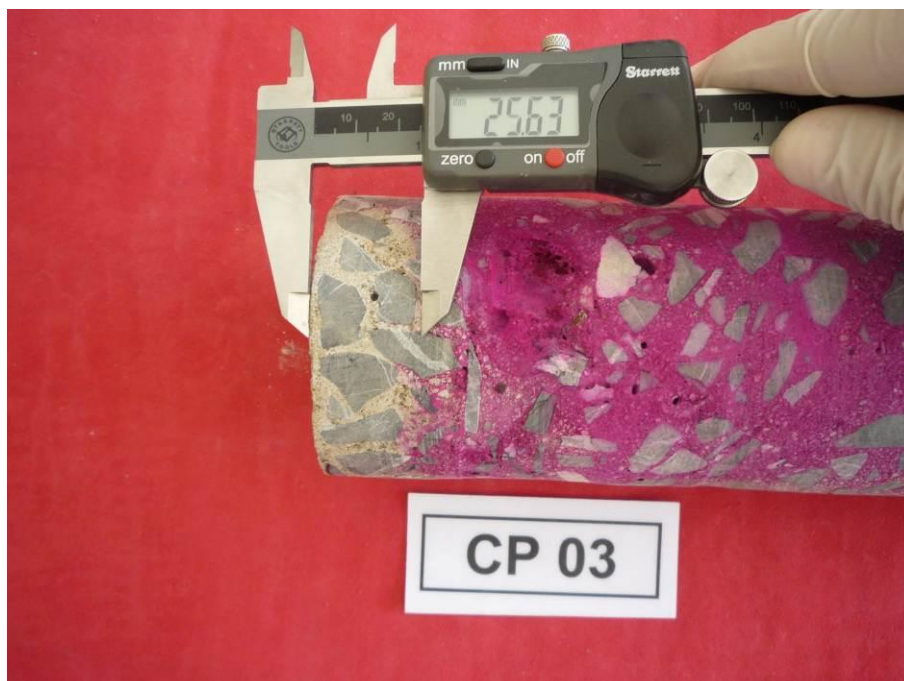


Figura 16 – Ensaio de aspersão de fenolftaleína, para constatação da frente de carbonatação.



Figura 17 – Corpo de prova onde fica nítida a corrosão nos locais onde a frente de carbonatação já ultrapassou o limite das armaduras. No local onde o aço encontra-se imerso em uma zona com  $\text{pH} > 9$  o aço encontra-se íntegro.

#### **3.7.3.4. Ultrassonografia**

O ensaio de ultrassonografia tem como objetivo avaliar os vazios do material e como consequência sua compacidade. No concreto podemos saber se há vazios, tais como segregações devido a deficiências durante a fase de execução das estruturas e também mede a profundidade de fissuras.

Quando da extração de corpos de prova para outros ensaios, como por exemplo, a resistência à compressão, é recomendável a realização do ensaio de ultrassonografia para a validação dos resultados, visto que durante as etapas de extração e transporte possam formar fissuras que alterem o resultado dos ensaios.

O aparelho utilizado transmite ondas eletromagnéticas e é constituído pelos transdutores. No ensaio de ultrassonografia os transdutores são posicionados na estrutura.

Coloca-se uma vasta quantidade de vaselina na superfície dos transdutores que irão entrar em contato com a superfície de concreto a ser analisada. A superfície de concreto a ser ensaiada deve estar plana, lisa e isenta de sujeiras. Dependendo do elemento estrutural a ser analisado deve-se decidir pelo ensaio através da transmissão direta, semidireta ou indireta, conforme Figura 18, a saber:

a) Transmissão Direta

Os transdutores são posicionados nas faces opostas do elemento em análise. É mais recomendado na determinação da velocidade de propagação das ondas através de um material ou elemento (ver item a da Figura 18).

b) Transmissão Semidireta

Os transdutores são posicionados nas faces ortogonais do elemento em análise (ver item b da Figura 18).



c) Transmissão Indireta

Os transdutores são posicionados na mesma face do elemento em análise (ver item c da Figura 18 e Figura 19). Esse arranjo é utilizado quando se tem acesso a apenas uma das faces do elemento.

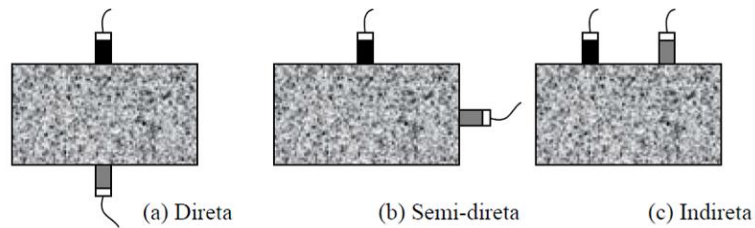


Figura 18 – Tipos de transmissão no ensaio de ultrassom: a) direta, b) semidireta e c) indireta.

Os valores de velocidade, tempo e distância entre os transdutores apresentam-se no visor do aparelho.

Esse ensaio é normatizado pela NBR 8050 (ABNT, 2005) – Ensaio não destrutivo – Ultra-som-Terminologia e NBR 8802 (ABNT, 1994) – Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica.



Figura 19 – Ensaio de ultrassonografia por transmissão indireta, para análise da compacidade do concreto das paredes do Ribeirão Arrudas.

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia)

Abaixo seguem os valores de referência para os ensaios, sendo, porém, valores ilustrativos, pois existem diversas variáveis que interferem diretamente no processo:

- 0 e 2,0 km/s	Concreto de baixa compacidade e resistência	10 MPa
- 2,1 e 3,0 km/s	Concreto de média compacidade e resistência	15 MPa
- 3,1 e 4,0 km/s	Concreto de média compacidade e resistência	20 MPa
- 4,0 e 6,0 km/s	Concreto de alta compacidade e resistência	30 MPa
- >6,1 km/s	Concreto de alta compacidade e resistência	> 30 MPa

### 3.7.3.5. Potencial de corrosão

O ensaio de potencial eletroquímico foi iniciado por Stratfull (1957) nos Estados Unidos para monitorar estruturas de concreto armado quanto à corrosão das armaduras. Segundo Matos (1992) a partir dos anos setenta a técnica começou a ser usada através do mapeamento de potenciais, o qual possibilita a identificação de

zonas comprometidas, ou seja, de zonas que apresentem grande risco de estarem com processo ativo de corrosão (embora ainda sem sintoma aparente).

O potencial de referencia no geral é mais nobre (valores mais positivos) do que o sistema concreto-aço, independente da existência de corrosão ou não nas armaduras, ocorrendo o fluxo de elétrons saindo da armadura dirigindo-se para a haste metálica do eletrodo de referencia, passando pelo milivoltímetro, havendo o registro sob a forma de potencial.

No eletrodo de referência haverá a deposição de cátions presentes na solução do referido eletrodo, cátions estes que podem ser oriundos do sistema aço/concreto. Em suma, o que se observa nas medidas do potencial de eletrodo em concreto é um fluxo eletrônico que vai desde a armadura, eletrodo com maior densidade de elétrons até o eletrodo de referência (eletrodo mais nobre), com o fechamento do circuito entre as duas semicélulas ocorrendo de forma iônica, através de comunicação altamente condutiva (MATOS, 1992).

Nas regiões com suspeita de presença de corrosão é elaborado um mapa de equipotenciais para determinar as áreas afetadas, definindo a extensão das patologias. A técnica de potencial eletroquímico pode ser medida em corpos de prova ou nas estruturas de concreto. O foco desse trabalho consiste na medida de estruturas *in loco*.

Este trabalho é realizado através de aparelho específico para o ensaio, a saber: CANIN - Corrosion Analysing Instrument da Proceq, CPV4 da Rogertec, entre outros.

Para o ensaio de potencial de corrosão deve-se fazer uma análise previa da estrutura para observar anomalias como fissuras ou áreas com deslocamentos de concreto que podem causar variação nos valores obtidos. Pinturas, revestimentos e películas nas superfícies do concreto também podem causar alterações nas leituras.

Na área escolhida para a realização do mapeamento, deve-se detectar uma das barras de aço, sendo recomendável através de aparelho detector de metais.

Deve-se expor uma pequena parte da armadura para fixação do conector (presilha tipo jacaré). A armadura deve receber o lixamento, bem como o concreto, nos pontos onde será posicionado o eletrodo para remover qualquer tipo de revestimento ou sujeiras impregnadas no concreto. Deve-se saturar previamente a superfície do concreto para promover continuidade elétrica nas áreas onde será realizado o ensaio.

Na armadura previamente exposta fixar o conector e posicionar o eletrodo nos pontos demarcados, conforme Figura 20.



Figura 20 – Ensaio de potencial de corrosão realizado nas paredes do canal do Ribeirão Arrudas.

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

Para a análise dos resultados utiliza-se a Norma ASTM C-876, onde para o eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre é usado os valores de referência conforme Tabela 4, onde tem-se a probabilidade de ocorrência da corrosão.

Tabela 4 – Faixas de referência de potenciais eletroquímicos associados ao risco de corrosão.

(Fonte: ASTM C-876.)

Valores de potencial ( $\mu\text{V}$ )	Probabilidade de corrosão
Mais positivo que -200	5%
Entre -200 e -350	Incerteza
Mais negativo que -350	95%

Apesar de essa análise ser qualitativa, o ensaio de potenciais de corrosão em estruturas constitui-se, ainda, na técnica mais utilizada para monitorar estruturas de concreto armado com vistas à corrosão das armaduras e constitui-se num instrumento que, se rigorosa e cuidadosamente utilizado, permite identificar de forma não destrutiva as áreas com corrosão.

#### 3.7.3.6. Avaliação do teor de íons Cloretos

Para a realização do ensaio de teor de cloretos, é utilizado o pó extraído da estrutura. Em laboratório o pó é dissolvido em ácido e titulado, para a determinação de íons cloretos, utilizando métodos químicos convencionais (PEREIRA, 2001). O teor de íons cloretos no concreto pode ser determinado vários métodos, segundo descritos:

- **método gravimétrico** é feito adicionando íons de prata (nitrato de prata) à solução em análise. Ocorre a precipitação do cloreto de prata, o qual é filtrado, seco e pesado. Através da massa atômica do cloro e da prata, determina o teor de cloretos da amostra, de acordo com Figura 22. Esse método não é indicado para amostras onde o teor de cloretos é baixo.
- **método potenciométrico** utiliza eletrodos para determinar o ponto de equivalência, de acordo com a Figura 22. Consiste em medir a diferença de potencial entre dois eletrodos, um eletrodo de referência, de potencial

conhecido e um eletrodo indicador, por exemplo, prata/cloro de prata, cujo potencial depende da concentração iônica da solução titulada.

Geralmente os teores de cloretos livres são expressos em porcentagem relativa à massa de cimento. Esse método é adequado para amostras com baixos teores de cloretos e a vantagem é que independe do laboratorista para determinar o ponto de equivalência.

A titulação potenciométrica é o método adotado pela norma americana na determinação dos íons cloretos totais, ou solúveis em ácido e dos cloretos livres solúveis em água nas amostras de concreto.

- **método titulométrico ou análise volumétrica** é realizado através da determinação do volume de uma solução, cuja a concentração é conhecida e requer uma determinada quantidade de substância para reagir. A visualização é realizada através de um indicador adicionado a solução onde se quer determinar a concentração. São utilizados os métodos de Mohr e de Volhard, porém em ambos os métodos o nitrato de prata é usado como solução padrão e o que os diferencia é o tipo de indicador.

No método de Mohr, o indicador é o cromato de potássio, que ao ser combinado com a prata e aos cloretos há a formação de cromato de prata.

Já o método de Volhard consiste na adição do nitrato de prata a solução a ser titulada com tiocianato de amônio, na presença do indicador, que é o sulfato férrico amoniacal. Determina-se, portanto o volume de tiocianato de amônio consumido, sendo o ponto de equivalência indicado pela coloração laranja avermelhada (CALÇADA, 2004). Esse método não é indicado para amostras onde o teor de cloretos é baixo e há dificuldades de visualização com precisão da mudança de colocação, dependendo do laboratorista.



Figura 21 – Realização de ensaios de íons cloretos, utilizando o método gravimétrico.



Figura 22 – Realização de ensaios de íons cloretos, utilizando o método potenciométrico.

Figueiredo (1994) cita que, além dos métodos baseados na química analítica clássica, a determinação de cloretos é realizada através de métodos microanalíticos, que são pouco empregados e possuem elevados custos. Pode-se obter o valor de cloretos totais através da Microscopia Eletrônica de Varredura, método que será explanado em posterior e utilizado nessa pesquisa, apesar de ser um ensaio semi-quantitativo.

Há também algumas pesquisas utilizando o método de extração da solução dos poros do concreto, aplicando-se uma tensão triaxial elevado no concreto. O extrato aquoso é coletado com auxílio de uma seringa e então valia-se o teor de cloretos através do pH da solução. Por este método verifica-se também a relação  $Cl^-/OH^-$

### **3.7.3.7. Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)**

Um microscópio eletrônico por varredura (MEV) consiste em um equipamento que utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons utilizados em um microscópio óptico convencional, o que permite aumentos de 300.000 vezes ou mais, para a grande parte dos materiais sólidos, conservando a profundidade de campo compatível com a observação de superfícies rugosas (DEDAVID et al.,2007).

Os microscópios ópticos convencionais ficam limitados a um aumento máximo de 2.000 vezes, e acima desse valor, detalhes menores são imperceptíveis.

Além do aumento, o MEV pode fornecer informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. Outra característica do aparelho MEV consiste na análise da microestrutura de objetos sólidos, como o concreto e a aparência tridimensional das imagens das amostras.

Nesse ensaio é possível determinar a energia dos fótons recebidos, ficando possível, portanto, traçar um histograma com a abscissa sendo a energia dos fótons e a ordenada o número de fótons recebidos (contagens). O tempo necessário para adquirir o espectro de boa qualidade fica em torno de 2 minutos.



### 3.7.3.8. Permeabilidade do concreto

A determinação da permeabilidade do concreto é feita através do ensaio de permeabilidade “in loco”, utilizando o permeabilímetro de água sob pressão, tornando-se um procedimento imprescindível no estudo de durabilidade (vide Figura 23).

O conhecimento dos mecanismos de transporte de líquidos e gases no interior do concreto é uma característica importante na avaliação da qualidade e durabilidade do concreto. A permeabilidade é a propriedade do concreto que relacionada com a porosidade, e mais especificamente, com a distribuição dos poros, é a variável que mais influência na durabilidade da estrutura, uma vez que o início da degradação do concreto através da penetração de fluidos agressivos é proporcional a aumento da permeabilidade.

A metodologia utilizada consiste em se aplicar água sob pressão na superfície do elemento estudado (0,4 bar). Lançando mão de aparelhagem específica, que para esse trabalho de monitoramento foi o Permeabilímetro da German Instruments, O aparelho é fixado na superfície através de dois chumbadores de expansão 3/8”. A água é colocada no seu interior, e através de acionamento mecânico, o líquido penetra nos poros do concreto, medindo-se o fluxo passante em mm/s. São realizadas duas leituras, sendo que a última é realizada sobre a superfície úmida.

O aparato GWT (Germanns Waterpermeability Test) é utilizado para determinar “in situ” o fluxo de água passante da superficial do concreto. O aparelho consiste de um cilindro instalado sobre a superfície do concreto e todo seu volume interno contém água sob uma determinada pressão que se mantém constante através de manômetro e um pequeno cilindro, anexado a um micrômetro, que aumenta ou diminui de volume de acordo com a variação de pressão (vide Figura 23). Este aparelho foi desenvolvido para ser utilizado seja na posição horizontal que na vertical.

A determinação do coeficiente de permeabilidade se dá através da Norma NBR 10786, intitulada por: “Concreto Endurecido – Determinação do Coeficiente de Permeabilidade à Água”.

O ensaio possui os parâmetros para a análise da permeabilidade do concreto, sob fluxo de água sobre pressão de 0,4 bar passante pelo concreto:

- $1,0 \times 10^{-3}$  mm/s                      Concreto de elevada permeabilidade
- $1,0 \times 10^{-4}$  mm/s                      Concreto de média permeabilidade
- $1,0 \times 10^{-5}$  mm/s                      Concreto de baixa permeabilidade

Portanto, quanto maiores os índices de permeabilidade, menor é a qualidade de concreto, ou seja, menor é a proteção do concreto à corrosão.



Figura 23 – Ensaio de permeabilidade em concreto realizada “in loco”.

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

### **3.8. Sistema de Proteção**

Na atualidade existem vários tipos de sistemas de proteção para o concreto armado. A forma de penetração varia de acordo com o tipo de estrutura e principalmente a localização das estruturas, ou seja, os agentes agressivos na qual está exposta.

Estudos dão ênfase especial quando o concreto encontra-se sob o ataque de íons cloretos. Estudos são feitos para avaliar os fatores de degradação e propor o sistema de proteção mais adequado, eficiente e economicamente viável.

Para o ataque de cloretos tem-se a utilização de contato elétrico, corrente galvânica, diferença de potencial, pastilhas galvânicas, pinturas com zinco em sua formulação, aditivo para argamassa, são exemplos de sistemas de proteção quando a estrutura encontra-se sob o ataque de cloretos.

Para os materiais de proteção superficial podem ser classificados em formadores de película, hidrofugantes de superfícies (de poro aberto) e bloqueadores de poros Helene (2009).

Será feito uma breve explanação dos principais sistemas de proteção do concreto.

#### **3.8.1. Inibidores de corrosão de atuação anódica e catódica**

Os inibidores da corrosão podem ser aditivos líquidos que atuam como proteção anticorrosiva das armaduras do concreto, aumentando significativamente a vida útil dos elementos estruturais, atuando na inibição tanto da reação catódica quanto da anódica do processo de corrosão e inibindo também o retorno da corrosão.

Esse sistema é constituído por dois processos de inibidores de corrosão, sendo o primeiro pela aplicação de um produto misturado na argamassa ou concreto de preenchimento na região onde foram realizados reparos, e o segundo é aplicado no restante da superfície do elemento de concreto, onde não houve reparo, através de impregnação da superfície.

### **3.8.1.1. Inibidor de corrosão para argamassa**

Na área de intervenção, o produto inibidor de corrosão é misturado no material de preenchimento, sendo comuns argamassa, graute ou concreto de preenchimento.

Trata-se de um aditivo inibidor de corrosão, que propicia a proteção contra corrosão induzida por cloretos, reduzindo as reações anódicas e catódicas.

Atualmente já existe no mercado argamassas e grautes adicionados em fábrica com o inibidor de corrosão. A composição química básica é de Nitrogênio contendo substâncias orgânicas, conforme informado na ficha técnica.

### **3.8.1.2. Inibidor de corrosão para superfícies**

Esse sistema consiste em um produto que age por impregnação da superfície de concreto, recomendado nas áreas não reparadas, especificamente onde o concreto aparente estiver íntegro, sem intervenções de reparo. O produto inibidor de corrosão é aplicado por impregnação na superfície do elemento.

É preciso garantir que as superfícies estejam limpas e isentas de impregnações, sujeiras, desmoldantes, graxas, óleos, resquícios de pinturas e demais obstáculos existentes que possam prejudicar a penetração do produto no concreto, pois esse produto forma uma camada monomolecular na superfície do aço.

Aguardar a secagem da superfície, pois quanto mais seco, maior é a eficiência de penetração do produto. A aplicação pode ser feita com rolo de lã de carneiro ou pistola pneumática de baixa pressão. Quando a superfície tratada for receber revestimento de proteção é preciso lavá-la dois dias após a aplicação, deixar secar por 7 dias, lavar novamente com água sob pressão e deixar secar por mais três dias.

A composição química básica é de uma solução aquosa de amino alcoóis e sais de amino alcoóis.

### **3.8.2. Pastilhas galvânicas**

O sistema de pastilhas galvânicas foi desenvolvido em meados dos anos noventa e consiste em unidades de proteção catódica galvânica constituída por um ânodo de sacrifício de zinco puro, encapsulado num material alcalino de elevada condutividade elétrica, com fios condutivos para a fixação e contato com as armaduras da estrutura de concreto armado.

Devido à sua maior eletronegatividade, o zinco inicia o processo de óxido-redução antes do aço, evitando a inversão de polaridade gerada pelo diferentes materiais utilizados no procedimento de recuperação estrutural.

Os locais de aplicação são bem amplos, sendo empregado em reparos localizados ou generalizado, superficiais ou profundos, para estruturas de concreto armado sujeitas ao ambiente com agressividade característica pela presença de íons, como os cloretos.

Possui como vantagens a facilidade de instalação, pois são colocadas no perímetro de cada reparo executado, no entremeio do concreto antigo e concreto novo. Quanto ao controle do desempenho, verifica-se visualmente a velocidade e intensidade de perda de seção das pastilhas. Porém os locais devem ser mapeados e monitorados.

Existem registros de monitoramentos desses sistemas no reino Unido e pelo Mundo, porém é um sistema recente no Brasil.

A solução adotada foi elaborada após a verificação de que a opção de reparos mais comum se dá através da recuperação de forma localizada, onde o concreto deteriorado é removido, sobre o aço é imposto uma limpeza localizada e o fechamento é feito através de uma argamassa ou concreto.

Porém a menos que todo o cloreto que existe no concreto contaminado no entorno do reparo seja extraído, esse processo de reparo pode levar a formação de ânodos

incipientes, ou formação de macrocélulas na região fora da área reparada, representada na Figura 24.

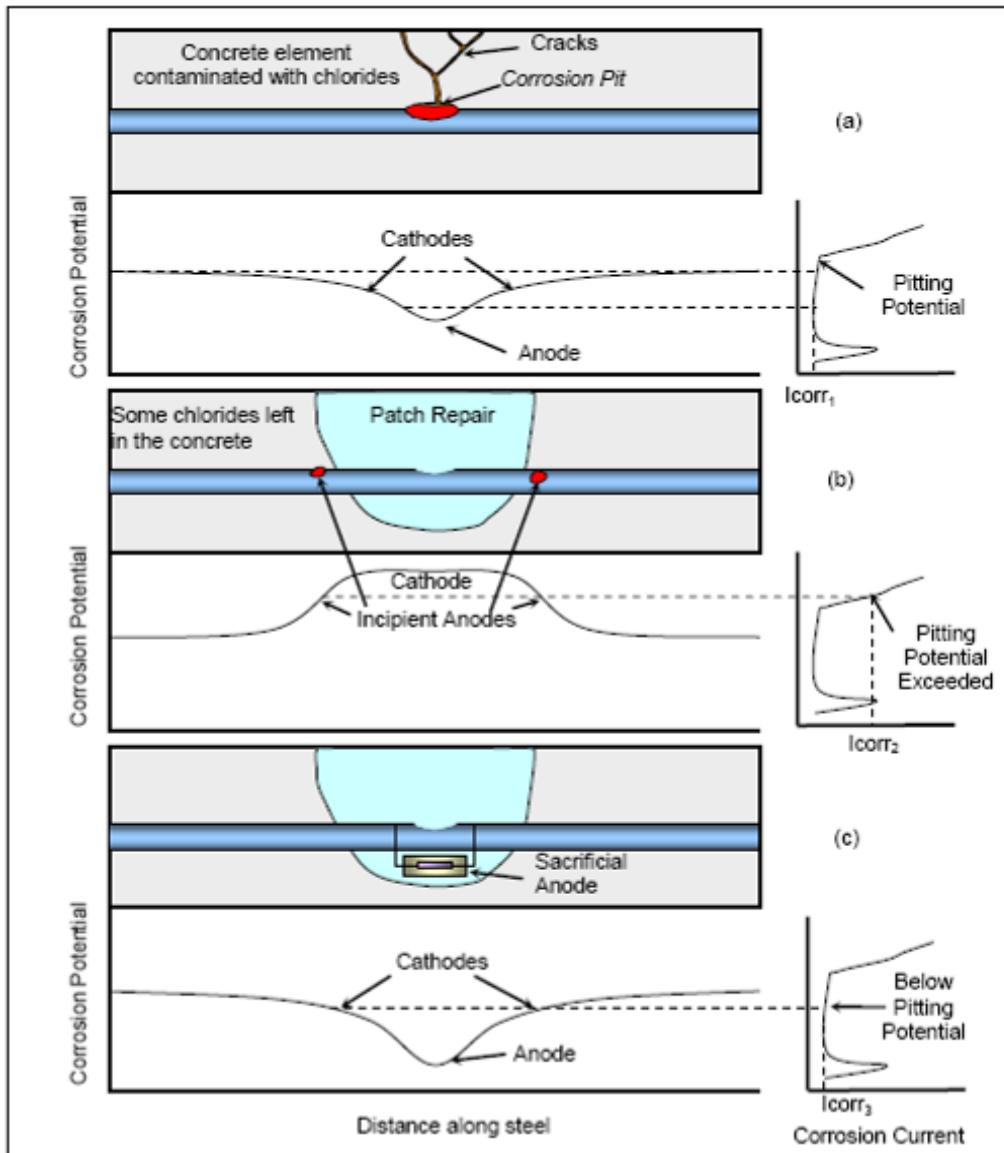


Figura 24 - Variação do potencial no local da corrosão (a) corrosão em concreto devido ao efeito dos cloretos e inversão da pilha (b) proteção do local de reparo através das pilhas de sacrifício (c).

(Fonte: Vector Corrosion Technologies, 2011.)

No diagrama (a) está demonstrada a forma de pites ou corrosão localizada. Essas corrosões causam um aumento localizado de seção do aço, que por sua vez gera tensões não previstas no concreto, causando o fissuramento local.

Na região dos pites, tem-se a formação dos ânodos e em seu entorno os cátodos.

Quando são realizados os serviços de reparos, tem-se a extração de parte do concreto contaminado e dos pontos de corrosão. A área de reparo passa a ser catódica e o entorno o ânodo incipiente.

Através da inserção das pastilhas no perímetro da área de reparo, mantém-se o equilíbrio, conforme verificado em (c).

Segundo Rodrigues (2005) esse tratamento é empregado erradamente. É perfeitamente conhecido que o zinco é sensível ao ambiente alcalino do concreto, ocorrendo uma rápida passivação deste ânodo, interrompendo a proteção catódica. Assim, mais uma vez, o processo de corrosão deixa de ser interrompido.

### **3.8.3. Formadores de película**

Os materiais de proteção do concreto formadores de película podem ser divididos em tintas e vernizes.

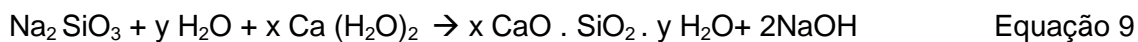
Tintas é uma composição líquida pigmentada que se converte em película sólida após sua aplicação em uma fina camada. As tintas são formuladas a partir de quatro componentes básicos, sendo eles resinas, solventes, pigmentos e aditivos.

Já os vernizes são constituídos apenas por resinas, solventes e aditivos. Geralmente não apresentam cor pela ausência de pigmentos e tem uma durabilidade inferior a das tintas.

### **3.8.4. Bloqueadores de poros**

Bloqueadores de poros são materiais compostos por silicatos, que entram nos poros superficiais do concreto e reagem com a portlandita formando um produto semelhante ao C-S-H. O silicato de sódio é o produto mais usado para essa finalidade.

De acordo com Thompson et al. (1997), a reação apresentada na Equação 9 representa o que acontece quando a solução de silicato de sódio penetra nos poros do concreto.



Esse tratamento forma uma camada menos porosa na superfície do concreto alterando a penetração de água. O sistema de proteção não altera a aparência da superfície do concreto, sendo uma opção a ser considerada nos caso em que há uma restrição quanto à alteração do acabamento superficial do concreto, tais como em caso de tombamentos, ou exigências arquitetônicas.

### **3.8.5. Hidrofugantes de superfície**

O principal efeito dos hidrofugantes consiste em impedir ou dificultar a absorção de água no concreto, sendo o procedimento que menos interfere no aspecto do concreto.

Essas substâncias constituem uma camada superficial de concreto que dificulta a penetração de água na forma líquida que pode ingressar contaminada com cloretos, mas permite que o vapor de água entre e saia do concreto, deixando, portanto, que respire.

Atualmente existem o silanos, siloxanos oligoméricos e misturas destes dois compostos.

Os silanos são hidrorrepelentes incolores, conhecidos quimicamente como alquiltrialcoxilano e possuem pequena estrutura molecular, com diâmetro de cerca de  $1,0 \times 10^{-6}$  a  $1,5 \times 10^{-6}$  mm. Esse diminuto diâmetro permite penetrar nos poros permeáveis do concreto, mas também são muito voláteis (BATISTA, 1998).

Eles reagem quimicamente com materiais a base de sílica ou alumina.



Os siloxanos são hidrorrepelentes incolores, quimicamente conhecido como alquilacoxisiloxanos. Em relação ao silanos, eles possuem estruturas moleculares relativamente grande (com cerca de  $1,5 \times 10^{-6}$  a  $7,5 \times 10^{-6}$  mm de diâmetro) e por isso tem uma penetração menor.

### **3.8.6. Corrente galvânica**

Entende-se por corrente galvânica o sistema de proteção catódica como uma técnica eletroquímica que inibe as reações de oxidação nas armaduras através da introdução de anodos de sacrifício, revertendo àquelas reações e evitando que a armadura sofra corrosão, tornando-a catódica.

### **3.9. Técnicas de recuperação das estruturas**

Entende-se por recuperação estrutural as etapas que devem ser seguidas a fim de devolver a uma estrutura suas condições originais, ou seja, retornar a vida útil de projeto.

Essas etapas ou técnicas devem garantir que a corrosão existente seja removida. Caso haja perda de seção do aço, esse deve ser complementado e o recobrimento de concreto seja restabelecido, ou seja, a reconstituição das características geométricas, de resistência e desempenho originais de uma estrutura de concreto.

Além do restabelecer as condições originais deve-se também ter o cuidado quanto à durabilidade das estruturas. Assim deve-se propiciar um meio na qual a capa passivadora esteja protegida.

Segundo Souza e Ripper (1998), os serviços de recuperação podem ser classificados de acordo com a profundidade dos reparos, com o grau de deterioração e, conseqüentemente, com a finalidade almejada a saber em: reparos rasos (profundidade inferior a 2 cm), semi-profundos (profundidade entre 2 e 5 cm) e profundos (profundidade acima de 5 cm).

Os considerados rasos também são classificados de acordo com a área a ser reconstituída em pequenas (até 15 m<sup>2</sup>) ou grandes áreas (maior que 15 m<sup>2</sup>).

Lembra-se então, que dentro da linguagem utilizada na engenharia de reparo, está referenciando as etapas das terapias.

Será tratado nesse trabalho somente das etapas de reparos quando o problema verificado consistir na corrosão das armaduras, que foram realizados ou pelo menos especificado nos reparos realizados em foco nesse estudo.

### **3.9.1. Preparação das superfícies**

Helene (1992) afirma que alguns autores consideram que os procedimentos de preparo e de limpeza do substrato são responsáveis por 50% ou mais do sucesso de um reparo. Para Emmons (1994), essa etapa é uma das mais críticas do processo de recuperação estrutural, uma vez que influencia diretamente na qualidade da aderência entre o reparo e o substrato de concreto.

Para o início dos serviços de reparos é recomendável, portanto que seja realizada a limpeza das superfícies do concreto. Essa limpeza tem como objetivo retirar todas as sujeiras, impregnações, partículas soltas, fungos, eflorescências, manchas e outros que não permitem a visualização perfeita do estado no qual o concreto se encontra e podem prejudicar nos demais processos de recuperação.

Em muitos casos, somente após a limpeza é possível visualizar a área de recuperação, pois o substrato encontrará totalmente limpo e livre de barreiras que possam interferir na aderência dos produtos de reparo e proteção.

A limpeza da superfície pode ser feita através de aspiração a vácuo, jatos de água fria e quente, jato de ar comprimido, vapores e soluções ácidas. O jato d'água a alta pressão, ou hidrojateamento atualmente é o método mais utilizado para a limpeza das superfícies.

Para garantir a total remoção das sujeiras deve-se proceder ao jateamento com água sob pressão através de equipamentos apropriados como, por exemplo, tipo lava-jato com bico direcional, com pressão mínima de 14 MPa (2000 psi), conforme demonstrado na Figura 25, onde pode-se verificar a total remoção das sujeiras impregnadas na superfície do concreto, possibilitando a visualização das áreas.



Figura 25 – Limpeza das superfícies de concreto em ambiente repleto de fuligem para o início dos tratamentos.

A limpeza deve começar pelas partes superiores, mantendo uma pressão adequada para remoção das partículas soltas.

A água utilizada deverá ser limpa, isenta de qualquer impureza que possa contaminar a superfície do concreto e vir a interferir a visualização do concreto.

Em algumas estruturas de concreto que apresentam-se com a superfície muito impregnada, é recomendável ainda realizar um lixamento superficial, tendo o cuidado de não aprofundar a retirada da camada do concreto.

## **3.9.2. Tratamento das áreas com deslocamentos de concreto e corrosão das armaduras**

### **3.9.2.1. Marcação das áreas a serem recuperadas**

Piancastelli (1998) afirma que é necessário cuidar para que o contorno das aberturas seja bem definido, de modo a favorecer a aderência e a aplicação dos materiais de reparo. Para tanto, o início dos tratamentos devem ser iniciados pela marcação adequada das áreas.

Deve-se marcar as regiões a serem tratadas que apresentam-se manifestações patológicas, tais como áreas com armadura exposta, deslocamentos ou lascamentos de concreto, segregações ou que apresentem som cavo.

Procede-se, também por percussão, uma inspeção genérica sobre a superfície, mesmo não enquadradas na situação acima, os locais que apresentarem som cavo deverão ser marcados com giz para inspeção por escarificação.

As regiões onde se verificar “ninhos de brita” devem ser marcadas com giz para escarificação.

### **3.9.2.2. Remoção do concreto nas áreas deterioradas**

Consiste em remover o concreto da área delimitada anteriormente, liberando as armaduras nesta região. Todo o material solto, desagregado e contaminado deverá ser retirado até atingir o concreto são, sem contaminações.

Nessa etapa deve-se atentar para a estabilidade das estruturas, tomando-se o cuidado de não se reduzir demasiadamente a área nominal dos elementos, principalmente quando se tratar de pilares.

A abertura das áreas a serem removidas é realizada por apicoamento, podendo ser mecânico ou manual. No primeiro caso pode ser utilizado martelo rompedor elétrico, com potência de 900 watts, pesando 5,3 kg no máximo, conforme indicado na Figura

26, onde se captou a execução de um serviço de apicoamento mecânico durante uma execução de reparo. Se o trabalho for realizado manualmente, devem-se utilizar ponteiros afiados e marretas leves.



Figura 26 – Apicoamento mecânico de concreto em área que apresentava segregação e corrosão, com a etapa de reparo em andamento.

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

O concreto existente sob as armaduras corroídas é totalmente removido, de modo que exista um espaço livre de 1,0 cm a 2,0 cm para permitir a perfeita limpeza da barra de aço e o completo preenchimento da cavidade com o material de reparo indicado.

Quanto ao uso de ponte de aderência há controvérsias. Foi demonstrado experimentalmente por Clímaco e Nepomuceno (1994) que alguns materiais encontrados no mercado, que possuem propriedades adesivas, não têm efeito ou são até mesmo prejudiciais à resistência de aderência.

López apud Tinôco (2001) consideram que o adesivo epóxi possui uma alta aderência em virtude de seu caráter polar, apesar de requerer cuidados especiais

para sua aplicação, principalmente no que diz respeito à limpeza e às condições do substrato.

Helene (1992) afirma que a resina epóxi necessita de um substrato seco para a sua utilização, e é altamente sensível às temperaturas superiores a 70°C.

Com o objetivo de uniformizar a área de reparo e garantir uma espessura mínima nas bordas, as áreas que serão reparadas, e já sofreram demolição, devem ser delimitadas com disco de corte.

O corte é feito com máquina elétrica dotada de disco diamantado, para corte seco. O disco de corte deverá ser mantido ortogonal à superfície, tomando-se os cuidados necessários para não danificar estribos e armaduras. Após o corte, proceder ao complemento do apicoamento ou demolição, nos trechos de concreto resistente, até o friso do corte.

### **3.9.2.3. Limpeza das armaduras**

Essa etapa é de grande importância para se garantir um sucesso no reparo. O objetivo dessa etapa consiste em remover todos os produtos de corrosão, lixando e escovando a superfície das armaduras até atingir o brilho metálico.

Escova-se manualmente com lixa de aço combinada com escova de cerdas metálicas. Este procedimento deverá ser executado imediatamente anterior aos procedimentos de fechamento do reparo, de forma a não expor as armaduras, já limpas, por um período não superior a 24 horas.

### **3.9.2.4. Fechamento de reparos**

Andrade (1992) divide os materiais de reparo em dois tipos fundamentais: materiais de base cimentícia e de base orgânica.

#### a) Materiais de base cimentícia

Tais materiais objetivam a restauração do meio alcalino, essencial à passivação das armaduras. Possuem como base o cimento Portland, misturas de cimento Portland e grautes com agentes expansivos. Podem possuir ainda algum tipo de aditivo ou adição mineral visando a melhora de algumas de suas propriedades.

Segundo Oliveira e Souza (2003), as argamassas de cimento Portland são materiais tradicionalmente empregados na recuperação de estruturas de concreto armado. Além de proporcionar boas condições de resistência e coesão ao longo do tempo, podem apresentar ótimo desempenho no manuseio e durabilidade mediante a introdução de aditivos e adições, tais como: sílica ativa, cinza volantes, escória de alto forno, superplastificantes, polímeros e impermeabilizantes.

#### b) Materiais de base orgânica

Os materiais de base orgânica geralmente são pouco permeáveis e apresentam boa aderência. Atuam como barreira contra a penetração de agentes agressivos na estrutura, bem como de oxigênio e umidade. Entretanto, como são de natureza química diferente do substrato de concreto, possuem algumas desvantagens quanto ao coeficiente de expansão térmica, ao módulo de deformação e à compatibilidade.

Podem ser classificados como termoplásticos (resinas acrílicas, estirenobutadieno etc.) ou como termoendurecedores (resinas epóxi, poliéster, poliuretanos etc.).

As argamassas de base epóxi são produtos obtidos com agregados miúdos e um ligante polimérico, que apresentam excelentes propriedades físicas, além de boa aderência a diversos tipos de superfície.

Segundo Piancastelli (1998), as resinas epóxi não apresentam retração durante a polimerização, entretanto, depois de endurecidas, apresentam um coeficiente de dilatação térmica bastante superior ao do concreto.

- **Preparação do Substrato**

O substrato deverá estar convenientemente preparado para receber as argamassas especiais de reparos superficiais.

Para isto devem-se retirar todos os resíduos de concreto e pó que permanecerem sobre a superfície apicoada, utilizando jato de água, que além da limpeza, promove a saturação do substrato.

Para garantir a aderência com os materiais de reparo, é necessário que o substrato possua superfície limpa, íntegra, saturada e seca.

Para conseguir a saturação é necessário molhar constantemente, por um período prévio, de forma que a superfície não absorva mais a água. No momento da aplicação da argamassa a cavidade não pode apresentar água escorrendo ou empoçada, ou seja, a superfície saturada deve estar seca.

- **Argamassas a serem utilizadas**

Segundo Wood, King e Leek (1990) apud Moreno (2002), as principais propriedades de uma argamassa de reparo são divididas em três grupos:

a) Propriedades físicas: diagrama tempo/resistência, diagrama tensão/deformação, resistência à tração, resistência de aderência, deformação lenta, coeficiente de expansão térmica, retração por secagem, deformações cíclicas por molhagem (ou umedecimento) e secagem, permeabilidade e resistência à difusão.

b) Propriedades químicas: conteúdos de álcalis, de  $C_3A$  e de cloretos.

c) Propriedade eletroquímica: resistividade

Para o preenchimento dos reparos superficiais pode ser utilizada argamassa polimérica de base cimentícia, podendo ser espatulada ou projetada.



Argamassas poliméricas são obtidas através de argamassas convencionais misturadas com resinas a base de metil metacrilato ou epóxi.

As argamassas poliméricas tem consistência tixotrópica, impermeável, não retrátil, que lhe confere uma alta durabilidade, impermeabilidade e aderência. Devem ser utilizadas em reparos localizados em pequenas áreas, não necessitando de forma.

A argamassa é aplicada manualmente, em camadas sucessivas de espessura não superiores a 1,5 cm, pressionando-se bem o material para eliminar todos os espaços vazios e preencher completamente a cavidade de reparo.

Toda cavidade é preenchida de forma que o acabamento final fique concordante com a superfície adjacente, sem depressão ou excessos. O acabamento deve ser camurçado, utilizando-se uma desempenadeira de madeira.

#### **3.9.2.5. Fechamento de reparos profundos**

Para o preenchimento das cavidades profundas, sendo maiores que 50 mm, é recomendável utilizar concreto vertido, concreto projetado ou graute. A escolha entre as opções de fechamento deve se dar a partir das características da metodologia da obra.

O concreto projetado, assim como o concreto vertido, apresenta boa aderência entre o novo/velho, porém o projetado dispensa o uso de formas, o que aumenta a velocidade dos serviços, sendo adequado quando as áreas de reparo são maiores. Entretanto, a metodologia executiva para sua utilização causa grande perda do material pela reflexão do material.

O graute apresenta boa retração, aderência e é autoadensável, o que reduz os vazios. Porém, nesse caso, existe o inconveniente do uso de formas.

O graute é uma argamassa pré-dosada industrialmente, composta de cimento Portland, areia de quartzo com granulometria selecionada e aditivos que garantem a fluidez sem retração, altas resistências mecânicas.

### 3.9.2.6. Cura das argamassas de reparo

Por serem os reparos feitos com material cimentício é imprescindível a realização da cura a fim de evitar fissurações. As áreas reparadas deverão ser protegidas da perda de água utilizando-se cura úmida por no mínimo três dias, ou cura química.

Podem ser utilizadas técnicas que garantam e facilitem a cura úmida nas superfícies, tais como a fixação de manta tipo geotêxtil, aspergindo água sobre a mesma periodicamente, variando conforme a incidência do sol, intensidade dos ventos e outros fatores que causam uma rápida perda de água. A Figura 27 demonstra a simples metodologia que garante a umidade durante todo o período de cura recomendado.

Outro método para garantir a umidade do local consiste em se instalar sobre o reparo uma mangueira aspergindo água, de forma contínua através de furos espaçados.



Figura 27 – Técnica que garante a correta cura dos reparos.

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

## **4. Metodologia do trabalho**

### **4.1. Introdução**

O efeito de macrocélula foi identificado em várias estruturas de concreto onde foram executados reparos anteriores, em especial, por ser foco principal dos estudos e ensaios apresentados nesse trabalho, às estruturas que compõe a 3ª Ponte de Vitória (nome oficial Ponte Deputado Darcy Castello de Mendonça). Para o presente trabalho foi realizado o levantamento dos dados da obra, quando de sua execução. Já na vida útil de projeto foram observadas, em certas áreas, indícios de corrosão no entorno de áreas reparadas, conforme podem ser facilmente identificados nas Figuras 28 e 29.

É importante lembrar que os reparos foram executados seguindo as melhores técnicas em engenharia de recuperação e os melhores produtos dispostos no mercado, não sendo o fenômeno observado devido a falhas no diagnóstico, terapias, nem tão pouco na execução, como é possível desse pensar num primeiro momento.

Para alcançar o objetivo de analisar o retorno da degradação no entorno de uma área tratada, serão analisados ensaios realizados anteriormente, bem como ensaios propostos pelo presente trabalho, nos locais onde foram ou não executados os reparos, nas estruturas da 3ª ponte de Vitória.



Figura 28 – Efeito da macrocélula observada em um dos blocos próximo a zona marinha.  
(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia)



Figura 29 – Efeito da macrocélula observada em uma das defensas próximo a zona marinha.  
(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia)

Será apresentado um histórico de monitoramento das estruturas de mais de 12 anos de acompanhamentos, que consiste em ensaios e inspeções programadas.

As estruturas de concreto foram selecionadas a partir do histórico dos reparos realizados, dentro da impregnação principal (teores de cloretos e a frente de carbonatação) e classificadas a partir da classe de agressividade ambiental de acordo com o meio na qual estão inseridas.

Ensaio anteriores foram levantados, identificadas as áreas e tratados estatisticamente, a fim de constatar os contaminantes presentes no meio, a migração e evolução das patologias e o estudo do retorno após os tratamentos.

Medidas de potencial de corrosão foram realizadas em áreas que já sofreram reparos e pode-se constatar indícios de corrosão no contorno do reparo.

Outro ensaio realizado consiste na difração de raio X, sendo realizados em locais sem reparos e onde já foram realizados reparos. A Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) também foi executada a fim de verificar a estrutura do concreto nessas áreas.

#### **4.2. Acessos às Áreas de Trabalho**

Para a realização das inspeções e monitoramentos nas estruturas é fundamental que o acesso às superfícies de concreto em análise, possibilitando a realização dos ensaios e inspeções.

Diversas técnicas de inspeções foram aprimoradas. Para a inspeção dos elementos estruturais submersos no mar, foram realizados mergulhos com profissionais, que registraram em filmes e fotografias a situação das camisas metálicas de revestimento dos tubulões, conforme mostrado na Figura 30.



Figura 30 – Técnicas de mergulho profissional para realizar a inspeção subaquática, nas fundações da 3ª Ponte de Vitória.

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia)

Foram verificadas também as faces inferiores dos blocos de fundação, que são protegidos por lajes de concreto, que funcionaram como formas perdidas na construção.

Para a inspeção dos elementos estruturais em alturas, foram utilizadas técnicas de inspeções. Para as estruturas localizadas em terra, com altura até 12 metros, foi utilizada uma plataforma telescópica (vide Figura 31).





Figura 31 – Inspeção utilizando plataforma elevatória.  
(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

Para as partes mais altas, acima de 12 metros, foi utilizado um equipamento móvel, dotado de uma passarela suspensa, que permite o acesso à face inferior da Ponte. Esta passarela transporta um “balancim” elétrico, que é fixado no topo dos pilares mais altos, possibilitando a inspeção destes elementos.

Em outras situações onde as estruturas encontram-se mais inacessíveis, tais como estruturas acima do oceano e em grandes alturas, foram utilizadas técnicas de alpinismos (vide Figura 32).



Figura 32 – Inspeção utilizando técnicas de alpinismo.

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

As superfícies internas (caixão) foram inspecionadas com auxílio de andaimes e sistema de iluminação adequado.

#### **4.3. Identificação dos Elementos Estruturais**

A forma de identificação dos elementos já era corrente, desenvolvida no início do monitoramento das estruturas e foi utilizada também nesse trabalho pela rápida assimilação do tipo de elemento e sua localização.

Melhorando o fluxo das informações foi adotada uma identificação dos elementos estruturais, numerando-os e identificando-os em função do tipo, posição e localização da face.

Exemplo: **P/N 21 – C – N**, a saber:

- P: elemento estrutural (pilar, viga...)
- N21: localizado sob pórtico N21, lado norte (Vitória)



- C : é o pilar central de uma linha de três unidades
- N : face norte (Sul, Leste e Oeste)

A posição exata no elemento estrutural onde foram realizados os ensaios é definida por coordenadas X e Y, medidas de forma rigorosa para permitir a identificação do ponto ensaiado, possibilitando a continuidade do monitoramento no mesmo local.

#### **4.4. Seleção dos locais para a inspeção e avaliação**

Os locais a serem ensaios foram escolhidos pela ocorrência de manifestações patológicas e pelos serviços de reparos já executados. Em alguns pontos já constata-se o retorno no entorno dessas manifestações.

Também foi levado em consideração o cronograma de execução das inspeções já em andamento, inclusive utilizando ensaios realizados anteriormente a esse trabalho.

#### **4.5. Histórico de testes realizados**

O concreto em estudo constitui a estrutura da 3ª Ponte de Vitória. Essa obra iniciou-se em setembro de 1978, com previsão de conclusão em outubro de 1981. Entretanto, face às dificuldades de ordem econômica da época, teve suas obras totalmente paralisadas em abril de 1980. As obras foram retomadas em 27 de setembro de 1984 e concluídas 23 de agosto de 1989. Portanto, a data considerada como o início da obra, para o atual trabalho, é de 1978, tendo atualmente o concreto por volta de 34 anos de idade.

Atualmente, a ponte encontra-se sob regime de concessão pública sendo a concessionária a RODOSOL – Rodovia do Sol S.A. (A partir de dezembro de 1998 até dezembro de 2023). Em 2001 iniciaram os estudos e ensaios que são apresentados nesse trabalho e foco de um programa de monitoramento das estruturas, para inspecionar, monitorar e planejar as ações preventivas e corretivas ao longo de todo o período da concessão.

A ponte foi projetada em dois trechos: partindo do canal de navegação, para o lado norte, na cidade de Vitória, até a Praia do Sua (apoios N1 ao N23) e também partindo do canal de navegação, para o lado sul, na cidade de Vila Velha, terminando após 200 metros da Avenida Champagnat (apoios S1 ao S36). É apresentado na Figura 30 o mapa e localização original da época do estudo de implantação.

Os blocos de coroamento sobre tubulões em terra foram executados em forma convencional. Já os blocos no trecho do mar, que atingem até  $1.200\text{m}^3$  de concreto, tiveram seu cimbramento em lajes pré-moldadas, posicionadas com guindastes sobre flutuante. Para suas formas laterais foram usadas placas pré-moldadas, também em concreto armado e com peso médio de 10 toneladas por placa.

Do lado de Vitória, foram executados todos os pilares do tipo pórtico e em número de 16, tendo de seção  $2,20\text{m} \times 2,20\text{m}$  cada, sendo o último apoio em terra, um pilar com seção de  $4,00\text{m} \times 11,00\text{m}$  e altura de  $35,00\text{m}$ .

No trecho em mar foram construídos os 7 (sete) pilares, sendo cinco com seção de  $4,00\text{m} \times 11,00\text{m}$  e altura que vai de  $35,00\text{m}$  até  $57,00\text{m}$ . Os dois pilares do vão central são de  $6,00\text{m} \times 11,00\text{m}$  e com altura de  $57,00$  metros.

Do lado de Vila Velha os apoios são de dois tipos: 6 (seis) pilares com seção única de  $4,00\text{m} \times 11,00\text{m}$  com altura que vai de  $33,00\text{m}$  a  $51,00\text{m}$ , e 30 (trinta) com duas seções tipo pórtico, medindo  $2,20\text{m} \times 2,20\text{m}$  cada, com altura variando de  $2,00\text{m}$  a  $35,00\text{m}$ .

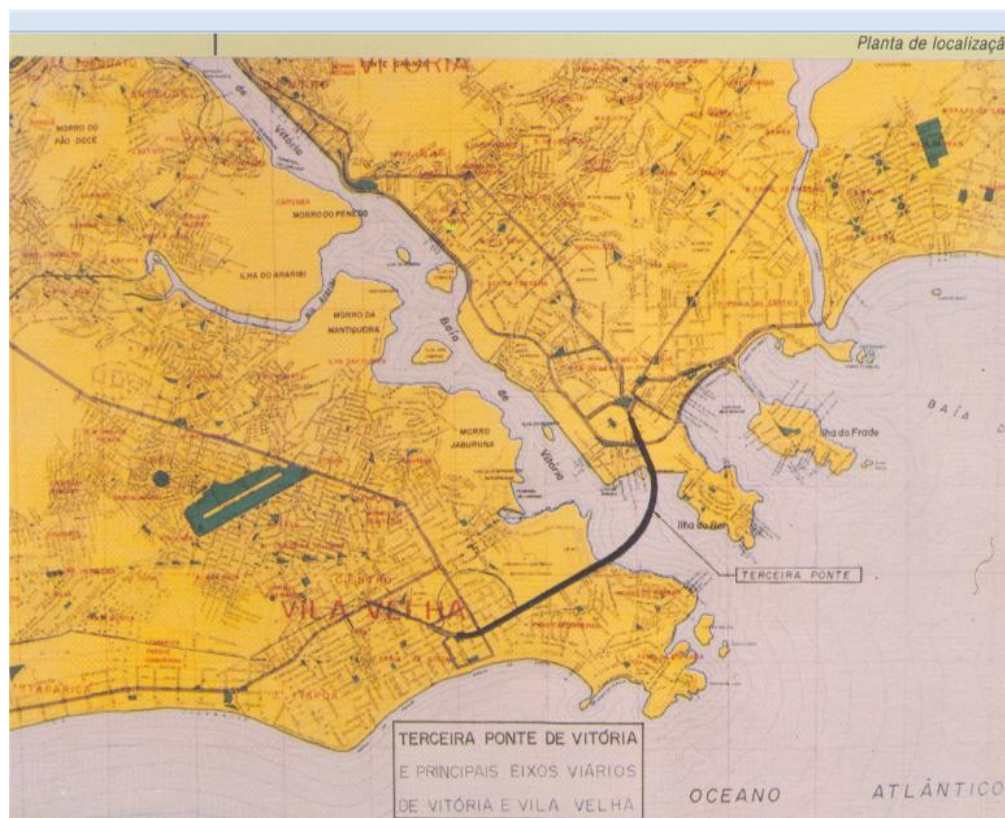


Figura 33 – Mapa de localização da ponte que foi utilizado nos estudo de implantação.  
(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

As defensas merecem atenção especial, por pertencerem a um ambiente agressivo, diretamente na zona de respingos e podem sofrer impactos mecânicos, visto que foram projetadas para absorver os esforços causados pelos choques de embarcações, de até 75.000 ton navegando a velocidade de até cinco nós.

As defensas são compostas de duas estruturas simétricas, que circundam os blocos dos apoios centrais N1 e S1 e possuem fundações de 104 tubulões em camisas metálicas perdida. No local verifica-se a formação da macrocélula.

#### 4.6. Ensaios realizados

Tem-se registro de ensaios para monitoramento e acompanhamento das estruturas imersas em um ambiente altamente agressivo a partir do ano de 2000. Esses ensaios foram realizados em diversos elementos estruturais e em diversos meios

com agentes agressivos variados, conforme o plano de monitoramento das estruturas.

Para efeito de análise desses ensaios e melhor visualização da vasta quantidade de modelares, foi realizado o tratamento estatístico dos valores. Os resultados completos encontram-se no Apêndice A desse trabalho.

As estruturas foram agrupadas pelo ano no qual os ensaios foram realizados. Foi executada uma mediana dos ensaios, pois se trata de medida da tendência central, numa forma que mais aproxima dos valores reais. Os ensaios foram lançados em base de gráfico tipo box plot, que isola pontos que fogem da maioria (*outlier*).

As estruturas foram mantidas nas divisões feitas por elementos: pilares, vigas longarinas, vigas transversinas, viga travessa e blocos.

Os ensaios de potencial de corrosão seriam realizados nos blocos onde anteriormente foram executados reparos de corrosão das armaduras e verificados visualmente a ocorrência da macrocélula. Porém não foi possível a realização desses ensaios nos blocos, sendo foco de futuros trabalhos.

Os citados ensaios foram feitos nas barreiras rígidas localizadas nas laterais da pista, onde também foi constatado visualmente o efeito da macrocélula, através do retorno das corrosões em áreas com reparos a aproximadamente 5 anos.

#### **4.6.1. Espessura de cobrimento do aço**

Foram feitas diversas medidas para a constatação da espessura de cobrimento das armaduras presentes nos diferentes elementos em análise, conforme demonstrado na Tabela 5.

Não foi possível obter os valores de cobrimento de projeto. Para o meio na qual as estruturas encontra-se imersa, são classificadas pelas normas atuais no geral como uma região urbana, tipo III de acordo com a classificação da NBR 6118 (ABNT, 2007), com um nível de agressividade moderado. Através dessa norma tem-se como

base o valor de referência de 40 mm de cobrimento, para vigas e pilares. Na ponte em análise existem elementos imersos num meio mais agressivo, tipo IV, que possui como referência o cobrimento de 50mm para vigas e pilares. Porém a título de análise nesse trabalho será adotado de forma homogênea as estruturas como imersas na região urbana, tipo III.

Através das análises dos resultados, presentes no Apêndice B, pode-se verificar os valores muito dispersos, sendo esperado devido ao processo construtivo da época (por volta de 1978), no qual permite eventuais movimentações das formas ou das armaduras, reduzindo o cobrimento especificado em projeto. Por isso o tratamento estatístico foi fundamental nessa análise, permitindo que os valores muito dispersos não influenciem no resultado final da análise. Os dados na Tabela 5 relatam a mediana dos valores, através de técnicas estatísticas.

É obvio que os valores de espessura de cobrimento não se alteram durante os anos, porém a escolha da amostragem alteram as estruturas durante os anos.

Tabela 5 – Medianas das espessuras de cobrimento das armaduras, em mm.

Elemento estrutural	Mediana das espessuras de cobrimento (mm), entre os anos de 2000 a 2011								
	2000	2001	2002	2003	2007	2008	2009	2010	2011
Pilar	41,5	35	44	37	32	26,25	29,13	29,4	30,6
Viga longarina	55	-	-	-	-	21,5	26,5	22,2	-
Viga Transversina	53,9	-	-	-	-	20,8	26,25	27,1	-
Viga Travessa	-	-	31	-	-	28	28,75	26	-
Blocos	-	42,5	-	-	-	27,58	-	-	-

Verifica-se no ano 2000, época do início do monitoramento, medidas de cobrimento superiores ao limite mínimo recomendado pela norma NBR 6118 (2007), para estruturas executadas em ambiente urbano tipo III, perfazendo os maiores valores durante todo o período de monitoramento. Os locais dos ensaios foram realizados

nas áreas da ponte fora da zona marítima, do lado Norte, cidade de Vitória, nas longarinas, vigas travessas e pilares.

No ano 2001 foram feitos ensaios nos pilares e nos blocos e também foram verificados altos valores de acordo com a referenciada norma. Nessa época foram escolhidos elementos também nos externos da ponte, os pilares no lado Norte, cidade de Vitória, e os blocos no lado Sul, cidade de Vila Velha, em todos os casos fora da zona marítima.

Em 2002 foram ensaiados pilares e vigas travessas, no lado Norte (face cidade de Vitória) e constatam-se valores dentro da Norma para os pilares. Já as vigas travessas encontram-se com a mediana abaixo do valor de referência da Norma.

No ano de 2003 foi ensaiada uma amostragem menor, sendo somente no pilar PN17, no qual encontra-se no lado Norte, sentido cidade de Vitória. A mediana encontra-se abaixo do valor de Norma. O mesmo se observa no ano de 2007, porém a amostragem foi feita em mais de um tipo de pilar.

Verificou-se que no ano de 2008 uma vasta amostragem da espessura de cobertura, a saber para os pilares foi de 26,25mm, nas vigas longarinas cerca de 21 mm, nas vigas transversinas de 20,8 mm, nas vigas travessas 28mm e nos blocos 27,6 mm, todos os valores encontram-se abaixo do recomendado pela norma.

Até meados do ano de 2009 foram executados ensaios nos vãos S34 ao S27, que pertencem ao lado cidade de Vila Velha, apresentando medianas abaixo de 30 mm em todos os elementos.

No ano de 2010 foram feitos ensaios nos elementos entre os vãos S09 ao S25, também estando abaixo dos 30 mm.

No ano de 2011 foram ensaiados 155 amostras, todos pertencentes a pilares sobre a zona marítima e a mediana foi de 30,6mm, abaixo do recomendando pela Norma atual.

Através da análise dos resultados de cobrimentos de armaduras obtidos no período de 2000 a 2011, pode-se constatar que, na sua totalidade, as medidas de espessuras de cobertura avaliadas se encontram inadequadas para a classe de agressividade ambiental III.

A zona de atmosfera é marinha, estando as estruturas de concreto inseridas na região urbana (próximas a cidade, sentido Vitória ou Vila Velha), porém podendo estar sob os respingos das mares ou até mesmo submersa. Nessa região as estruturas podem estar recebendo quantidades de sais, mesmo não estando em contato direto com a água do mar, através dos ventos que transportam os sais na forma de partículas sólidas ou como gotas de solução salina e sem a camada física protetiva.

#### 4.6.2. Ensaios colorimétrico de potencial alcalino

O ensaio colorimétrico de potencial alcalino que mede o avanço da frente de carbonatação foi realizado também a partir do ano de 2000. A amostragem foi significativa nos diversos elementos estruturais e em diversos meios com agentes agressivos variados, e apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Medianas das medidas do ensaio da frente de carbonatação, em mm.

Elemento estrutural	Mediana da frente de carbonatação (mm), entre os anos de 2000 a 2011								
	2000	2001	2002	2003	2007	2008	2009	2010	2011
Pilar	5,5	19	12	3	10	9	12,5	7,5	10
Viga longarina	9	-	-	-	-	15	10	9	-
Viga Transversina	-	-	-	-	-	13	1	9	-
Viga Travessa	7	-	10	-	-	13	10,5	7	-
Blocos	-	12	-	-	-	7	-	-	-

Verifica-se que no ano 2000 o avanço da frente de carbonatação no máximo de 9mm, sendo a grande parte da amostragem no lado norte (cidade Vitória).

No ano de 2001 os valores apresentaram um leve aumento. A amostragem adotada para os blocos foi mais diversificada e localizada ao lado Sul (cidade Vila Velha). Em 2002 foram ensaiados pilares e vigas travessas, onde se verificou um valor máximo de 12 mm para frente de carbonatação.

No ano de 2003 foi ensaiado somente no pilar (PN17) que apresentou um mediana do avanço da frente de carbonatação de 3 mm.

A amostragem escolhida no ano de 2007 se dá em pilares, no lado vitória imersos na zona marítima e obtivemos uma medida de 10 mm para a carbonatação.

No ano de 2008 foi feita outra batelada de ensaios em diversas estruturas, totalizando 446 locais ensaiados, nos diversos elementos da ponte lado norte e onde se verificou um aumento das medianas.

No ano de 2009 foram executados ensaios nos vão S34 ao S27, que pertencem ao lado Sul, cidade de Vila Velha, apresentando medianas máximas de 12,5 mm, onde nota-se um pequeno acréscimo, em relação ao lado cidade da Vitória tendo como causa provável o ambiente da cidade de Vila Velha.

No ano de 2011 foram ensaiados pilares sobre a zona marítima e a mediana foi de 10mm, tanto no lado sul quanto no lado norte, porém notou-se valores maiores para as estruturas no lado sul do que no lado norte.

Através da análise dos resultados do avanço da frente de carbonatação obtidos no período de 2000 a 2011, pode-se constatar que, na sua totalidade, não foram constatadas valores significativos.



#### **4.6.3. Potencial de corrosão**

Os ensaios de potencial de corrosão seriam realizados nos blocos e saias onde anteriormente foram executados reparos de corrosão das armaduras. Em certos pontos verifica-se o efeito da macrocélula com indícios de corrosão no entorno dos reparos, porém não foi possível a realização desses ensaios nessas estruturas devido a dificuldades no acesso, sendo foco de futuros trabalhos dessa autora.

A fim de dar continuidade nas análises e estruturas, foram realizados ensaios de potencial nas estruturas do guarda rodas da ponte, local onde foram realizados também reparos anteriores, e encontram-se na zona atmosférica, porém num ambiente agressivo.

Esse ensaio foi realizado conforme a ASTM C856. A primeira batelada de ensaio foi executada no dia 15 de fevereiro de 2012. As medidas do ensaio de um modo geral demonstraram ótimos resultados, com valores acima de  $-350 \mu\text{V}$ , indicativo que o concreto encontra-se íntegro.

As faixas de potencial eletroquímico estão associadas ao risco da corrosão definida pela ATSM C-876 como: valores mais negativos que  $-350\text{mV}$ , tem-se uma probabilidade de 95% de estar havendo corrosão. Para valores entre  $-200$  e  $-350\text{mV}$ , tem-se uma probabilidade incerta e para valores mais positivos que  $-200\text{mV}$ , tem-se a probabilidade de corrosão de 5%. Esses valores tem como referência o eletrodo de cobre/sulfato de cobre.

Valores positivos foram medidos novamente, e encontram-se apresentados nas tabelas dos ensaios e nos mapeamentos de potenciais. Porém na inspeção visual constata-se vários pontos de armaduras expostas em processo de corrosão, conforme pode ser verificado na Figura 34 e 35.



Figura 34 – Local escolhido para o ensaio I, sobre reparo executado anteriormente, (aproximadamente 5 anos).

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)



Figura 35 – Detalhe da execução do ensaio I, próximo ao reparo em área com pontos de armaduras expostas em processo de corrosão, porém medimos um valor de -0,0874mV.

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

Ensaio 1 - Sentido Sul - Km 0 + 430

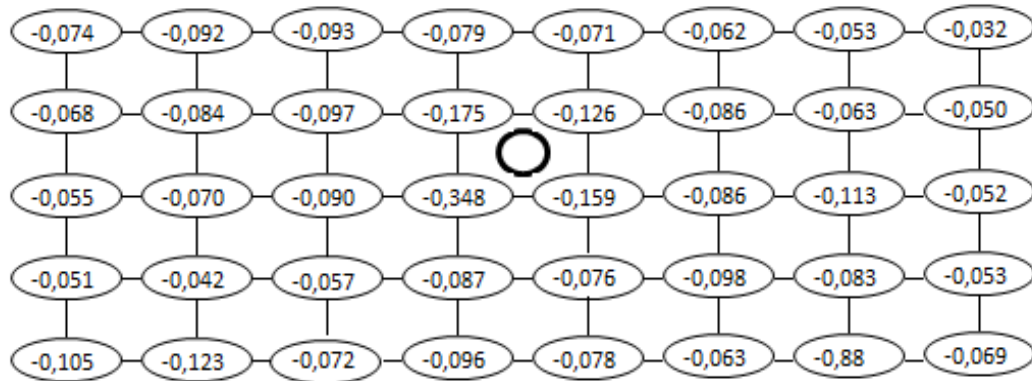


Figura 36 – Resultado do ensaio I, localizado na barreira sentido Sul (Vila Velha) Km 0+430m.

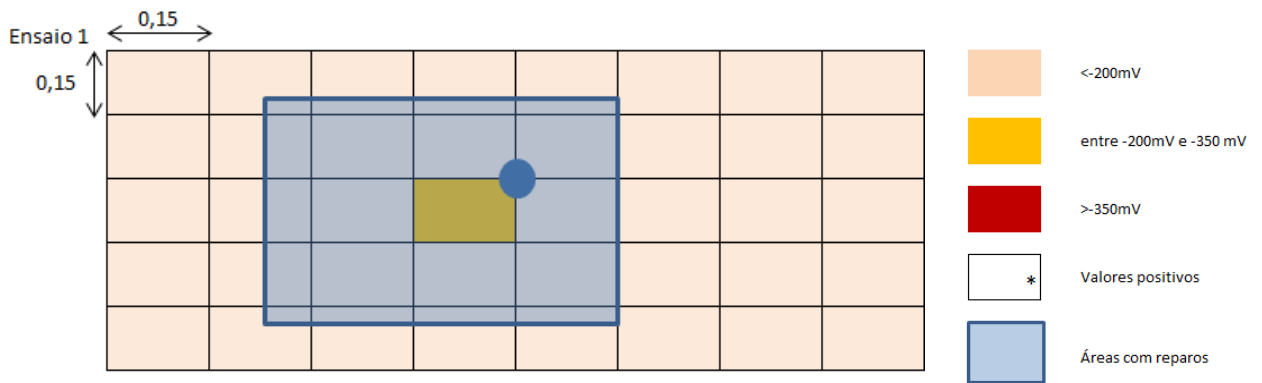


Figura 37 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado na barreira sentido Sul (cidade Vila Velha) Km 0+430m.

A partir da análise realizada nos resultados do ensaio I pode-se verificar pela inspeção visual no local (Figura 34) presença de armaduras expostas em processo de corrosão, com destacamentos de concreto, porém os valores medidos não apresentaram maiores que  $-348 \mu\text{V}$ , indicativo de uma zona de incerteza (Figuras 36 e 37).

No local há uma área de reparo e armaduras expostas dentro da área do reparo, indicando uma possível existência do fenômeno da macrocélula.

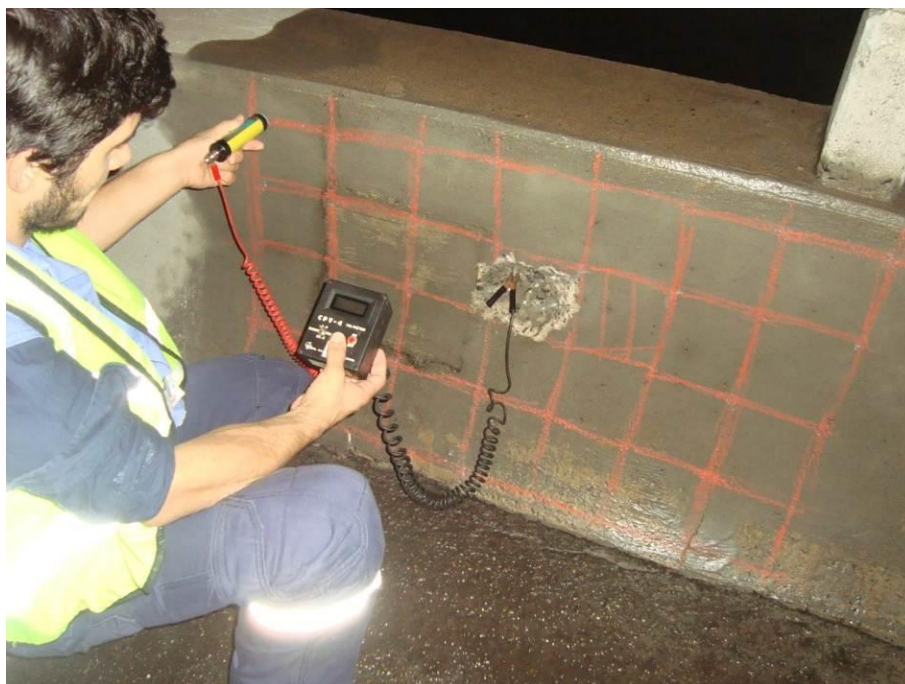


Figura 38 – Local escolhido para o ensaio II, sobre reparo executado anteriormente (aproximadamente 5 anos).

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

Ensaio 2 - Sentido Sul - Km 1 + 210

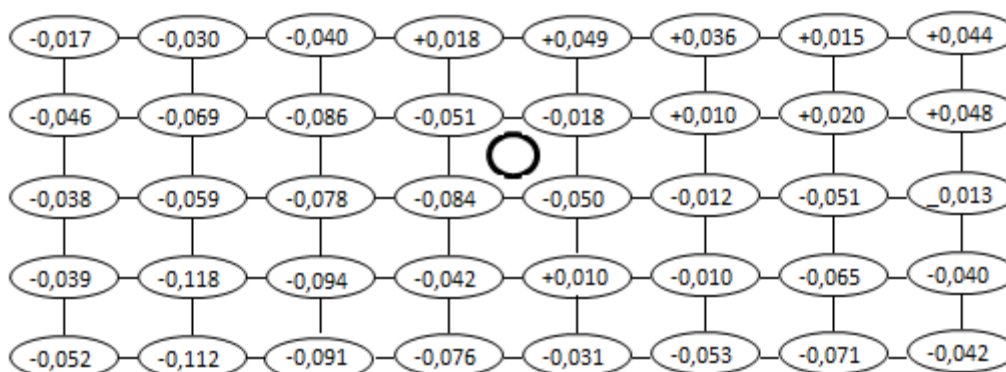


Figura 39 – Resultado do ensaio II, localizado na barreira sentido Sul (cidade Vila Velha) Km 1+210m.



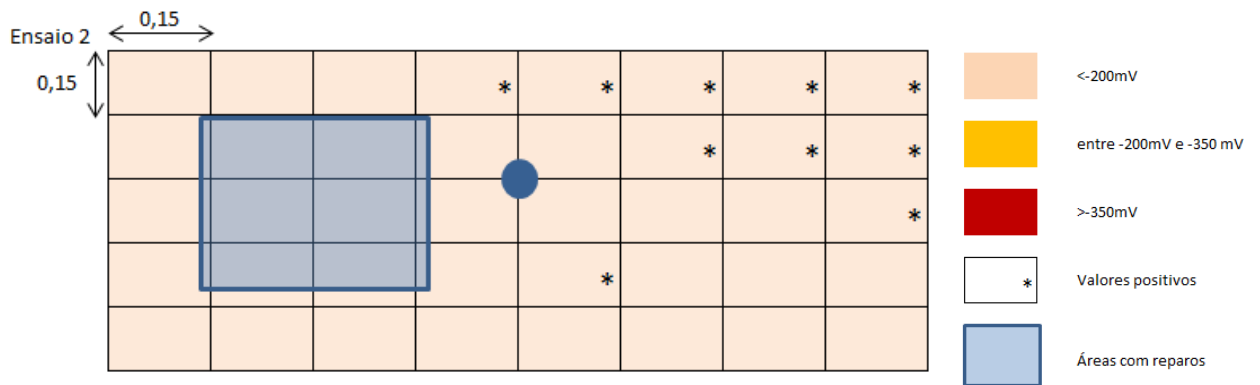


Figura 40 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado na barreira sentido Sul (cidade Vila Velha) Km 1+210m.

O ensaio II foi realizado próximo a uma área de reparo. Nesse local encontramos valores altos e até valores positivos, conforme pode ser observado nas Figuras 39 e 40.



Figura 41 – Local escolhido para o ensaio III, próximo ao reparo executado anteriormente (aproximadamente 5 anos).

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

Ensaio 3 - Sentido Norte - Km 3 + 150

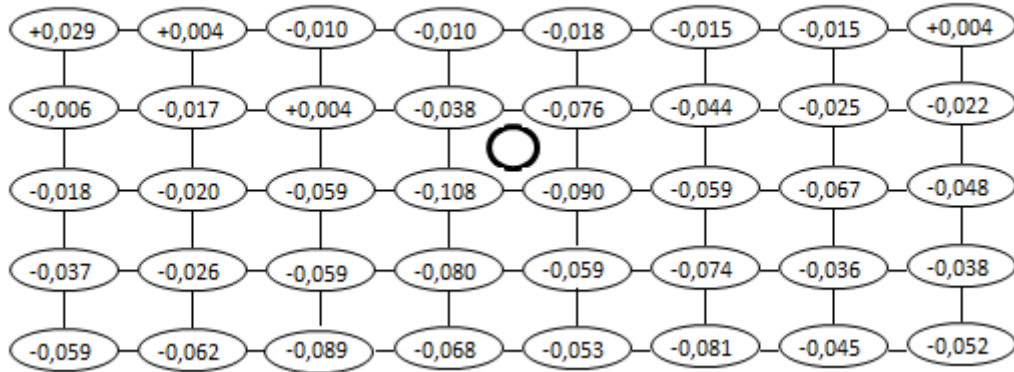


Figura 42 – Resultado do ensaio III, localizado na barreira sentido Norte (Vitória) Km 3+150m.

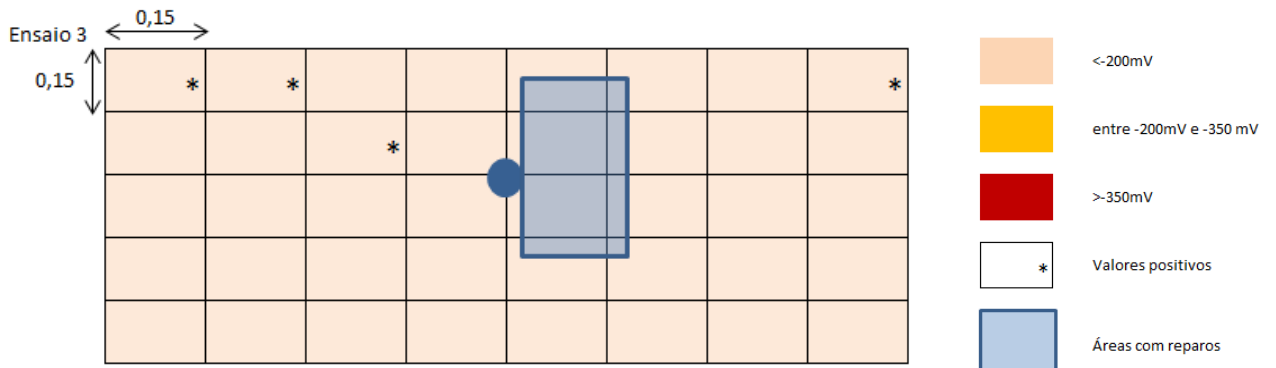


Figura 43 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado na barreira sentido Norte (cidade Vitória) Km 3+150m.

Para o ensaio III, a presilha do aparelho (denominada “jacaré”) foi fixada em uma armadura exposta em processo de corrosão, localizada no perímetro de uma área de reparo, o que indica uma provável existência do fenômeno da macrocélula, conforme visualizado na Figura 41. Porém não foram verificados valores que indicasse a formação da pilha, inclusive encontram-se valores positivos (Figuras 42 e 43).

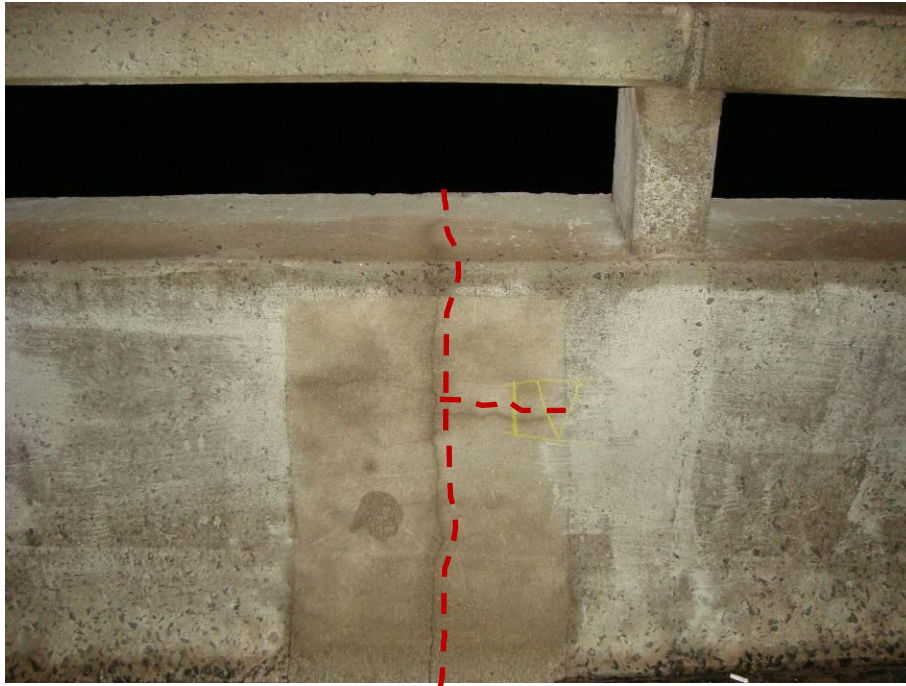


Figura 44 – Local escolhido para o ensaio IV, sobre fissura e reparo executado anteriormente (aproximadamente 5 anos).

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

Ensaio 4 - Sentido Norte - Km 1 + 720

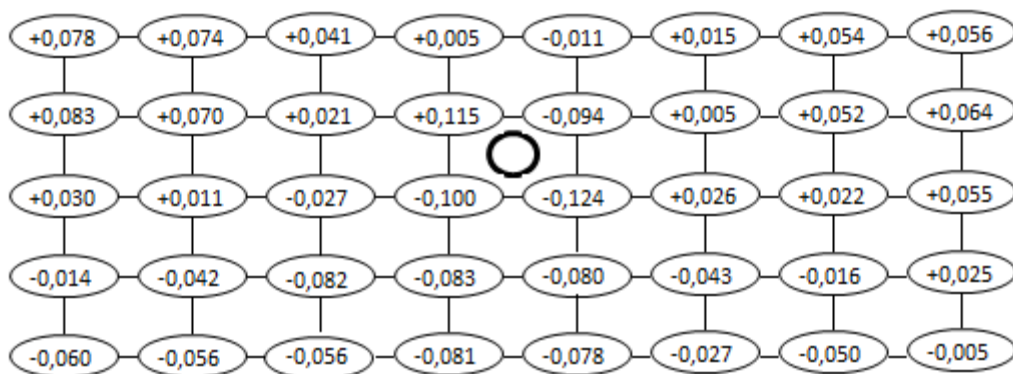


Figura 45 – Resultado do ensaio IV, localizado na barreira sentido Norte (cidade Vitória) Km 1+720m.

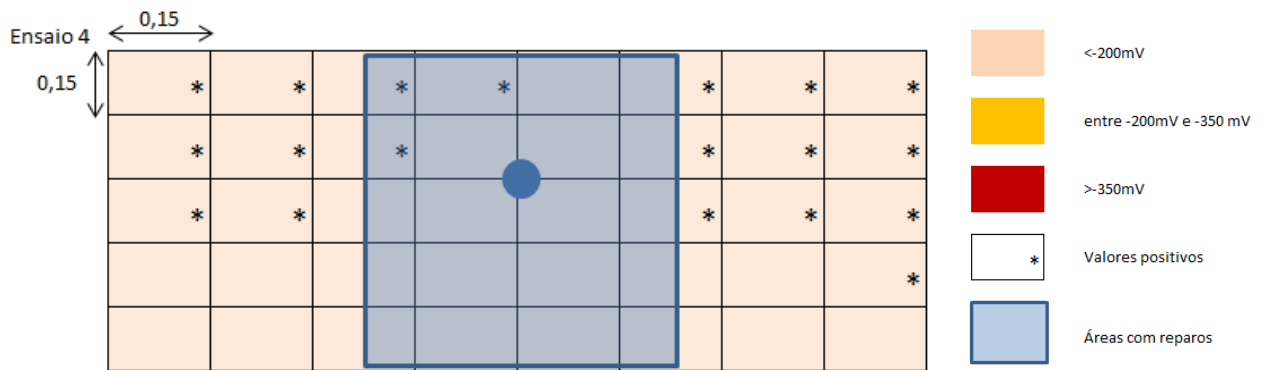


Figura 46 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado na barreira sentido Norte (cidade Vitória) Km 1+720m.

O local do ensaio IV foi escolhido por se tratar de um reparo com presença fissura (Figura 44), fato que permitiu a entrada de agentes agressivos mais facilmente. Nele também verifica-se bons valores e parte superior valores positivos, conforme se destaca nas Figuras 45 e 46.

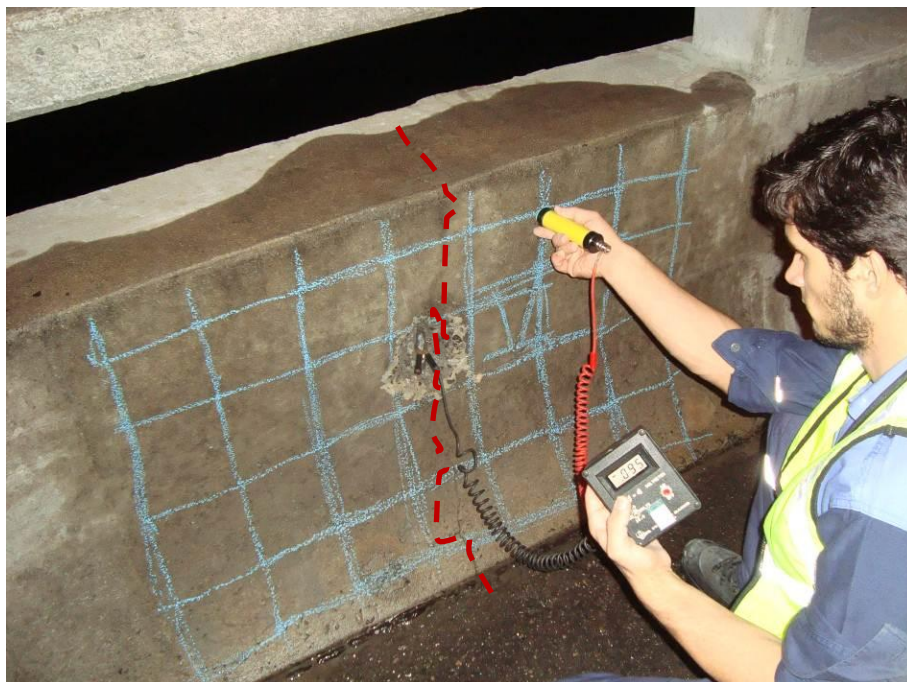


Figura 47 – Local escolhido para o ensaio V, sobre fissura.  
(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)



Ensaio 5 - Sentido Norte - Km 1 + 250

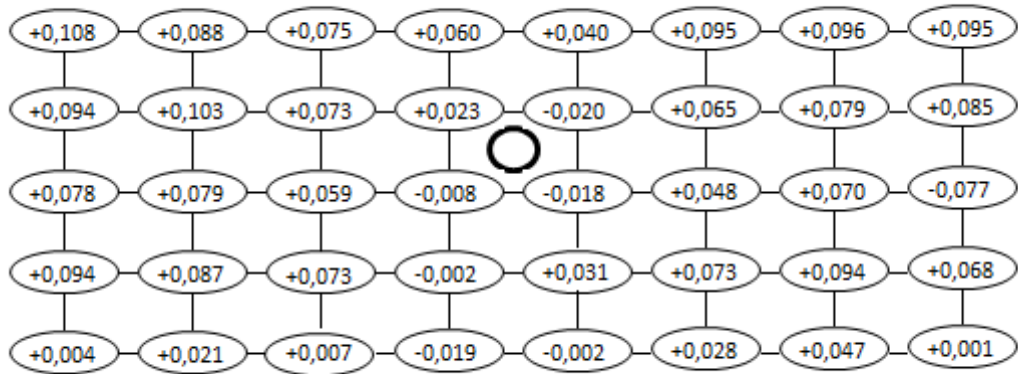


Figura 48 – Resultado do ensaio V, localizado na barreira sentido Norte (cidade Vitória) Km 1+250m.

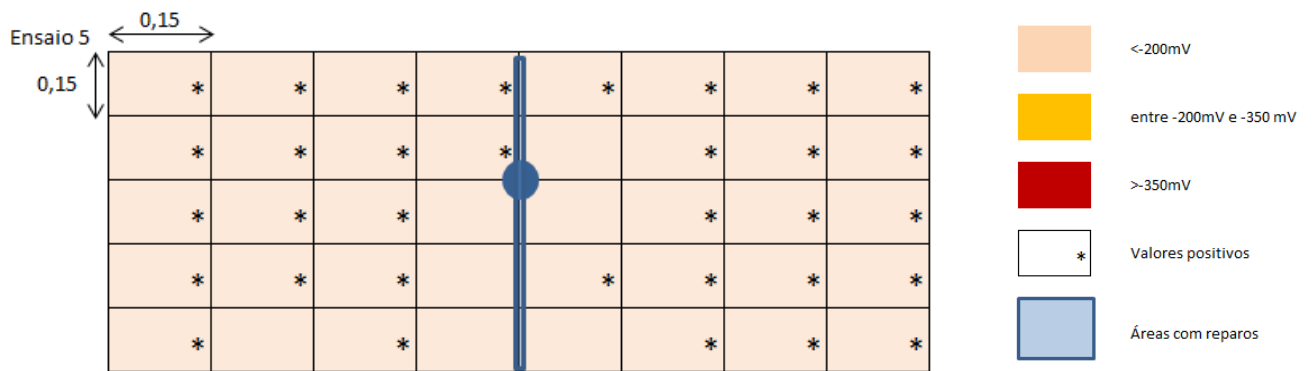


Figura 49 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado na barreira sentido Norte (cidade Vitória) Km 1+250m.

Também o ensaio V foi realizado em área de reparo de fissura (Figura 47), onde foram observados valores ideais de potencial (Figuras 48 e 49).



Figura 50 – Local escolhido para o ensaio VI próxima aos reparos existem pontos com armaduras expostas em processo de corrosão.

(Fonte: Empresa Recuperação Engenharia.)

Ensaio 6 - Sentido Sul - Guarda-corpo Central

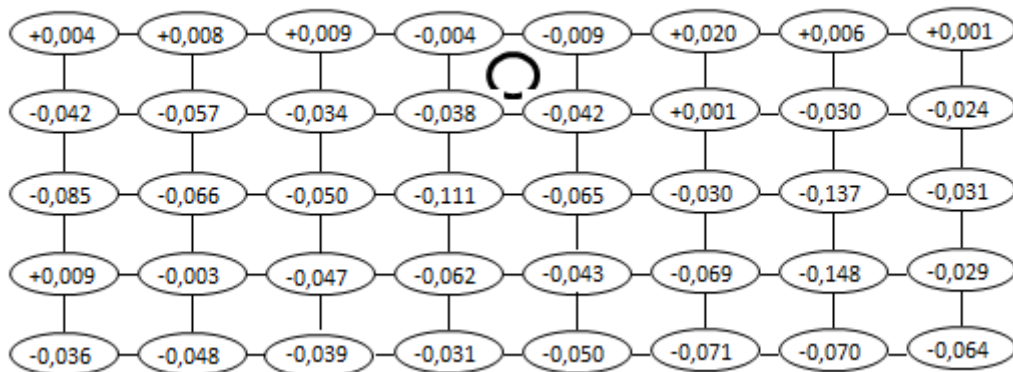


Figura 51 – Resultado do ensaio VI, localizado no guarda corpo central sentido Sul (cidade Vila Velha).

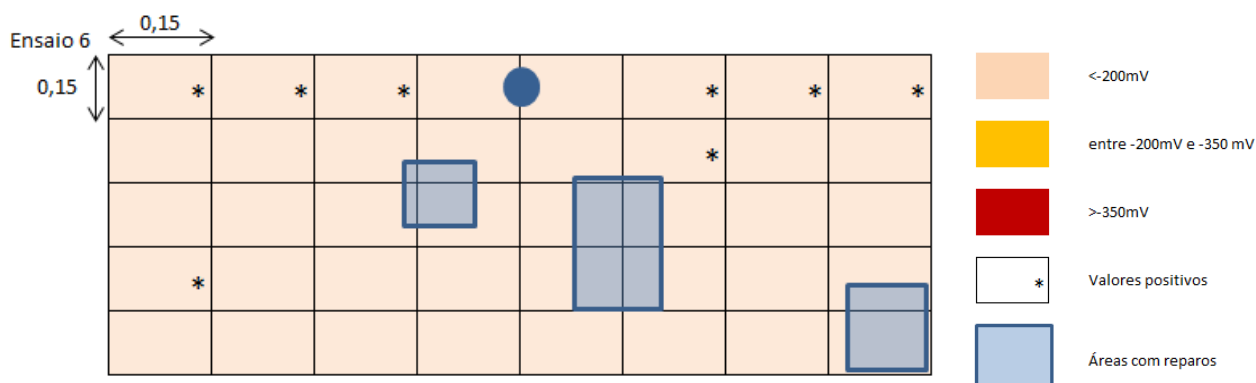


Figura 52 – Diagrama do mapeamento dos potenciais, localizado no guarda corpo central sentido Sul (Vila Velha).

O ensaio VI foi escolhido próximo a áreas de reparos localizados e já com presença de corrosão das armaduras no entorno dos reparos, conforme destacado na Figura 50, porém os valores medidos no ensaio de potencial de corrosão não apresentaram indícios de corrosão (Figuras 51 e 52).

Hipóteses foram levantadas confrontando as informações, onde pela análise visual existe a ocorrência de patologias no entorno de áreas tratadas, mas o ensaio de potencial não indicou diferenças de potencial que indicasse o processo eletroquímico estava ocorrendo.

A primeira hipótese consiste no uso de aparelhagem sem calibração ou erros durante a execução do ensaio. O ensaio foi realizado novamente no dia 4 de abril de 2012. Nessa oportunidade foi trocado o aparelho na tentativa da constatação do fenômeno ocorrido, porém os resultados observados se repetiram, indicando valores positivos, e acima do limite de  $-350\text{mV}$ .

A segunda suposição levantada consiste na interferência de sistemas de pinturas. Um dos sistemas aplicados na área consiste em pintura cristalizante no substrato do reparo (Xypex Concentrado do fabricante MC Bauchemie). Outro sistema aplicado no local em análise consiste na pintura das superfícies dos elementos de concreto com material cimentício (reparo mineral do fabricante Hagen do Brasil), que penetra pela superfície do concreto. O alto índice de cimento pode estar alterando resultado dos ensaios.

A terceira hipótese levantada, para a explicação de valores altos de potenciais em locais onde verifica-se a corrosão das armaduras, e como consequência a existência de uma diferença de potencial devido a pilha já formada, consiste na diferença do meio na qual as armaduras encontram-se imersas, ou seja, o tipo do material de reparo.

#### **4.6.4. Determinação de íons cloretos totais via Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)**

Foram realizados ensaios de Microscopia Eletrônica por Varredura em 11 (onze) amostras extraídas dos elementos de concreto e avaliados os teores de cloretos totais presentes. Essas amostras foram escolhidas nas estruturas em contato com o mar, em área sujeita a respingos de marés.

O objetivo da realização desse ensaio consiste na verificação dos elementos constituintes no concreto e especialmente, para esse estudo, o percentual de cloretos, mesmo sendo um método semi quantitativo.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados dos teores de cloretos presentes nos anos de 2000 e 2001, nas estruturas originais ou sem histórico de intervenção realizada até o ano de 1999.

Tabela 7 – Valores das medianas dos ensaios de cloretos, realizados nos anos de 2000 e 2001.

<b>Elemento estrutural</b>	<b>Mediana dos valores dos teores de íons cloretos</b>	
	<b>2000</b>	<b>2001</b>
Pilar	0,09	0,04
Viga longarina	0,09	-
Viga Transversina	-	-
Viga Travessa	0,09	-
Blocos	-	0,06

Foi possível constatar que os teores já se encontravam acima do valor referência que é de 0,05%, expresso sobre o peso total do concreto.

Foi extraído um corpo de prova, em 09/05/2012, de uma região de concreto submetido a procedimento de recuperação e intervenção corretiva, sem data precisa de sua realização, localizado no pórtico N03, localizado no lado Vitória, na face oeste, e parte inferior do pilar, nas coordenadas (1500; 200) (vide Figura 53). Neste local o cobrimento médio das armaduras foi de 27,8 mm, com valores individuais de 28, 25, 30, 25 e 31 mm, e registro de profundidade de carbonatação da ordem de 3mm (medição realizada imediatamente após a extração). Inspeção visual realizada neste local não sinalizou ou sequer identificou patologias de quaisquer natureza.

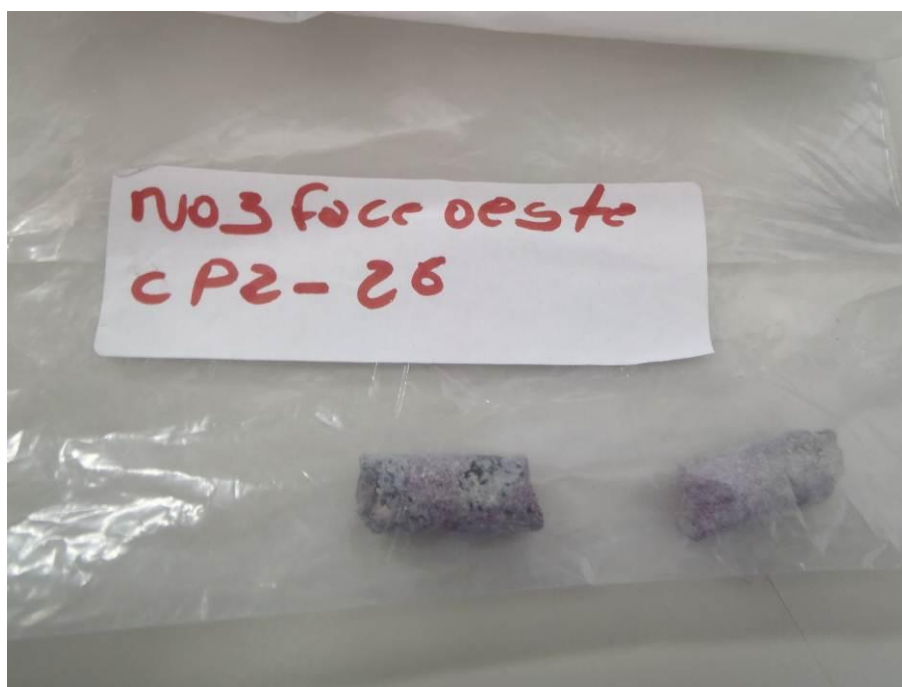
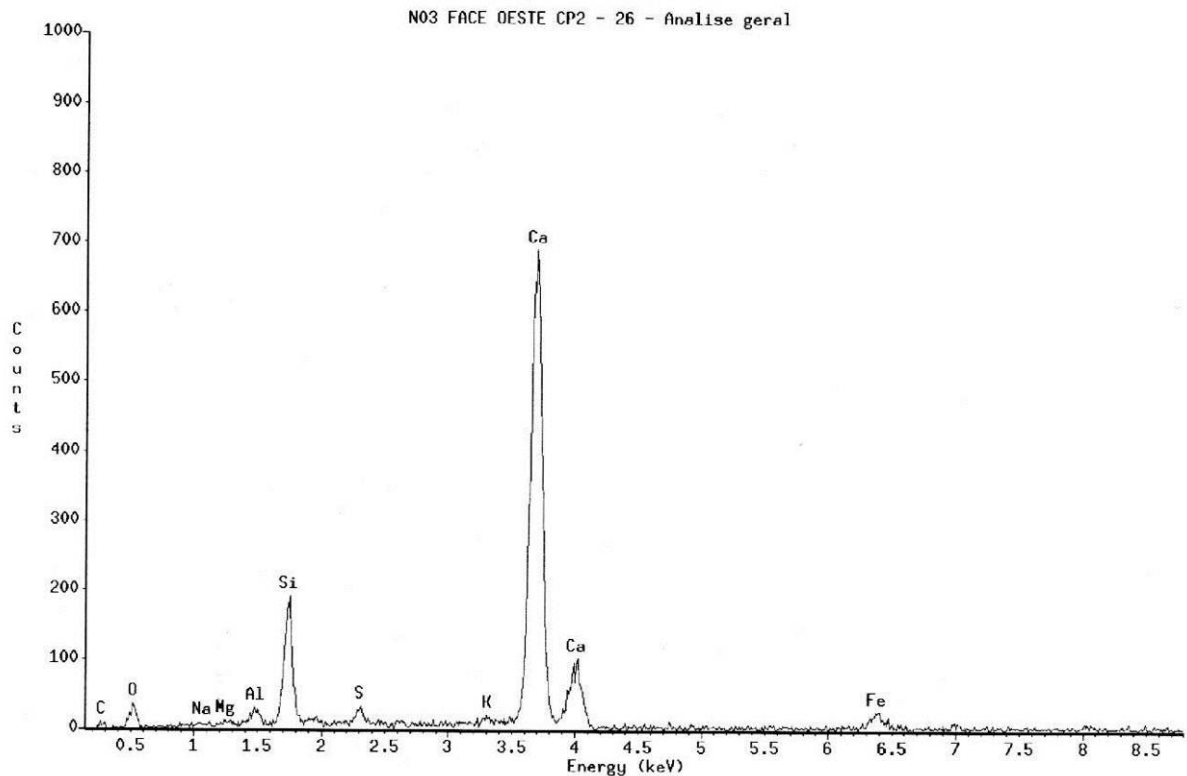


Figura 53 – Testemunhos de concreto do pilar do pórtico N03, sentido cidade de Vitória, face oeste.

Na Figura 54 pode-se observar o espectro obtido via MEV na amostra pilar N03 e na Figura 53 a microestrutura típica do concreto presente.



N03 FACE OESTE CP2 - 26 - Analise geral

Chi-sqd = 1.11 Livetime = 30.0 Sec.  
Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 25 kV Take-off Angle=28.00 deg  
Number of Iterations = 4

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Na-K	0.0008	5.204	0.44	0.39	+/- 0.25	Na2O	0.53	0.188
Mg-K	0.0013	3.295	0.45	0.42	+/- 0.18	MgO	0.70	0.192
Al-K	0.0060	2.377	1.35	1.42	+/- 0.16	Al2O3	2.69	0.581
Si-K	0.0512	1.795	8.36	9.19	+/- 0.33	SiO2	19.67	3.607
K-K	0.0039	1.069	0.27	0.41	+/- 0.11	K2O	0.50	0.116
Ca-K	0.4402	1.103	30.93	48.55	+/- 0.76	CaO	67.93	13.349
Fe-K	0.0268	1.272	1.56	3.40	+/- 0.66	Fe2O3	4.87	0.672
S-K	0.0080	1.434	0.92	1.15	+/- 0.12	SO3	2.88	0.397
Cl-K	0.0011	1.324	0.11	0.15	+/- 0.10	Cl	0.15	0.047
Ti-K	0.0003	1.539	0.03	0.05	+/- 0.15	TiO2	0.08	0.011
O-K	---	11.763	55.61	34.84	S	---	---	---
Total			100.00	100.00			100.00	19.161

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms  
Table Symbols: S -- Wt.% calculated by Stoichiometry

Figura 54 – Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar N3 sentido oeste.

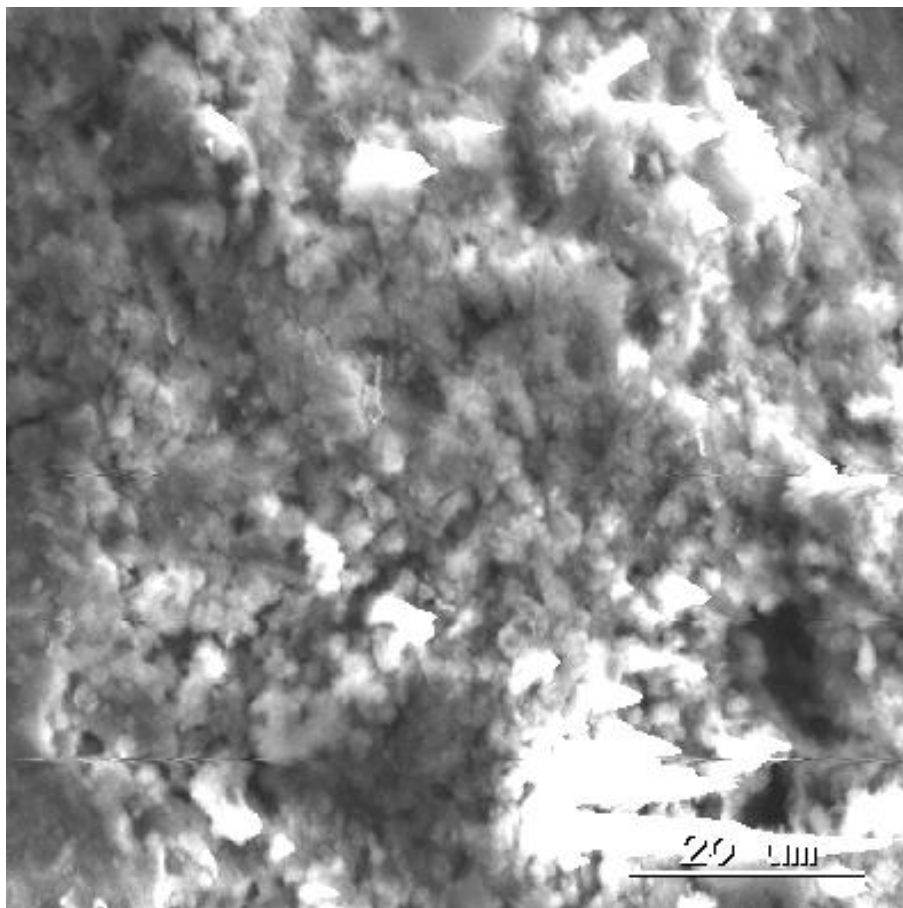


Figura 55 – Microestrutura típica do concreto via MEV na amostra do pilar N3 sentido oeste.

O percentual de cloreto total medido foi de 0,11%, expresso sobre o peso de concreto, cujo valor é superior ao referenciado como padrão (no caso 0,05%), acordo normalização Europeia (CEB), e comumente, via de regra endossado pela comunidade técnica, como índice referencial. Tal situação, pode estar relacionada com os reduzidos valores de cobertura de armaduras registrados no local, contrariando frontalmente o que é especificado pela normalização ABNT, em particular a NBR 6118 (ABNT, 2007).

A microestrutura típica observada na amostra analisada (pilar N3), apresenta cristais de etringitas, portlanditas e placas lamelares de hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>).

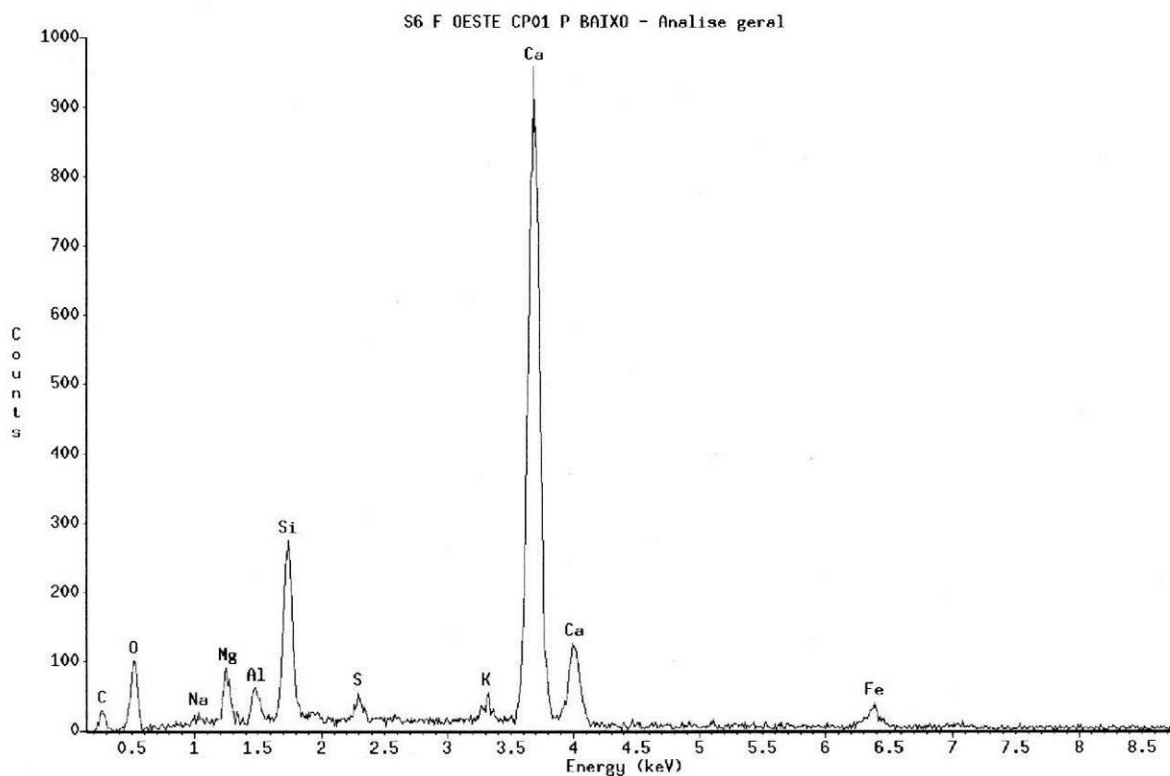
As figuras 56, 57 e 58 referem-se aos ensaios e testemunho de concreto extraído do pilar S06, sentido Vila Velha face oeste na parte de baixo. A extração da presente amostras foi realizada em 21/11/2011. O local da extração representa concreto original, isento de ações de recuperação e manutenção preventiva e corretivas, situados em áreas com respingos de maré, e que não apresentava qualquer indício de manifestações patológicas.

Neste local o cobrimento médio das armaduras, foi de 34,25 mm, com valores individuais de 36, 32, 33 e 36 mm, e registro de profundidade de carbonatação da ordem de 21 mm (medição realizada imediatamente após a extração). Inspeção visual realizada neste local não sinalizou ou sequer identificou as manifestações patológicas de quaisquer natureza. O percentual de cloretos avaliado foi de 0,042%, expresso sobre o peso de concreto. O teor de cloretos presentes é muito baixo, e em função da frente de carbonatação se localizar a 21 mm, longe do alinhamento das armaduras ali existentes, sinaliza uma justificativa para a não ocorrência, em tempo, de qualquer patologia.



Figura 56 – Testemunhos de concreto do Pilar S6, sentido cidade de Vila Velha, face oeste.





S6 F OESTE CP01 P BAIXO - Analise geral

Chi-sqd = 1.50 Livetime = 30.0 Sec.  
Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 25 kV Take-off Angle=28.00 deg  
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Na-K	0.0018	4.963	0.96	0.89	+/- 0.26	Na2O	1.21	0.414
Mg-K	0.0121	3.188	3.91	3.85	+/- 0.31	MgO	6.38	1.685
Al-K	0.0085	2.486	1.94	2.12	+/- 0.15	Al2O3	4.01	0.837
Si-K	0.0525	1.890	8.74	9.93	+/- 0.19	SiO2	21.24	3.766
K-K	0.0096	1.110	0.67	1.06	+/- 0.10	K2O	1.28	0.289
Ca-K	0.3692	1.128	25.68	41.63	+/- 0.39	CaO	58.25	11.063
Fe-K	0.0252	1.261	1.41	3.18	+/- 0.27	Fe2O3	4.54	0.606
S-K	0.0079	1.500	0.91	1.18	+/- 0.11	SO3	2.95	0.392
Cl-K	0.0004	1.378	0.04	0.05	+/- 0.09	Cl	0.05	0.016
Ii-K	0.0004	1.503	0.03	0.06	+/- 0.11	IiO2	0.10	0.013
O-K	---	11.241	55.71	36.05 S	---	---	---	---
Total			100.00	100.00			100.00	19.083

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms  
Table Symbols: S -- Wt.% calculated by Stoichiometry

Figura 57- Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar 06, sentido Vila Velha, face oeste.

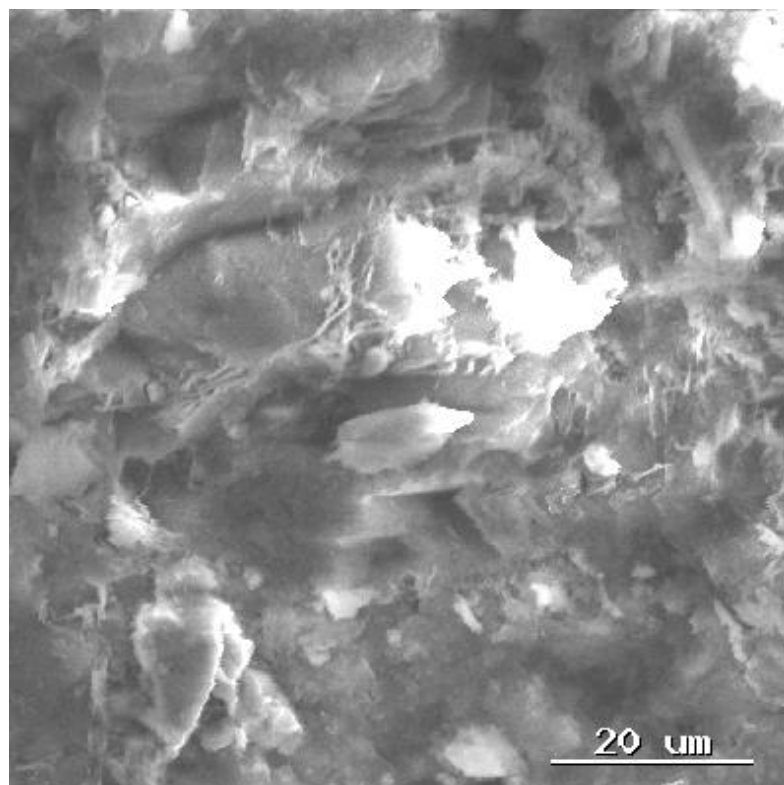
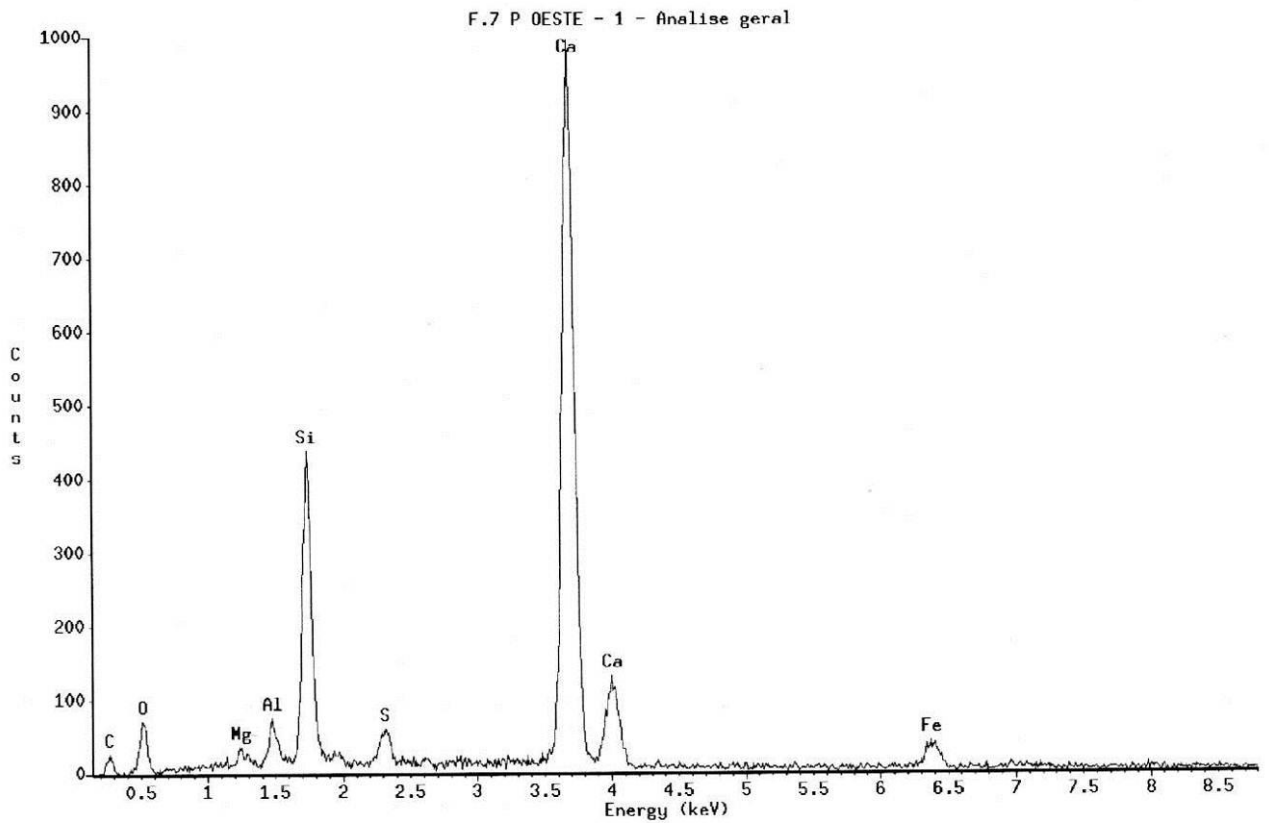


Figura 58 – Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar 06, sentido Vila Velha, face oeste.

A microestrutura típica observada na amostra analisa (pilar S6), apresenta cristais de etringitas, portlanditas e placas lamelares de hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), em estruturação mais compacta que a amostra representativa do pilar N03.

O terceiro o ensaio foi realizado no corpo de prova extraído do pilar P7 na face oeste, na data de 12/12/2008, em coordenadas (159;1200), de local em bom estado que igualmente não sofreu nenhum tipo de intervenção, portanto representante legítimo de concreto original.

Neste local o cobrimento médio das armaduras, foi de 29,25 mm, com valores individuais de 25, 27, 31 e 34 mm, e registro de profundidade de carbonatação da ordem de 5 mm. O percentual de cloretos avaliado foi de 0,14%, expresso sobre o peso de concreto (vide Figura 57).



F.7 P OESTE - 1 - Analise geral

Chi-sqd = 1.39    Livetime = 30.0 Sec.  
Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 25 kV Take-off Angle=28.00 deg  
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Na-K	0.0001	5.003	0.04	0.04	+/- 0.21	Na2O	0.06	0.018
Mg-K	0.0035	3.154	1.11	1.10	+/- 0.15	MgO	1.82	0.458
Al-K	0.0091	2.324	1.91	2.11	+/- 0.14	Al2O3	3.98	0.791
Si-K	0.0730	1.792	11.38	13.08	+/- 0.29	SiO2	27.99	4.719
K -K	0.0002	1.131	0.01	0.02	+/- 0.08	K2O	0.02	0.005
Ca-K	0.3578	1.131	24.68	40.48	+/- 0.54	CaO	56.64	10.233
Fe-K	0.0249	1.261	1.38	3.14	+/- 0.44	Fe2O3	4.49	0.570
S -K	0.0126	1.523	1.46	1.92	+/- 0.11	SO3	4.78	0.605
Cl-K	0.0015	1.410	0.14	0.21	+/- 0.08	Cl	0.21	0.060
Ti-K	0.0000	1.536	0.00	0.00	+/- 0.00	TiO2	0.00	0.000
O -K	---	10.843	57.89	37.90 S	---	---	---	---
Total			100.00	100.00			100.00	17.460

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms  
Table Symbols: S -- Wt.% calculated by Stoichiometry

Figura 59- Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar 7, sentido oeste.

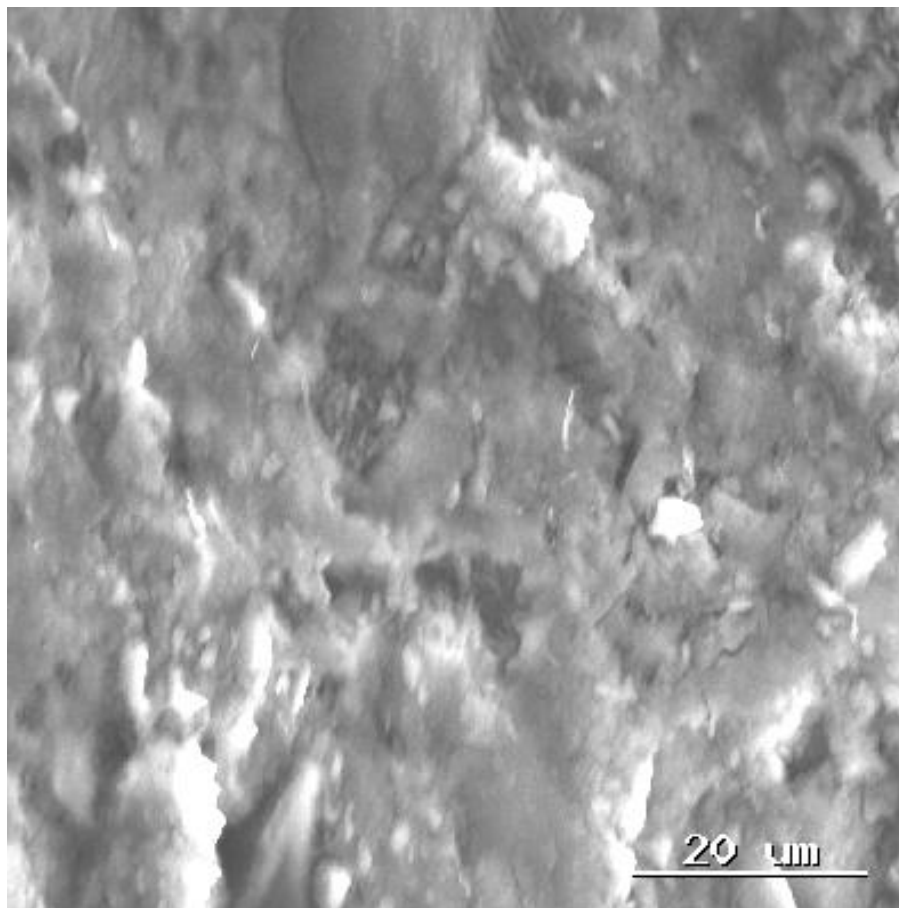
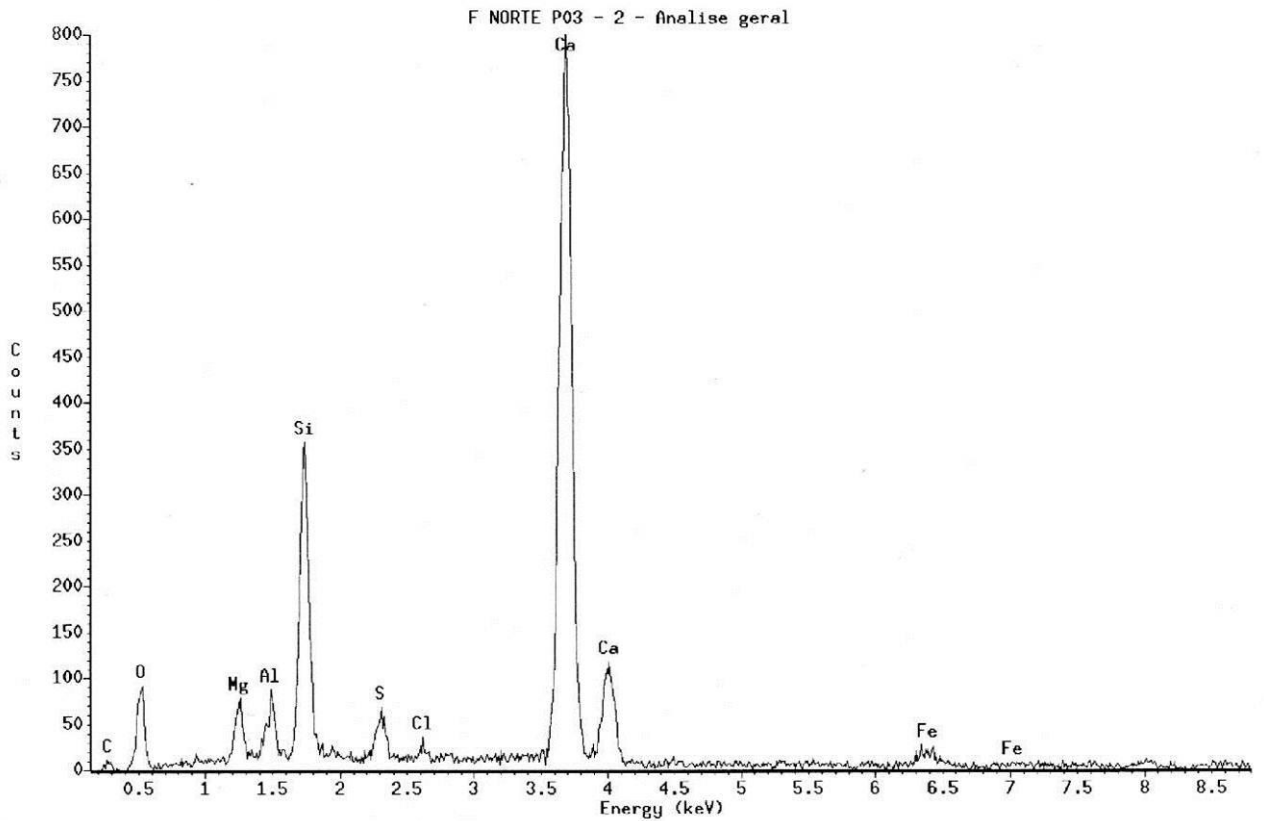


Figura 60– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar 7 sentido oeste.

A microestrutura típica (vide Figura 60) observada na amostra analisada (pilar 7), apresenta cristais de etringitas, portlanditas e placas lamelares de hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), em estruturação não tão compacta.

O quarto ensaio foi realizado no testemunho extraído do pilar P03 na face norte, localizado na parte do meio, e não apresentava patologias visíveis. O percentual de cloretos totais foi de 0,31 %. Na Figura 58 é apresentado o espectro via MEV e na Figura 59 a microestrutura típica do concreto.



F NORTE P03 - 2 - Analise geral

Chi-sqd = 1.33    Livetime = 30.0 Sec.  
Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 25 kV Take-off Angle=28.00 deg  
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Na-K	0.0002	4.805	0.09	0.09	+/- 0.23	Na2O	0.12	0.038
Mg-K	0.0119	3.042	3.58	3.62	+/- 0.19	MgO	6.00	1.489
Al-K	0.0114	2.382	2.42	2.72	+/- 0.16	Al2O3	5.13	1.007
Si-K	0.0678	1.851	10.73	12.55	+/- 0.31	SiO2	26.85	4.468
K-K	0.0000	1.091	0.00	0.00	+/- 0.00	K2O	0.00	0.000
Ca-K	0.3313	1.141	22.65	37.80	+/- 0.54	CaO	52.88	9.429
Fe-K	0.0151	1.259	0.82	1.90	+/- 0.24	Fe2O3	2.72	0.340
S-K	0.0135	1.543	1.56	2.08	+/- 0.12	SO3	5.19	0.648
Cl-K	0.0032	1.431	0.31	0.46	+/- 0.09	Cl	0.46	0.130
Ti-K	0.0026	1.485	0.20	0.39	+/- 0.11	TiO2	0.65	0.082
O-K	---	10.767	57.65	38.40 S	---	---	---	---
Total			100.00	100.00			100.00	17.630

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms  
Table Symbols: S -- Wt.% calculated by Stoichiometry

Figura 61- Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar 03 na face norte.

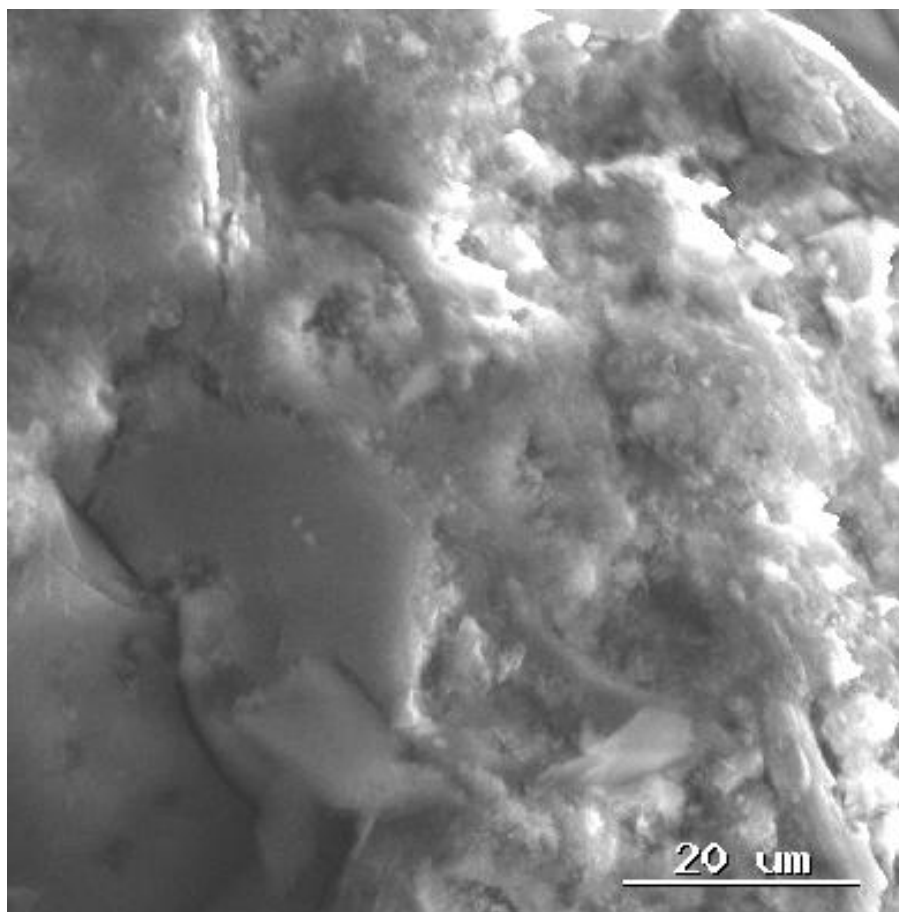
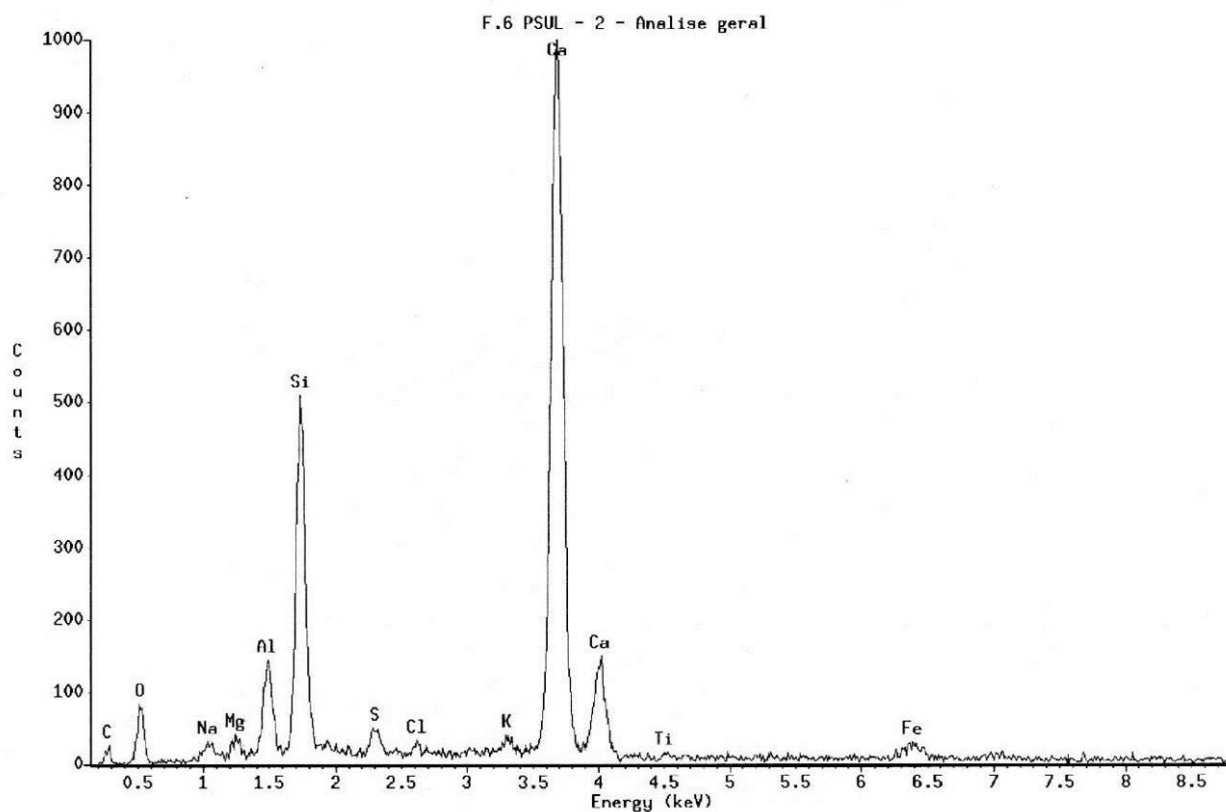


Figura 62 – Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar 03, face norte.

A quinta amostra extraída do F6, P Sul, no diagrama da Figura 61 sinalizou teores de cloretos da ordem de 0,23 % e a microestrutura de cristais de etringitas e portlanditas.

Nas Figuras 63 a 72 são apresentados outras avaliações, em locais (pilares e vigas) ditos originais, sem a presença de patologias visíveis, e que não sofreram intervenções de quaisquer naturezas, e cujos valores de cloretos totais presentes são superiores ao marco referencial (0,05%) e de microestrutura típica, às vezes compacta e homogênea e outras não. Fica assim constatado que apesar dos elevados índices de cloretos, os mesmos ainda não encontraram a armadura, em função do cobrimento das mesmas e, sobretudo pela densa matriz cimentícia ali existente.



F.6 PSUL - 2 - Analise geral

Chi-sqd = 1.38 Livetime = 30.0 Sec.  
Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 25 kV Take-off Angle=28.00 deg  
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Na-K	0.0042	4.735	2.08	2.00	+/- 0.29	Na2O	2.70	0.873
Mg-K	0.0037	3.122	1.13	1.15	+/- 0.15	MgO	1.91	0.474
Al-K	0.0193	2.309	3.94	4.45	+/- 0.14	Al2O3	8.41	1.652
Si-K	0.0736	1.870	11.71	13.77	+/- 0.28	SiO2	29.45	4.909
K-K	0.0049	1.157	0.35	0.57	+/- 0.08	K2O	0.68	0.146
Ca-K	0.3129	1.148	21.42	35.92	+/- 0.33	CaO	50.26	8.975
Fe-K	0.0159	1.255	0.85	1.99	+/- 0.22	Fe2O3	2.85	0.357
S-K	0.0073	1.579	0.86	1.16	+/- 0.09	SO3	2.89	0.361
Cl-K	0.0024	1.439	0.23	0.35	+/- 0.08	Cl	0.35	0.098
Ti-K	0.0021	1.474	0.15	0.30	+/- 0.10	TiO2	0.51	0.064
O-K	---	10.594	57.27	38.34	S	---	---	---
Total			100.00	100.00			100.00	17.908

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms  
Table Symbols: S -- Wt.% calculated by Stoichiometry

Figura 63- Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar 06 no sentido Sul.

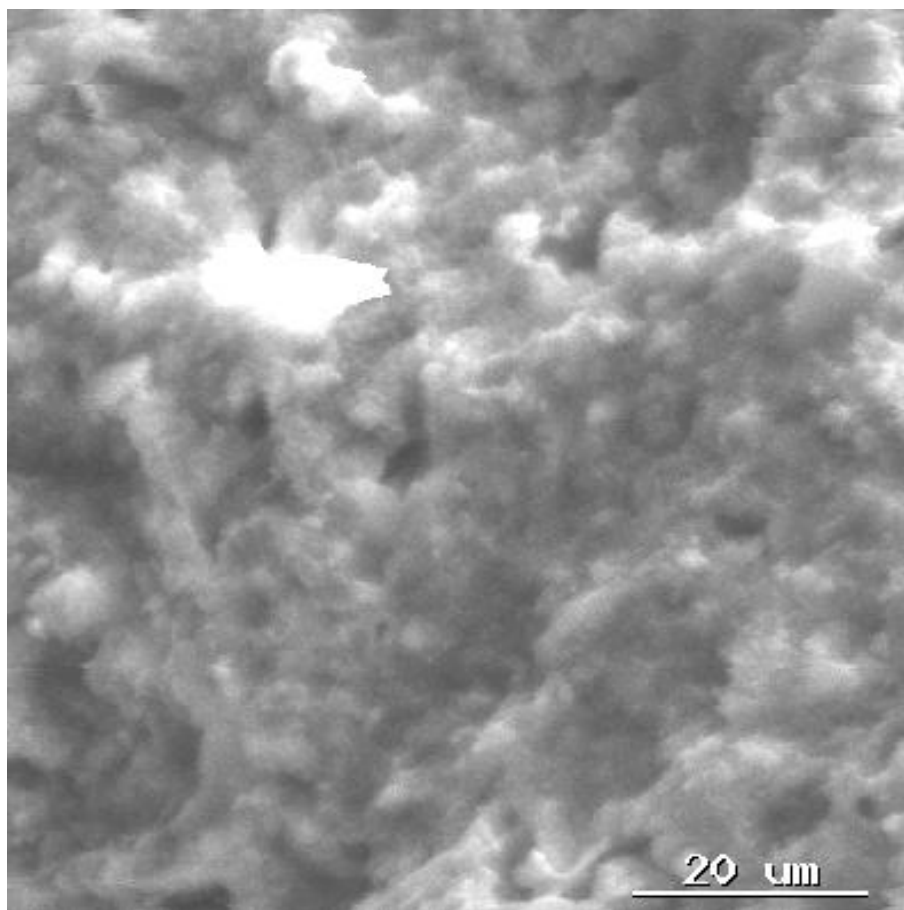
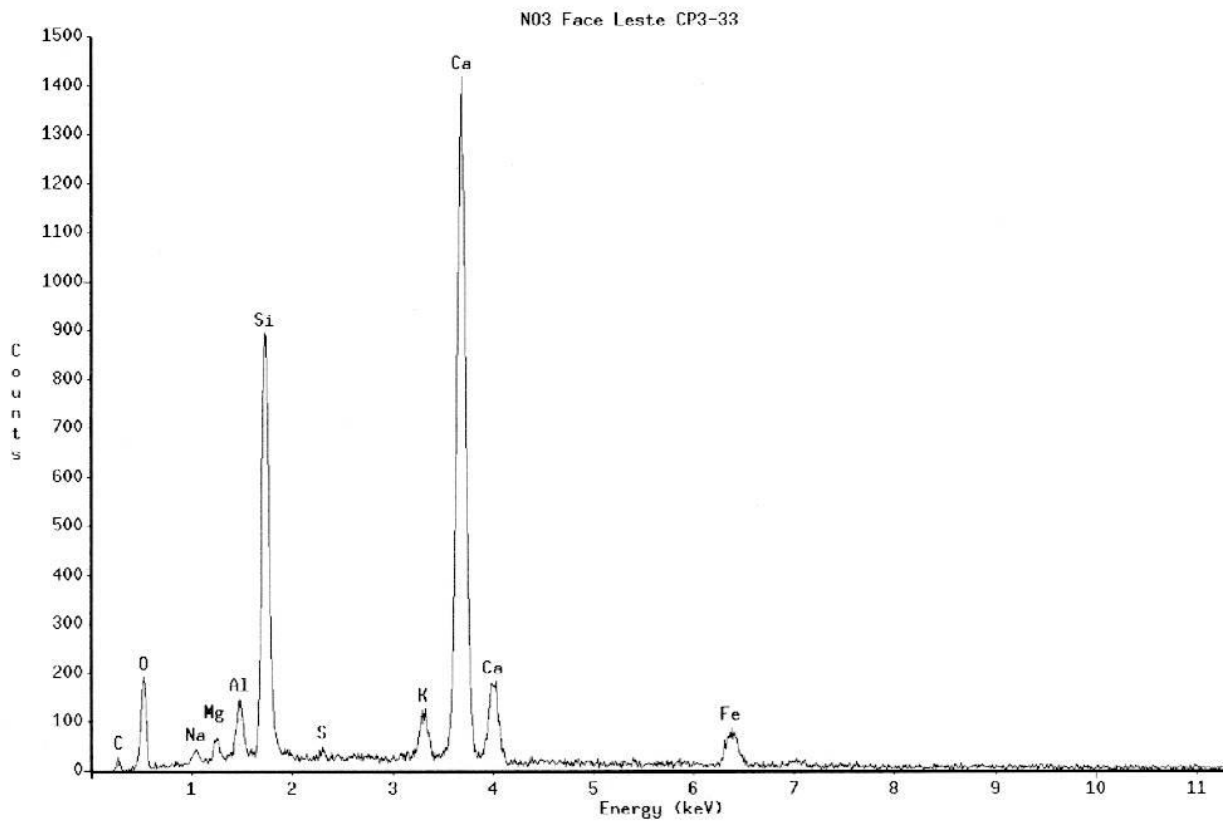


Figura 64– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar 06 no sentido sul, face leste.





N03 Face Leste CP3-33

"

Chi-sqd = 1.81 Livetime = 30.0 Sec.

Standardless Analysis

0

PROZA Correction Acc.Volt.= 25 kV Take-off Angle=28.00 deg  
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt %	Err. (1-Sigma)	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Mg-K	0.0041	3.178	1.29	1.30	1.30	+/- 0.11	MgO	2.16	0.534
Al-K	0.0104	2.351	2.17	2.44	2.44	+/- 0.11	Al2O3	4.61	0.900
Si-K	0.0923	1.826	14.38	16.87	16.87	+/- 0.17	SiO2	36.08	5.976
Cl-K	0.0003	1.454	0.03	0.05	0.05	+/- 0.06	Cl	0.05	0.013
K-K	0.0132	1.166	0.94	1.54	1.54	+/- 0.17	K2O	1.86	0.393
Ca-K	0.2844	1.158	19.69	32.94	32.94	+/- 0.38	CaO	46.09	8.180
Fe-K	0.0348	1.247	1.86	4.34	4.34	+/- 0.33	Fe2O3	6.20	0.773
S-K	0.0015	1.625	0.19	0.25	0.25	+/- 0.07	SO3	0.63	0.078
Ti-K	0.0009	1.454	0.07	0.14	0.14	+/- 0.08	TiO2	0.23	0.029
Na-K	0.0032	4.875	1.62	1.55	1.55	+/- 0.16	Na2O	2.09	0.672
O-K	---	9.993	57.76	38.58	S	---	---	---	---
Total			100.00	100.00				100.00	17.548

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms  
Table Symbols: S -- Wt.% calculated by Stoichiometry

FIGURA 65– Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar N3, face leste, sentido Norte.

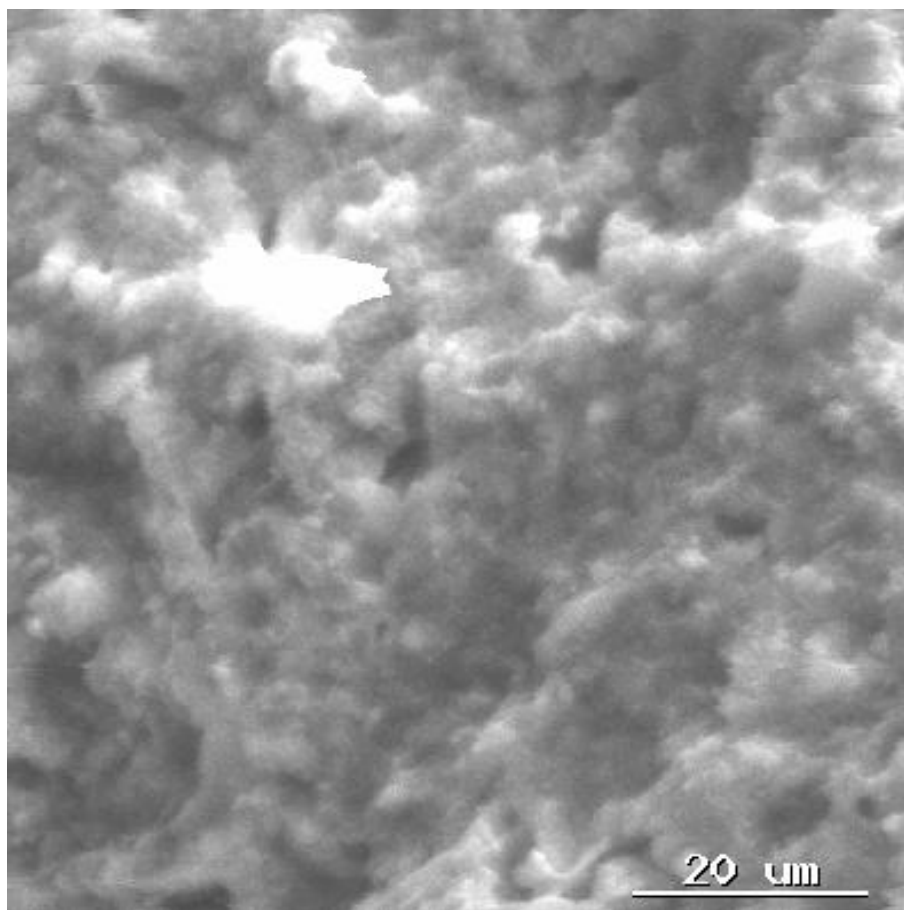
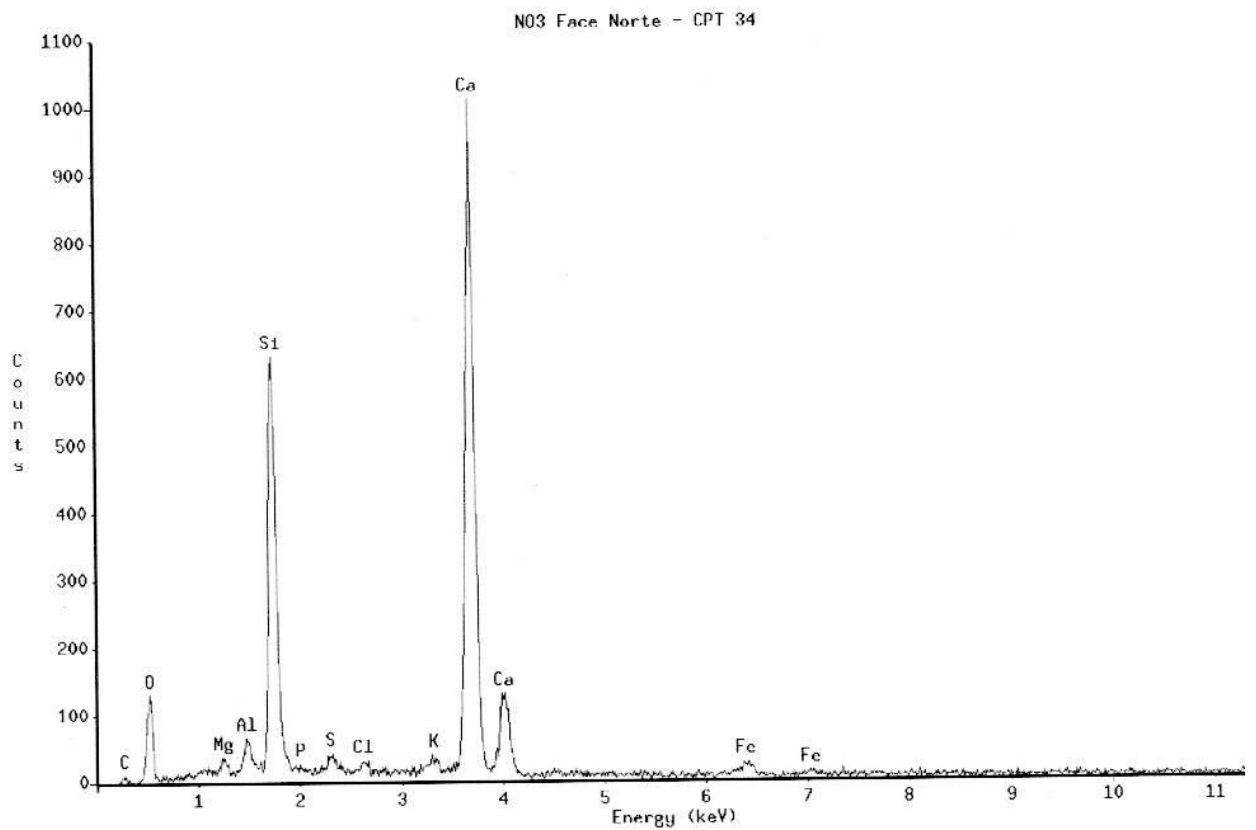


Figura 66– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar N3, face leste, sentido Norte.



N03 Face Norte - CPI 34

Chi-sqd = 1.39 Livetime = 30.0 Sec.  
Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 25 kV Take-off Angle=28.00 deg  
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZNF	Atom %	Element	Wt %	Err. (1-Sigma)	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Mg-K	0.0027	3.021	0.81	0.82	+/- 0.13	MgO	1.37	0.329	
Al-K	0.0074	2.226	1.46	1.65	+/- 0.12	Al2O3	3.12	0.595	
Si-K	0.1053	1.721	15.36	18.13	+/- 0.21	SiO2	38.78	6.271	
Cl-K	0.0036	1.455	0.36	0.53	+/- 0.08	Cl	0.53	0.145	
K-K	0.0046	1.170	0.33	0.54	+/- 0.08	K2O	0.65	0.133	
Ca-K	0.3100	1.157	21.30	35.87	+/- 0.48	CaO	50.18	8.694	
Fe-K	0.0145	1.258	0.78	1.83	+/- 0.21	Fe2O3	2.61	0.318	
S-K	0.0062	1.604	0.74	1.00	+/- 0.17	SO3	2.50	0.304	
P-K	0.0006	2.019	0.09	0.11	+/- 0.10	P2O5	0.26	0.035	
O-K	---	10.327	58.79	39.52 S	---	---	---	---	
Total			100.00	100.00			100.00	16.824	

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms  
Table Symbols: S -- Wt.% calculated by Stoichiometry

Figura 67- Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar N3, face norte, sentido Norte.

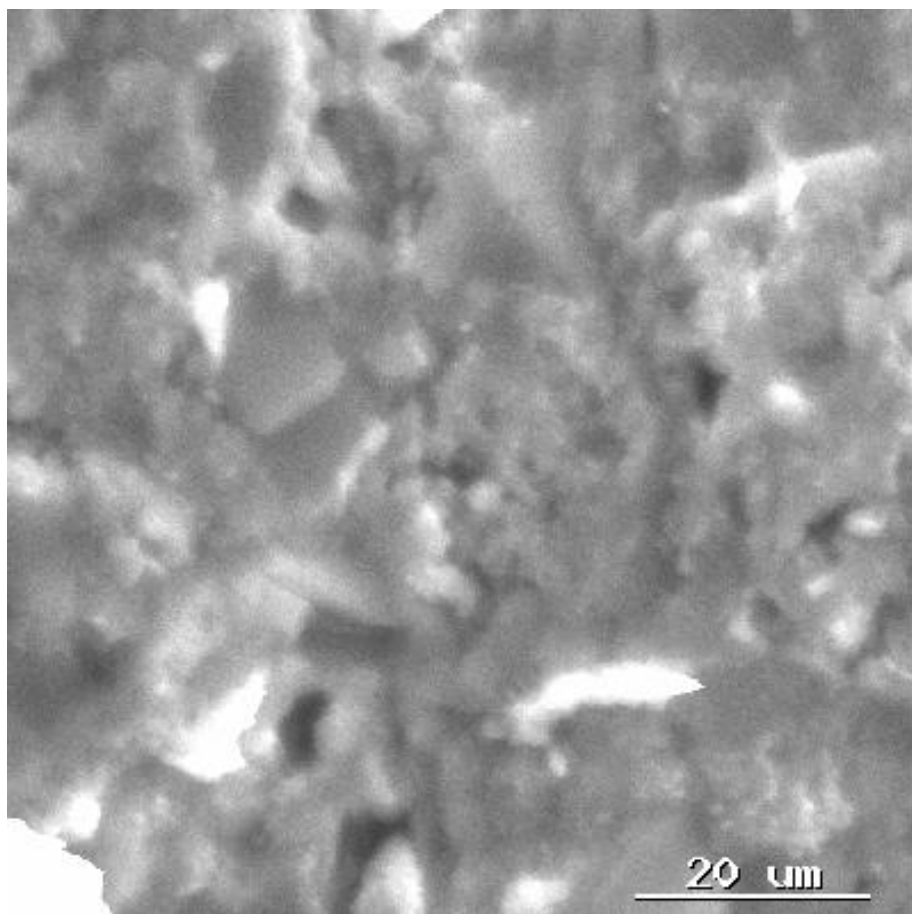
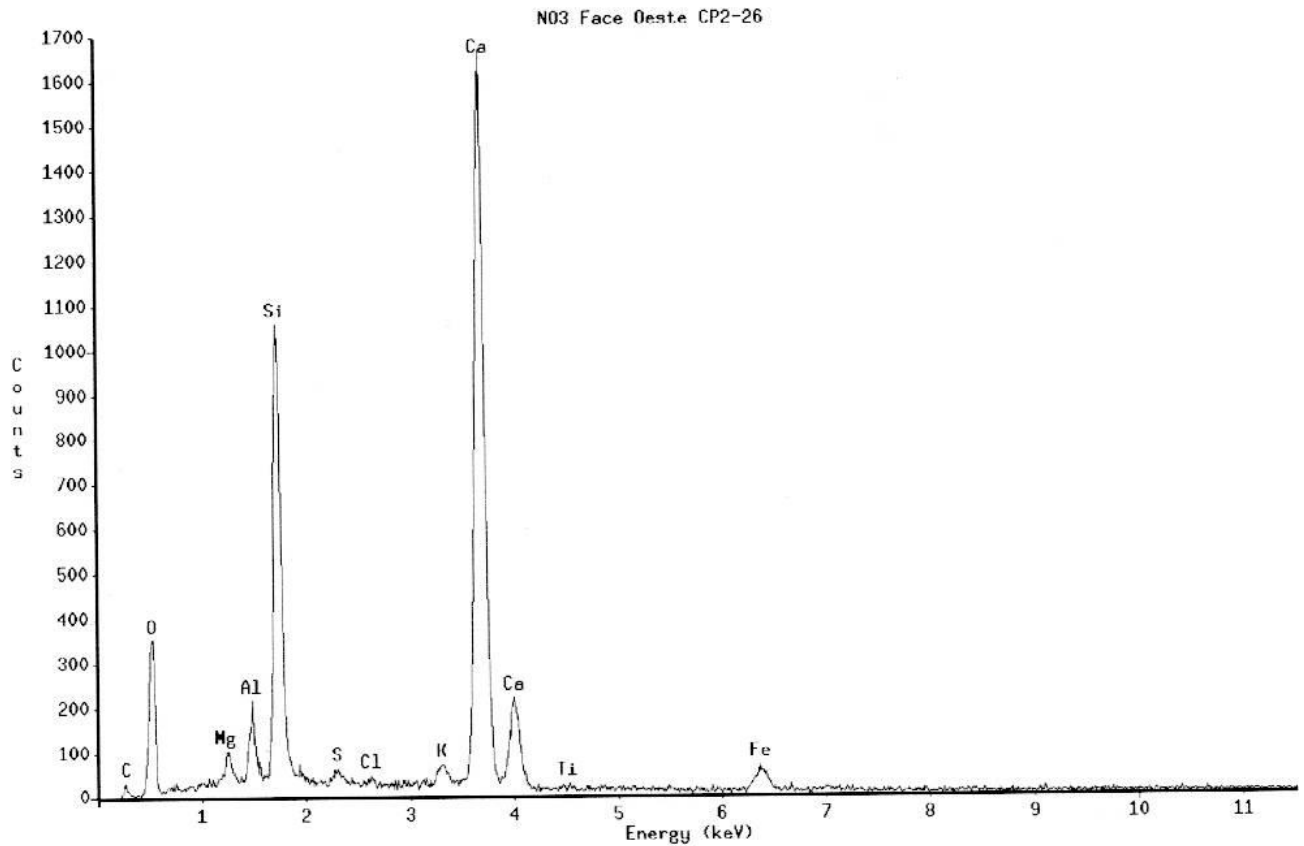


Figura 68– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar N3, face norte, sentido Norte.



N03 Face Oeste CP2-26

Chi-sqd = 0.99    Livetime = 30.0 Sec.  
Standardless Analysis

PROZA Correction    Acc.Volt.= 25 kV    Take-off Angle=28.00 deg  
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Mg-K	0.0060	3.035	1.79	1.83	+/- 0.11	MgO	3.03	0.737
Al-K	0.0112	2.286	2.25	2.55	+/- 0.10	Al2O3	4.82	0.927
Si-K	0.0937	1.789	14.24	16.78	+/- 0.16	SiO2	35.89	5.852
Cl-K	0.0013	1.451	0.13	0.19	+/- 0.06	Cl	0.19	0.054
K-K	0.0065	1.163	0.46	0.75	+/- 0.06	K2O	0.91	0.189
Ca-K	0.3054	1.153	20.96	35.23	+/- 0.37	CaO	49.29	8.611
Fe-K	0.0192	1.255	1.03	2.41	+/- 0.28	Fe2O3	3.44	0.422
S-K	0.0048	1.605	0.57	0.77	+/- 0.12	SO3	1.93	0.236
Ti-K	0.0020	1.472	0.15	0.30	+/- 0.07	TiO2	0.50	0.061
O-K	---	10.332	58.41	39.19	---	---	---	---
Total			100.00	100.00			100.00	17.089

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms  
Table Symbols: S -- Wt.% calculated by Stoichiometry

Figura 69– Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar N3, face oeste, sentido Norte.

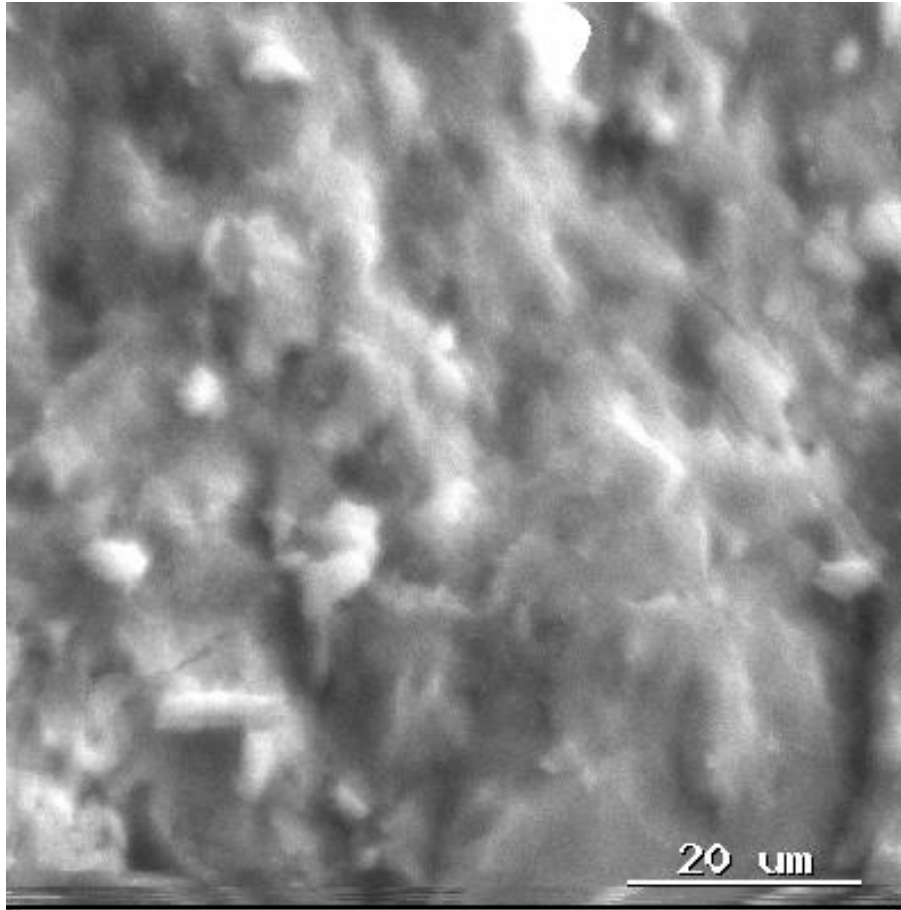
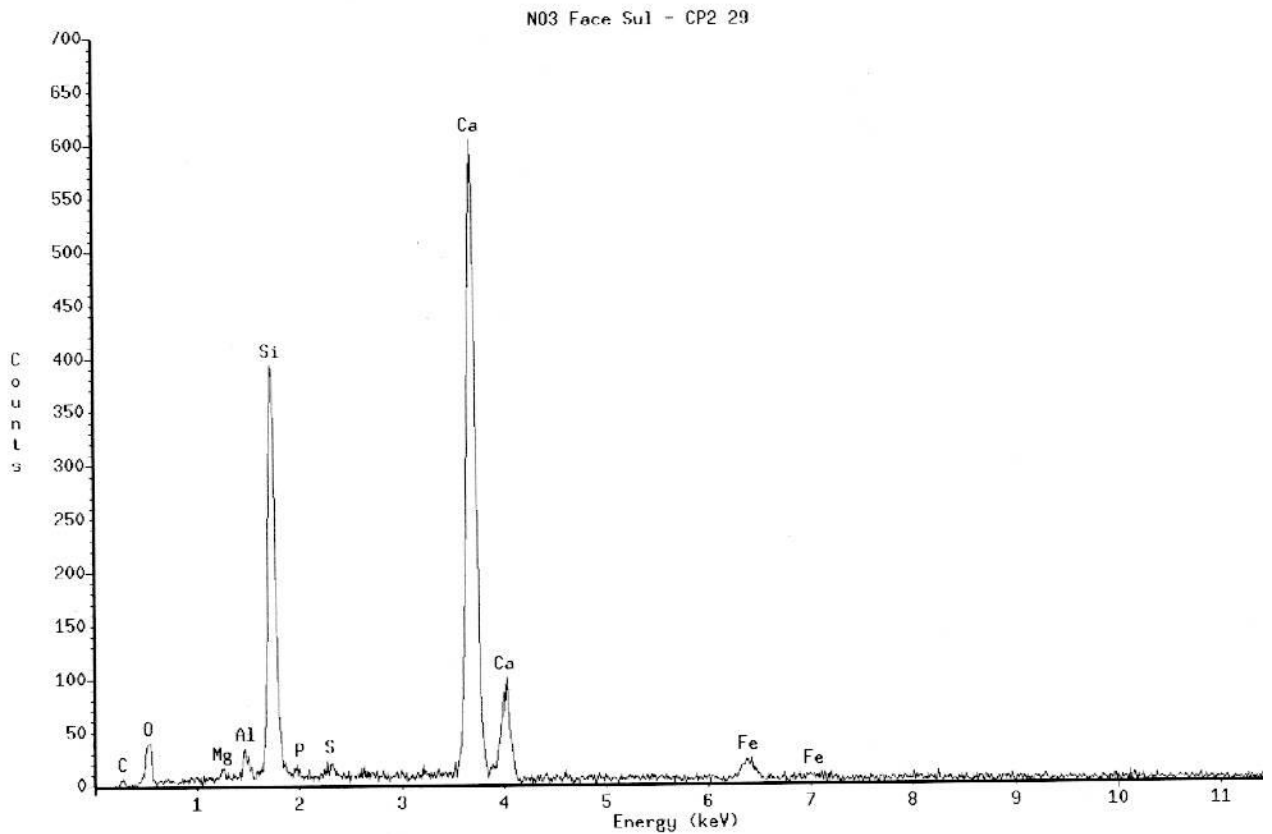


Figura 70– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar N3, face oeste, sentido Norte.



N03 Face Sul - CP2 29

Chi-sqd = 1.12    Livetime = 30.0 Sec.  
Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 25 kV Take-off Angle=28.00 deg  
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Mg-K	0.0017	3.105	0.52	0.53	+/- 0.13	MgO	0.88	0.213
Al-K	0.0046	2.263	0.93	1.05	+/- 0.13	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.98	0.381
Si-K	0.1039	1.721	15.30	17.88	+/- 0.26	SiO <sub>2</sub>	38.25	6.249
Cl-K	0.0014	1.443	0.13	0.20	+/- 0.09	Cl	0.20	0.055
K-K	0.0000	1.104	0.00	0.00	+/- 0.00	K <sub>2</sub> O	0.00	0.000
Ca-K	0.3260	1.143	22.34	37.25	+/- 0.41	CaO	52.13	9.125
Fe-K	0.0247	1.257	1.33	3.10	+/- 0.29	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.43	0.545
S-K	0.0040	1.599	0.48	0.64	+/- 0.11	SO <sub>3</sub>	1.60	0.196
P-K	0.0012	2.009	0.18	0.24	+/- 0.12	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.54	0.075
O-K	---	10.335	58.77	39.12 S	---	---	---	---
Total			100.00	100.00			100.00	16.839

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms  
Table Symbols: S -- Wt.% calculated by Stoichiometry

Figura 71- Diagrama do ensaio de EDS, realizada no pilar N3, face sul, sentido Norte.

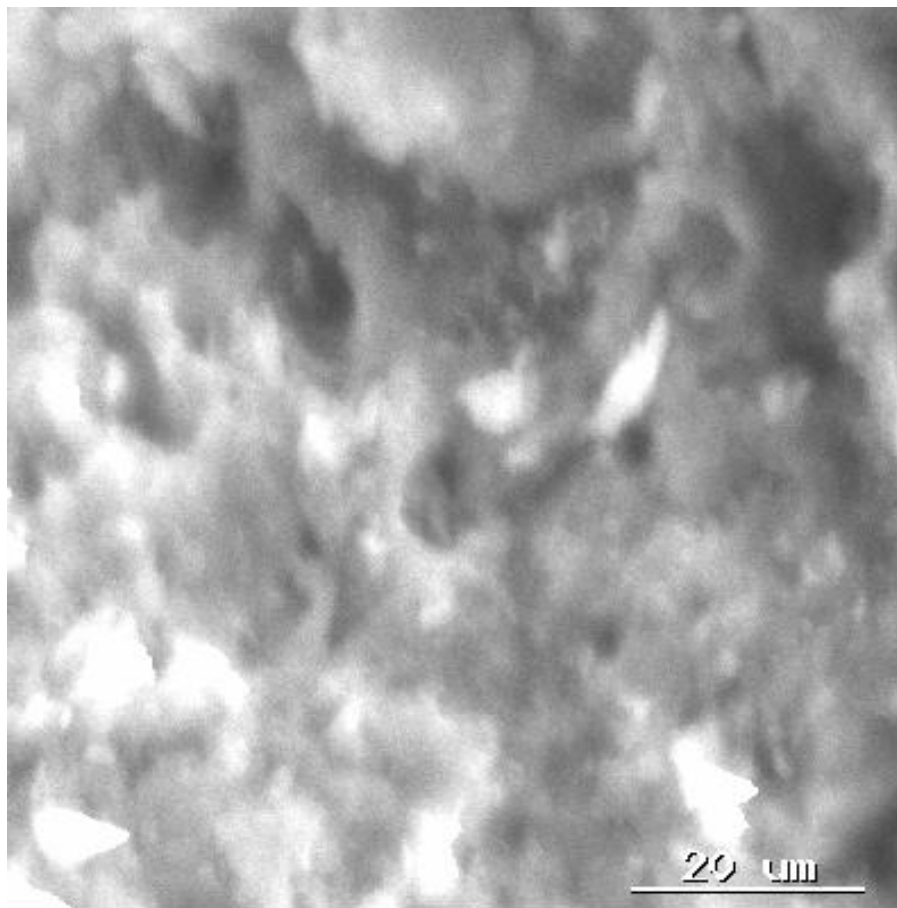
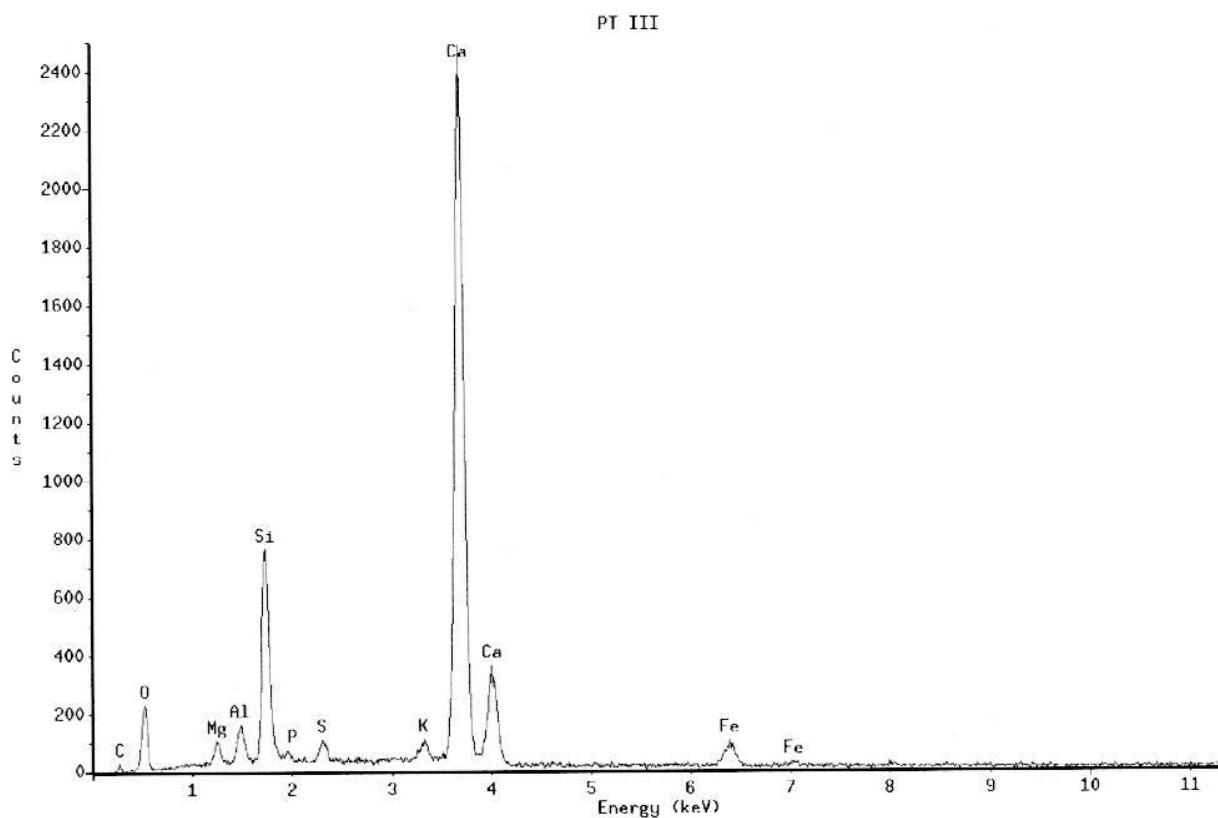


Figura 72– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto no pilar N3, face sul, sentido Norte.

Nas Figuras 73 até 76 são apresentados testes realizados nas barreiras, vulgo guarda rodas, com ênfase na identificação do teor de cloretos presentes na microestrutura do concreto, bem como de avaliação do potencial eletroquímico registrado no local. Todas as peças analisadas representam zonas onde o concreto foi recuperado, e em algum, após recuperação já sinaliza a existência de patologias visíveis a olho nu.





PT III

Chi-sqd = 1.18    Livetime = 30.0 Sec.  
Standardless Analysis  
00

PROZA Correction    Acc.Volt.= 25 kV    Take-off Angle=28.00 deg  
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Mg-K	0.0055	3.188	1.80	1.76	+/- 0.10	MgO	2.91	0.767
Al-K	0.0093	2.378	2.05	2.22	+/- 0.09	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.19	0.874
Si-K	0.0586	1.826	9.51	10.70	+/- 0.18	SiO <sub>2</sub>	22.90	4.048
Cl-K	0.0007	1.365	0.07	0.10	+/- 0.05	Cl	0.10	0.030
K-K	0.0081	1.101	0.57	0.89	+/- 0.06	K <sub>2</sub> O	1.07	0.241
Ca-K	0.3902	1.122	27.27	43.80	+/- 0.38	CaO	61.28	11.608
Fe-K	0.0251	1.265	1.42	3.18	+/- 0.29	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.54	0.605
S-K	0.0076	1.487	0.88	1.13	+/- 0.06	SO <sub>3</sub>	2.82	0.375
P-K	0.0004	1.848	0.06	0.08	+/- 0.07	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.18	0.027
O-K	---	11.348	56.37	36.15 S	---	---	---	---
Total			100.00	100.00			100.00	18.575

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms  
Table Symbols: S -- Wt.% calculated by Stoichiometry

Figura 73– Diagrama do ensaio de EDS, realizada nas barreiras onde foram realizados os ensaios de potencial, ensaio III.

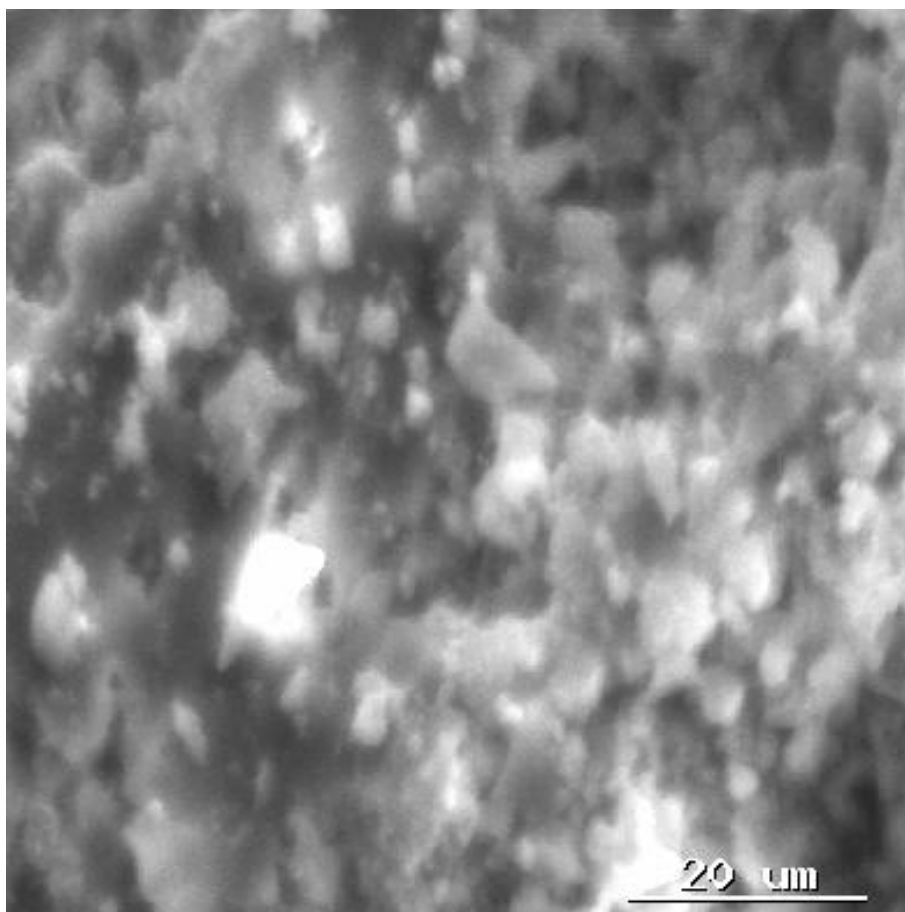
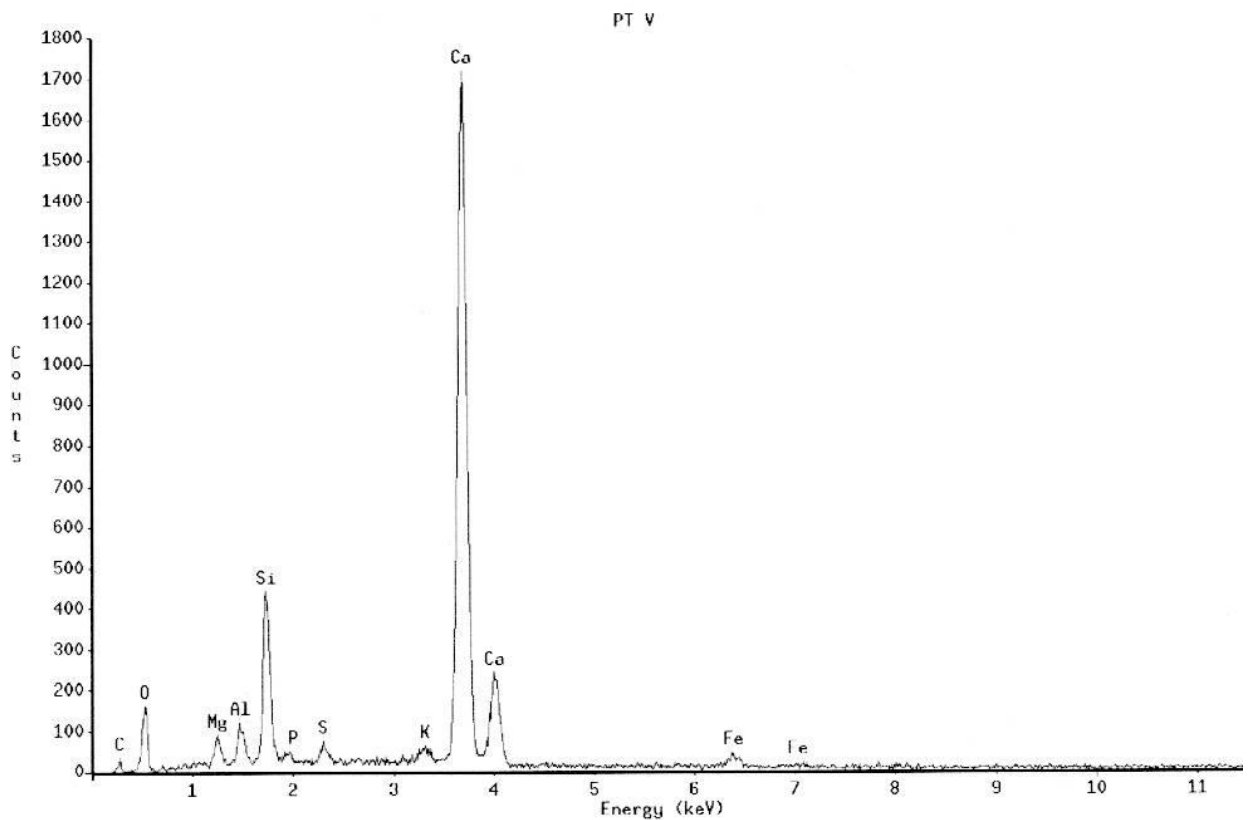


Figura 74– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto na barreira rígida onde foram realizados os ensaios de potencial, ensaio III.



PT V

Chi-sqd = 1.33 Livetime = 30.0 Sec.  
Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 25 kV Take-off Angle=28.00 deg  
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZNF	Atom %	Element Wt %	Wt % (1-Sigma)	Err.	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Mg-K	0.0077	3.167	2.53	2.44	+/- 0.13		MgO	4.05	1.094
Al-K	0.0100	2.399	2.23	2.39	+/- 0.11		Al2O3	4.51	0.964
Si-K	0.0475	1.843	7.84	8.75	+/- 0.22		SiO2	18.71	3.394
Cl-K	0.0016	1.338	0.15	0.21	+/- 0.07		Cl	0.21	0.065
K-K	0.0063	1.082	0.44	0.68	+/- 0.07		K2O	0.82	0.189
Ca-K	0.4232	1.112	29.55	47.07	+/- 0.34		CaO	65.87	12.797
Fe-K	0.0162	1.272	0.93	2.06	+/- 0.19		Fe2O3	2.94	0.401
S-K	0.0078	1.452	0.88	1.13	+/- 0.14		SO3	2.81	0.383
P-K	0.0002	1.797	0.03	0.04	+/- 0.08		P2O5	0.08	0.012
O-K	---	11.818	55.43	35.24	S	---	---	---	---
Total			100.00	100.00				100.00	19.299

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms  
Table Symbols: S -- Wt.% calculated by Steichiometry

Figura 75– Diagrama do ensaio de EDS, realizada nas barreias onde foram realizados os ensaios de potencial, ensaio V.

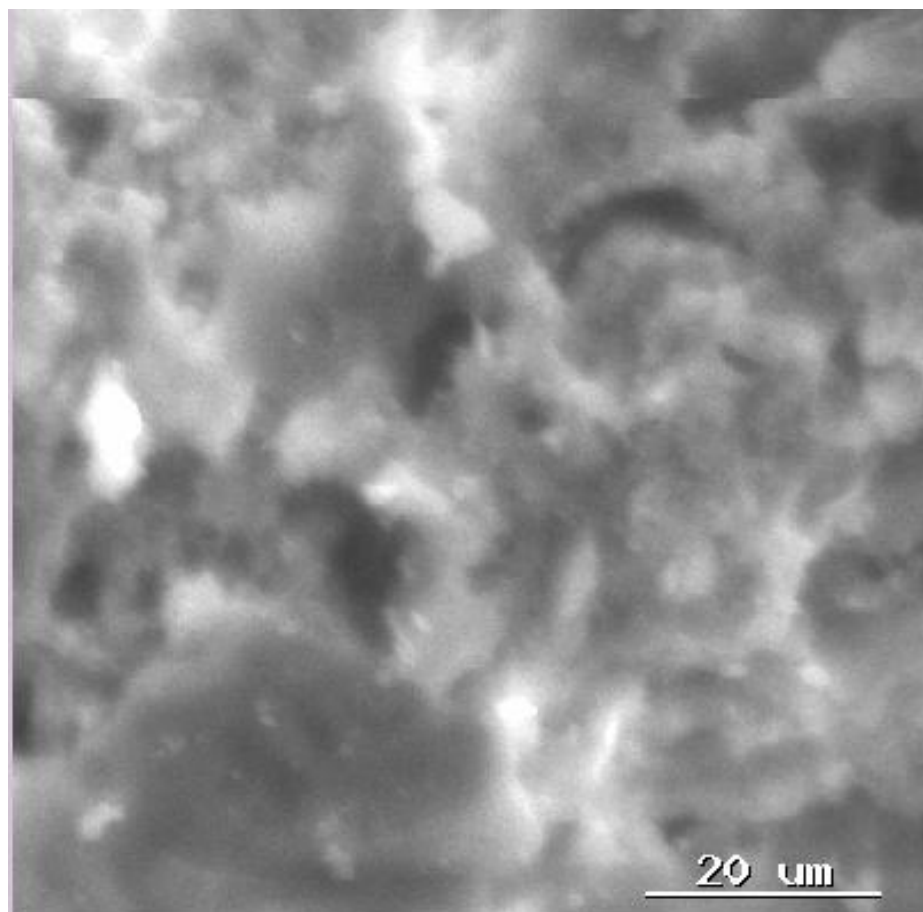


Figura 76– Microestrutura típica obtida via MEV do concreto na barreira rígida onde foram realizados os ensaios de potencial, ensaio V.

Análise cuidadosa dos espectros via MEV, indicam a presença de percentuais do elemento cálcio, superior àqueles registrados nos concretos originais. Tal fato decorre do sistema de pintura adotado na manutenção preventiva realizada, que recomendou a imprimação de cristalizante (produto Xypex Concentrado do fabricante MC Bauchemie) e produto à base de silicatos de cálcio (produto reparo mineral do fabricante Hagen do Brasil). Em todos os locais foram observados teores de cloretos superiores ao valor dito referência, tendo sido registrado um valor médio da ordem de 0,11%, valor que pode ser considerado um pouco elevado.

#### **4.6.5. Permeabilidade**

Testes realizados no ano de 2001, que serviram de marco zero e referência para estudos posteriores, indicaram resultados constantes na Tabela 8.

A citada tabela representa a média aritmética simples de mais de 30 (trinta) leituras realizadas aleatoriamente em diferentes peças (blocos, vigas e pilares) da ponte, tanto no lado Vitória quanto da cidade de Vila Velha.

Tabela 8 – Testes de Permeabilidade realizados nos elementos estruturais

<b>ELEMENTO</b>	<b>PERMEABILIDADE via fluxo de água passante expresso em mm/s</b>
Blocos	$2,64 \times 10^{-4}$
Pilares	$1,85 \times 10^{-4}$
Vigas Longarinas	$1,83 \times 10^{-4}$
Vigas Transversinas	$1,89 \times 10^{-4}$

Nesta inspeção foi possível constatar a presença de três diferentes zonas homogêneas, sendo:

- peças com fluxo de água passante da ordem de  $10^{-3}$  mm/s consideradas de baixa impermeabilidade;
- peças com fluxo de água passante da ordem de  $10^{-4}$  mm/s consideradas de média impermeabilidade;
- peças com fluxo de água passante da ordem de  $10^{-5}$  mm/s consideradas de boa impermeabilidade.

Tal situação foi propiciada pela construção diferenciada (diferentes formas, oriundas de outros concretos, de outros agregados e cimentos, etc), fato relacionado com o histórico construtivo da ponte.

Estes fatos sinalizam para a ocorrência de barreiras mais eficientes contra a entrada de deteriorantes no concreto (água contaminada, gases, etc) e assim geram diferentes comportamentos resistentes às peças.

#### **4.7. Análise geral dos resultados**

Durante o monitoramento das estruturas de concreto da 3ª Ponte de Vitória muitas análises e testes foram realizados nas estruturas nestes últimos 12 anos. Ações de manutenção preventiva e corretiva igualmente foram concretizadas como forma de prolongar a vida útil dessa OAE, que é constantemente ameaçada pela presença de agentes agressivos.

A partir dos ensaios realizados foi constatado que existe, via de regra, a presença de cloretos totais acima dos valores recomendados pela normalização vigente, bem como pelos pesquisadores, apesar de não haver, até a presente data, um consenso para os valores máximos admissíveis.

Em trabalhos finalizados pela comunidade técnica especializada mundial, foi constatado que não existe um valor limite máximo, dito de segurança ou referencial, de presença de cloretos totais nas estruturas de concreto armado.

Em resumo, a simples presença de cloretos acima dos valores recomendados pela literatura mundial, não induz pânico ou situações de sinistros e danos imediatos, apenas reforça a tese de uma ostensiva ação de monitoramento e acompanhamento das estruturas de concreto armado, fato que passa a ser filosoficamente recomendado para os gestores de estruturas de concreto e em especial de OAE.

No geral, os valores de cobrimento das armaduras mensurados pelo presente trabalho relativo a OAE 3ª Ponte Vitória, encontram-se abaixo do recomendado pela normalização vigente (NBR 6118:2007), indicando que a barreira física não é eficiente para a proteção das armaduras de concreto, fato que reforça e confirma a exigência normativa de 40 mm de cobrimento mínimo a ser adotada para esse ambiente.

Pode-se constatar que a avaliação da profundidade de carbonatação registrada nas diversas peças avaliadas (blocos, pilares e vigas) apresentaram valores considerados baixos, sem, ultrapassarem o alinhamento principal das armaduras.

Uma síntese dos resultados observados é apresentada na Figura 77, onde se pode visualizar que a grande maioria dos resultados encontra-se abaixo dos 14mm de carbonatação.

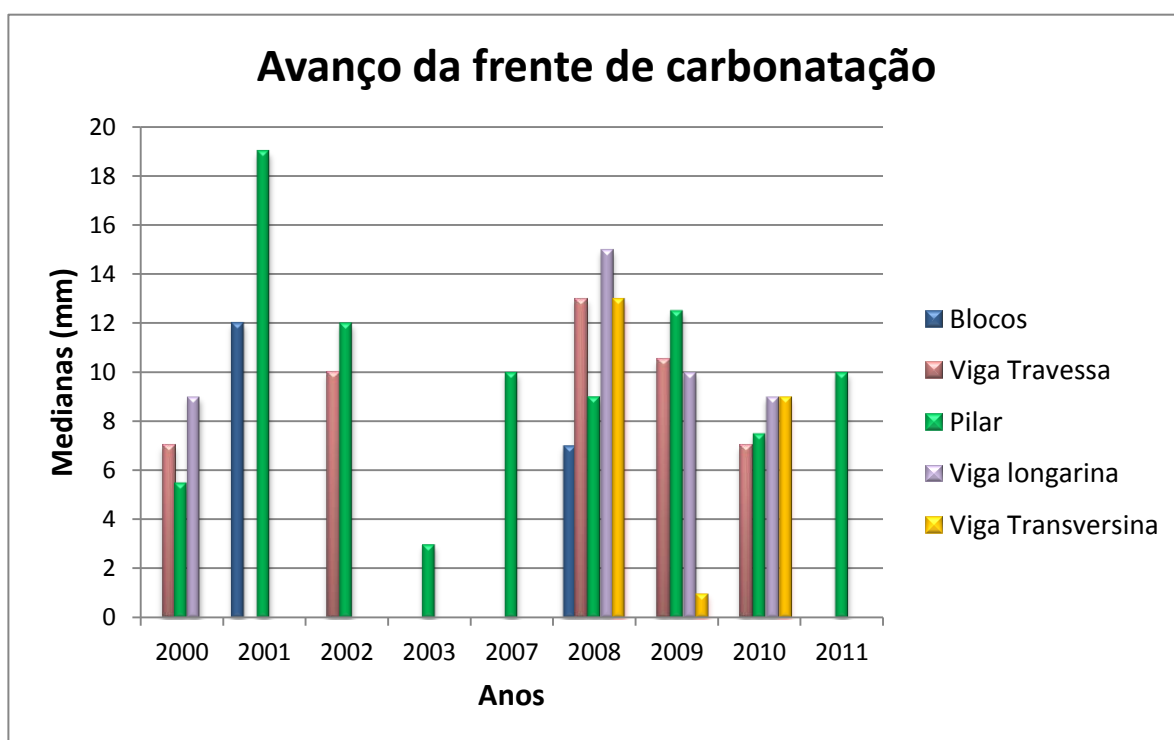


Figura 77– Avanço da frente de carbonatação entre 2000 a 2011.

No primeiro ano foram avaliadas as frentes de carbonatação do lado norte, referente à cidade de Vitória e no lado sul, cidade de Vila Velha. Naquela data a estrutura tinha 14 anos de idade. Já nos demais anos foram realizados testes nos pilares, vigas e blocos tanto no lado Norte quanto no lado Sul.

Observaram-se no geral os pilares e vigas foram às estruturas que sofreram um maior avanço da frente de carbonatação. Pico maior se deu em 2001 quando foi avaliada uma amostragem maior de estruturas do lado sul, cidade de Vila Velha, local onde era observada grande incidência de manifestações patológicas, influenciada igualmente pela existência de um microclima mais agressivo.

No ano de 2003, dado o baixo número de ensaios realizados não foi representativa a inspeção.

No ano 2007 foram ensaiados elementos inseridos no ambiente marinho e a mediana dos valores encontra-se nos 10 mm. Já no ano 2008 os elementos escolhidos encontram-se no meio urbano da cidade; entretanto se comparados resultados registrados no ano de 2001 e 2002, percebe-se que a evolução da carbonatação não foi tão relevante e acentuada, quando visualizado a variação entre o ano de 2000 a 2001.

Fato similar ao ocorrido entre 2008 e 2000, ocorre em 2009. Análise comparativa entre 2008 e 2009, identificam espectros de evolução baixos, baseados no pequeno intervalo de análise. No que tange as vigas transversinas em função do pequeno número de peças inspecionadas, a análise ficou comprometida.

Já entres anos de 2010 e 2011 não houve mudanças expressivas. É importante ressaltar que em 2011 as estruturas escolhidas para os supracitados ensaios consistem em elementos inseridos no ambiente marinho, representante de um meio extremamente agressivo, fato igualmente observado para o ano de 2007 e apresentando o mesmo valor (10m).

A Figura 78 faz um comparativo do avanço da frente de carbonatação em relação à medição dos cobrimentos, sendo apresentada a relação das medianas entre cobrimentos e carbonatação iniciando no ano de 2000, que corresponde ao início do monitoramento estrutural até o ano de 2011, considerados últimos ensaios até a presente data.

As medidas que os pontos se deslocam para a direita inferior, melhores são as condições de proteções, pois maiores são os cobrimentos e menores as medidas do avanço da frente de carbonatação.

Porém quanto mais à esquerda, próximo à linha das ordenadas, e na área superior do gráfico piores são os resultados, podendo até mesmo chegar à equiparação dos



valores de cobertura e carbonatação. Assim a carbonatação atinge o alinhamento principal das armaduras, diminuindo o pH do concreto e despассивando o aço.

Pode-se visualizar no gráfico que a situação verificada nas estruturas da 3ª Ponte Vitória é muito favorável ao quesito durabilidade e vida útil da OAE.

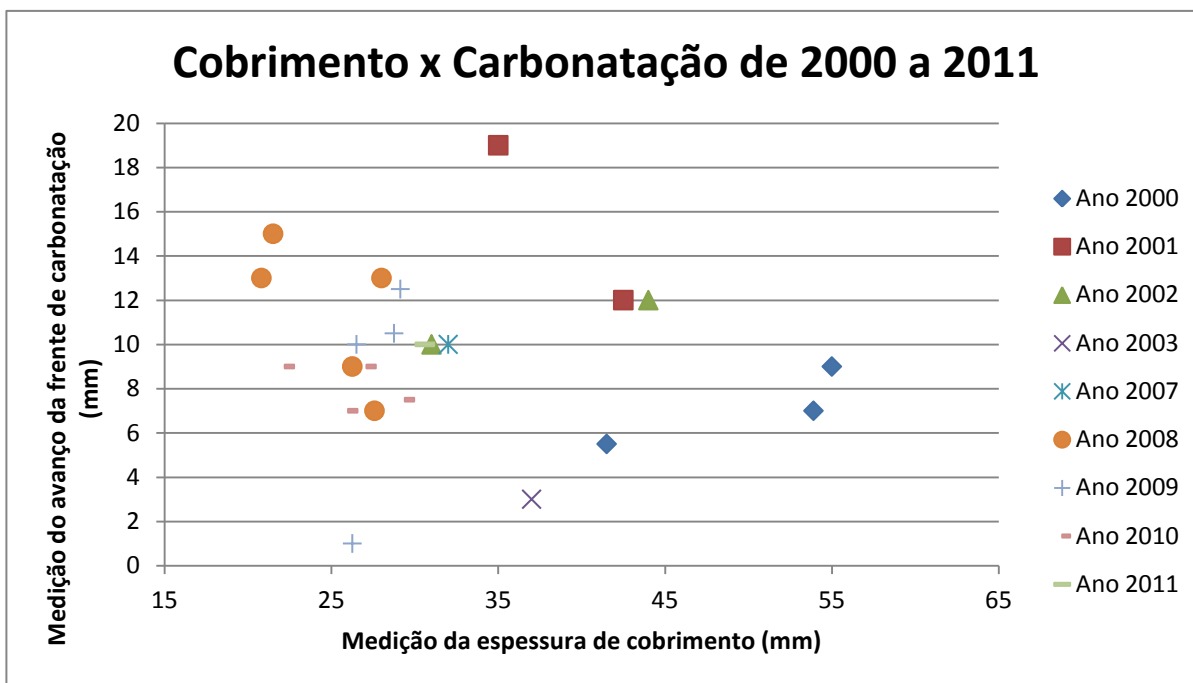


Figura 78– Relação das medianas dos cobrimentos e avanço da carbonatação entre 2000 e 2011.

A mesma análise não pode ser feita em relação aos cloretos, pois durante o monitoramento da OAE não foram feitos ensaios de percentual de cloretos.

Pelo ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) verifica-se que está em curso reações de substituição dos compostos C-S-H por sais solúveis, poucos resistentes, e que debilitam as estruturas.

Aparentemente os sistemas de pintura, seja aplicado no substrato ou na superfície do concreto, serviram como retardador da despactivação das armaduras, reduzindo as taxas de corrosão e aumentando a durabilidade dos materiais. Verifica-se uma

redução dos potenciais nas armaduras, tornando-as catódicas ou reduzindo as taxas de corrosão a valores desprezíveis, mesmo em visível presença de corrosão.

Uma hipótese que melhor deverá ser avaliada, a partir de estudos complementares, sinaliza para quando do uso, nas recuperações, de argamassa polimérica diretamente sobre o concreto original, tenha ou não contribuído para a criação de um novo eletrólito, fato que registrou aumento do potencial eletroquímico, e singularizaria uma maior proteção da estrutura, e na prática não ocorreu, pois as regiões estão deterioradas e apresentam manifestações patológicas típicas (desplacamento dos concretos por corrosão das armaduras).

Tal situação nos remete a uma reflexão se seria, ou não, confiável o uso da técnica do potencial de corrosão através do equipamento CPV6 da empresa ROGERTEC, fato que só será explicado após trabalhos específicos a serem realizados com o citado aparelho e outros disponíveis no mercado (CANIN, GECOR, RESI).

De uma forma geral, foi constatado pela inspeção visual que as peças de concreto da ponte existentes no lado sul estão mais desgastadas que as suas homônimas do lado norte e numa mesma peça de concreto, quer seja um pilar, uma viga longarina ou transversina, a face que encontra-se voltada para o lado denominado de “oeste” estão mais desgastadas que aquelas voltadas para o lado “leste”.

Entretanto, vale lembrar que a palavra “desgastada” aqui referenciada não induz ou afirma que a estrutura está deteriorada ou em fase de progressiva debilitação, apenas sinaliza que existiram, numa dada época em toda vida da ponte, mecanismos de deterioração preferencialmente mais atuantes numa dada direção do que em outras.

Como informação integrante, foi identificado que existem formações de macrocélulas, principalmente nos blocos, saias e pilares entre N06 e S07, pórticos sobre o mar, lados Vitória e Vila Velha, ou seja, está havendo processos contínuos de deterioração.

Serão realizados testes e monitoramento constante dando continuidade aos trabalhos, via inspeção e não destrutivas por ensaios, buscando identificar e limitar áreas de reparação e recuperação.

## 5. Conclusão

No estudo de caso desta OAE, foi possível constatar, face aos ciclos naturais de degradação das estruturas de concreto armado em ambiente agressivo, que existe a recorrência de patologias (desplacamentos de concretos e corrosão das armaduras) motivadas pela ação dos íons cloretos, e que via de regra algumas técnicas não destrutivas não são, por si só, suficientes e confiáveis para a sua identificação.

O presente trabalho examinou estruturas onde ocorrem a macrocélula, contaminadas por cloretos, em presença gás carbônico e ambiente agressivo. Apesar da constatação visual do retorno das manifestações patológicas, os ensaios de potencial não indicaram a ocorrência de corrosões, porém como referenciado por alguns pesquisadores o olhar técnico experiente vale mais do que análises e ensaios.

Apesar das técnicas eletroquímicas serem uma ferramenta valiosa na avaliação e monitoração da corrosão em estruturas de concreto armado, por se tratar de um ensaio não destrutivo e de fácil execução, esse não deve ser tomado isoladamente nas análises estruturais.

Segundo Bueno (2006), em locais com grande umidade e em variação de maré tem-se uma tendência a valores potenciais maiores, devido ao aumento de capacidade da condutividade pela água, Portanto devido à ausência de parâmetros normativos para os supracitados ensaios, a análise presta-se com cuidados.

Outros materiais aplicados durante a vida das estruturas podem estar alterando as ligações microestruturais, porém os estudos apresentados não apresentam padronização dos ensaios e dos fatores controlados.

O cobrimento inadequado em estruturas é por si só preocupante e permitem a entrada de agentes agressivos que conjuntamente podem estar agindo de forma não controlada.

Deve-se sempre ter em mente que as estruturas de concreto armado não são inertes e respondem aos estímulos a elas direcionados, tal e qual os seres vivos.

Várias são as indefinições ainda nesse campo da engenharia, como por exemplo: técnica e metodologia na engenharia de reparo (materiais, modus operandis, etc); valores referenciais e seguros de índices de íons cloretos, motivadores do efeito da macrocélula; técnica de ensaio confiável e ágil; etc.

A formação da macrocélula existe e deve ser contemplada com um aprofundamento das pesquisas, estudos e experiências, como forma de melhor municiar a comunidade usuária, com práticas de avaliação, recuperação, proteção e execução saudáveis e confiáveis.

Porém, a luz do exposto, dentro da ampla amostragem adotada e os dados resgatados no monitoramento da estrutura em análise, conclui-se que:

- a) O fenômeno conhecido por macrocélula ou ânodo incipiente foi constatado, ou seja, em áreas que sofrem reparos após a ocorrência de corrosão, houve o retorno da manifestação patológica.
- b) Há uma aceleração da ocorrência da macrocélula em regiões com presença de cloretos.
- c) Garantir a sequência de etapas das boas técnicas atuais de reparos, não garante o sucesso dos reparos ou encerra a evento das manifestações patológicas. Existem outros fatores que controlam o fenômeno.
- d) Técnicas eletroquímicas de ensaios não podem ser tomadas isoladamente e não há limitações bem definidas dos parâmetros desse ensaio.
- e) Baixos cobrimento de armaduras permitem um rápido acesso de agentes deteriorantes às estruturas, mesmo em concreto que apresentam boa permeabilidade.

## **6. Propostas de Novos Trabalhos**

1. Estudos sobre potenciais em áreas de reparos, fazendo um comparativo entre áreas dos reparos e estrutura remanescente (argamassas poliméricas/graute e concreto);
2. Validação da proteção efetiva dos sistemas de pintura sobre as armaduras e pinturas superficiais;
3. Confiabilidade através do monitoramento de áreas com os diversos tipos de proteções galvânicas.
4. Verificação dos índices de cloretos em áreas com macrocélula;
5. Parâmetros de validação das medidas dos potenciais nas áreas onde ocorre o fenômeno da macrocélula.

## 7. Referências Bibliográficas

- AGUIAR, J. E. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estrutura duráveis**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
- ALONSO, C.; NADRADE, C.; IZQUIERDO, M; NÓVOA, X.R.; PEREZ,M.C. **Effect of protective oxide scales in the macrogalvanic behaviour of concrete reinforcements**. Corrosion Science, Vol. 40, nº 8, 1997.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM C-876: **Standard Method of half-cell potentials of in-coated reinforced steel in concrete**, Philadelphia, 1991.
- ANDRADE, J. J. de O. **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações – Vida Útil das Estruturas de Concreto**. Ed. Geraldo Cechella Isaia- São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, v.2, 2005, página 923 à 952.
- ANDRADE, M. del C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. Tradução e adaptação de Antônio Carmona e Paulo Helene. 1ª ed. São Paulo: Pini, 1992. 105 p.
- ANDRADE, T.; SILVA A.J.C. **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações – Patologia das estruturas**. Ed. Geraldo Cechella Isaia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, v.2, 2005, página 953 a 984.
- ANDRADE, T. **Tópicos sobre durabilidade do concreto**, IBRACON, Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações, v. 1, Capítulo 25, pp.753-792, 2005.

- ARANHA, P.H.S.; DAL MOLIN, D.C.C. **Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado na Região Amazônica**, 36ª REIBRAC Reunião Anual do IBRACON, Porto Alegre, v.1 1994.
- ARAÚJO, F. W. C. **Estudo da repassivação da armadura em concretos carbonatados através da técnica de realcalinização química**. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-18122009-154958/>>. Acesso em: 2012-03-04.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB1 – Projeto de Execução de Obras de Concreto Armado**. Rio de Janeiro, 1978.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2003 e 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680 – Concreto - Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto**. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8050 - Ensaio não destrutivo – Ultra-som-Terminologia**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802 Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1994.



- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2006.
- BATISTA, M. (1998) **Siloxanos & silanos – Prefeitos hidrorrepelentes para toda situação**, Revista Recuperar, 23, 14-19.
- BICZÓK, I. **La corrosión del hormigón y su protección.** Bilbao: URMO Ediciones, 1981.
- BOLINA, C. C. **Inibidores de corrosão: Avaliação do desempenho frente a corrosão do aço induzida por carbonatação e cloretos**, 2008. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Goiás.
- BUONO, Luciana Pereira de Souza. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado ensaios eletroquímicos.** Trabalho de conclusão de curso de graduação em engenharia civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.
- CALÇADA, L.M.L. **Estudo da eficácia do ensaio de migração em condições de fluxo não estacionário na previsão da penetração de cloretos em concreto.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. 213 p.
- CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia de Sustentabilidade na Construção.** Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p. [www.sindusconsp.com.br/img/meioambiente/05.pdf](http://www.sindusconsp.com.br/img/meioambiente/05.pdf)
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado.** São Paulo: Pini, 1988.
- CARMONA, T. G. **Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica,

Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-27072005-163131/>>. Acesso em: 2012-03-04.

- CASCUDO, O. ***Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras***. IBRACON, Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações, v. 21, Capítulo 35, pp.1071-1108, 2005.
- CASCUDO, O. ; HELENE, P. R. do L. ***Avaliação experimental da corrosão das armaduras em concreto utilizando a técnica de medida dos potenciais de eletrodo***. Boletim Técnica da Escola Politécnica da USP – São Paulo, 1992.
- CATANHEIRA, A.P.A. ***Estudo de um sistema de reparo mais eficaz para uma estrutura de concreto armado contaminado por cloretos***. Brasília, 1997. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.
- CEB. ***Durability of Concrete Structures***. Report of CEB-RILEM International Workshop. Copenhagen, Mai, 1983.
- CEB. ***Durability of Concrete Structures: State of the Art Report***. Bulletin D'Information N2, Paris, 1982.
- CLÍMACO, J.C.; NEPOMUCENO, A. A. ***Parâmetros para uma metodologia de manutenção de estruturas de concreto***. In: 36ª Reunião Anual do Instituto Brasileiro do Concreto, 1994, Porto Alegre. REIBRAC/94, 1994. v. 1.
- COLLEPARDI, Mario. ***Durabilità e Restauro delle opere in calcestruzzo***. Spresiano: Enco, Itália, (1992).
- CRANK, J. ***The mathematics of diffusion***. 2<sup>nd</sup> Ed., Clarendon Press, Oxford, London, 1975.

- CUSSON, D., MAILVAGANAM, N. ***Durability of repair materials***. Concrete international. Mar. 1996.
- DAL MOLIN, D.C.C. ***Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microsilica***. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- DEDAVID, Berenice Anina. ***Microscopia eletrônica de varredura: aplicação e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores (recurso eletrônico)*** / Berenice Anina Dedavid, Carmem Isse Gomes, Giovanna Machado. – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.
- DIAS, L. A. de M. ***Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem***. São Paulo: Zinguraye Editora, 1997.
- EMMONS P.H.; ***Concrete repair and maintenance illustrated: problem analysis, repair strategy, techniques***, R.S. Means Copyright Kindgastone, 1994.
- FERREIRA, R. M. ***Avaliação dos Ensaios de Durabilidade do Betão***, Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Materiais e Reabilitação da Construção, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Guimarães, 2000.
- FIGUEIREDO, A. D. de, ***Concreto com fibras de aço***. Boletim técnico da Escola Politécnica de USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000.
- FIGUEIREDO, E. P. ***Efeitos da Carbonatação e de Cloretos no Concreto***. In: Concreto, Ensino, Pesquisa e realizações, Cap. 27. IBRACON, V. 2 ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo, 2005.

- FIGUEIREDO, E.J.P. ***Avaliação do Desempenho de Revestimentos para Proteção da Armadura Contra a Corrosão Através de Técnicas Eletroquímicas – contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado.*** São Paulo, 1994. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- GENTIL, V. ***Corrosão.*** 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnico e Científicos Editora S.A.,1996.
- GOMES, A.M.; AGUIAR, J. E. de, et al. ***Permeabilidade do concreto: um estudo para a avaliação “in situ” usando instrumentos portáteis e técnicas tradicionais.*** PANNDT, 2003.
- GONÇALVES, J.P. ***Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental contendo argila calcinada e areia artificial.*** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005. Tese (Doutorado).
- GONDIM, F.L. ***Estudo da Interface entre o Concreto e o Material de Reparo Mediante Microscopia.*** Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2005.
- GUIMARÃES A.T.C. ***CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações Tópicos – Propriedades do concreto fresco.*** Ed. Geraldo Cechella Isaia - São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, v.1, 2005. P. 473 a 494.
- GULIKERS, J.J.W AND VAN MIER, J.G.M, ***Accelerated Corrosion by Patch Repair of Reinforced Concrete Structures,*** In Proceeding Int’l RILEM/CSIRO/ACRA Conference on Rehabilitation of Concrete Structures, Melbourne, August 31 – September 2, 1992.

- HALAMICKOVA, P. et al. ***Water permeability and chloride ion diffusion in Portland cement mortars: Relationship to sand content and critical pore diameter.*** Cement and Concrete Research, Nova York, V. 25, Issue 4, 1995.
- HASSON, C.M.; STRUNGE, H.; MARKUSSEN, J.B. e FROLUND, T. ***The Effect of Cement Type on the Diffusion of Chloride.*** Nordic Concrete Research, Publicação nº 4, Dinamarca, 1985.
- HAUSMANN, D.A.; ***Steel Corrosion in Concrete; How does it occur?*** Materials Protection, Nov. 1967.
- HELENE, P. R. do L. ***Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado,*** Tese de Docente, Poli-SP, 1993.
- HELENE, P. R. do L. ***Corrosão em armaduras para concreto armado.*** São Paulo: PINI Editora, IPT, 1986. 45 p.
- HELENE, P. R. do L. ***Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de Concreto.*** São Paulo: Projeto de divulgação tecnológica - Fosroc/Pini, 1992. 215 p.
- ISAIA, G.C. ***CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações – Retrospectiva do concreto no Brasil.*** Ed. Geraldo Cechella Isaia- São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, v.1, 2005. P. 45 a 74.
- ISAIA, G.C. ET AL. ***CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações – Concreto: da era clássica à contemporânea.*** Ed. Geraldo Cechella Isaia- São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, v.1, 2005. Pagina 1 a 44
- KAZMIERCZAK, C. S. ***Contribuição para a análise da eficiência de películas aplicadas sobre estruturas de concreto armado com o objetivo de proteção contra a carbonatação.*** Tese (Doutorado em Engenharia de

- Construção Civil e Urbana) Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 1995.
- KIERA, M. Disponível em:  
<http://www.geocities.com/kuttiekitt/cheminfo1.html>. Acesso em: maio 2001.
  - LEMUS, J. L. C.; GARCIA, M.P.T. & FRÍAS, M. ***El océano y sus recursos. li. Las ciências del mar: oceanografia geológica y oceanografia química.*** Disponível em:  
[http://www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/SEC\\_17.HTML](http://www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/SEC_17.HTML). Acesso em: maio 2001.
  - LIMA, M. G. ***CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações Tópicos – Ação do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto.*** Ed. Geraldo Cechella Isaia - São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, v.1, 2005. P. 713 a 752.
  - LÓPEZ S. P. ***Durabilidad del hormigón en ambiente marino.*** Cuadernos Intemac, n. 31. Madrid: INTEMAC, 1998.
  - LÓPEZ, W. e CONZALEZ, J.A. ***Influence of the Degree of Pore Stauration on the Resistivity of Concrete and The Corrosion Rate Steel Reinforcement.*** Cement, and, Concrete, Recherche, Vol. 23, 1993.
  - LOURENÇO, Z. ***Protecção Catódica de Estruturas De Betão Armado,*** 2007.
  - MATOS, O. C. ***Avaliação experimental da corrosão de armaduras em concreto utilizando a técnica de medida dos potenciais de eletrodo/O.C.*** Matos, P.R. do L. Helene. São Paulo: EPUSP, 1992. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP.
  - MEDEIROS, M. H. F. de. ***Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos.*** 2008.

Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-20072009-174802/>>. Acesso em: 2012-03-04.

- MEHTA, P. K. ; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**, Trad. De Paulo Helene et al. São Paulo, PINI, 2008. 667 p.
- MEHTA, P.K. **Concrete technology for sustainable development**. Concrete International, v.21, n 11, 1999.
- MONTEIRO, E. C. B. **Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-19042007-160242/>>. Acesso em: 2012-03-04.
- MORGAN, D.R. **Compatibility of Concrete Repair Materials and Systems**. Construction and Building Materials, Vol 10. Nº 1, 1996.
- NEPOMUCENO, A. M. **Propriedades do concreto**, tradução Salvador E. Giammusso. 1. Ed. São Paulo, PINI, 1982, 739p.
- NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Projeto de divulgação tecnológica – ABCP/PINI, 1997.
- OLIVEIRA, C.T.A. **Água do Poro de Pastas de Cimento de Escória**. São Paulo, 2000.161p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

- PANOSSIAN, Z. **Corrosão e Proteção Contra Corrosão em Equipamentos e Estruturas Metálicas**, Vol1, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1993. (Publicação IPT 2032).
- PIANCASTELLI, E. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1998. 160p. Notas de Aula.
- PING GU; BEAUDOIN J.J.; TUMIDAJSKI P.J.; MAILVAGANAM N.NP. **Electrochemical Incompatibility of Patches in Reinforced Concreto**. Concrete International. Vol. 19. Issue 8.P.68-72. 1997.
- POLDER, R.B., ROOIJ, M.R. de. **Durability of marine concrete structures – field investigations and modelling**, HERON, Vol. 50 (3), 2005, p. 133-143.
- POURBAIX, M. **Lições de corrosão eletroquímica**. Third Ed. CEBELCOR, Brussels, 1987.
- POURBAIX, M.; **Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions**. NACE, Cebelcor, 1974.
- RESCHKE, J.S.et al. **Avaliação da utilização de escória granulada de fundição com substituição de parte do cimento em concreto**. Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil, São Carlos, v.2, n.1, maio 2005.
- RIBEIRO, J.L.S. **Contribuição para a avaliação da compatibilidade eletroquímica entre argamassa de reparo e concreto carbonatado**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. P. 122.
- RILEM TECHNICAL RECOMMENDATION. **Repair Strategies for Concrete Structures Demanged by Reinforcement Corrosiona**. 1993.



- RILEM TECHNICAL RECOMMENDATION. **Specification for concrete with recycled aggregates**. Materials and Structures, v. 27,1994.
- ROSS, D. A. Introduction to Oceanography. 3 ed., s.l.,s.e., 1982.
- SCHIESSL, P. BREIT, W. RAUPACH, M. **Durability of Local Repair Measure on Concrete Structures Damaged by Reinforcement Corrosion**. In Third International Conference, Nice, France 1994. P. 1195-1215.
- SILVA, A. O. B., MORENO JR., A. L. Reforço à Flexão em Vigas de Concreto de Alta Resistência à Compressão Através da Colagem Externa de Mantas Flexíveis de Fibras de Carbono (PRFC). In: 108 JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, XXIX, 2000, Punta Del Este, Memórias. Punta Del Este, 2000.
- SILVA, F.G. **Estudo da resistência à corrosão do concreto de alto desempenho frente à ação de cloretos**. Tese (Doutorado) Ciência e Engenharia dos Materiais, EESC/IQSC/IFSC, USP, São Carlos – SP, 2006.
- SILVA, P. F. A. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. São Paulo: PINI,1995. 152 p.
- SITTER, .R. Costs for Srevice Life Optimization. **The “Law of Five”**. In: **CEB-RILEM Durability of Concrete Structures**. Proceedings of the Internacional Workshop held in Copenhagen, 1-20 May 1983. P. 131-134, Copenhagen, CEB, 1984. (Workshop Reported by Steen Rostam).
- SOUZA, V. C. M de.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1998.
- STRATFULL, R.F., **The Corrosion of Steel in a Reinforced Concrete Bridge**, Corrosion, Highway Research Record,1957

- THANGAVEL, K. ; RENGASWAMY, N.S. ***Relationship between Chloride/hydroxide Ratio and Corrosion Rate of Steel in Concrete.*** Central Electrochemical Research Institute, Karaikudi, India. 1998.
- THOMPSON, R. M., PAYNE, S. W., RECKER, E. E., and REED, R. J. ***Structure and properties of synoptic-scale wave disturbances in the intertropical convergence zone of the eastern Atlantic.*** *J. Atmos. Sci.*, 1997.
- TORRES, A. da S. ***Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta-análise.*** Tese (doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2011. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/29405/000777122.pdf> > Acesso em: 2012-05-04.
- TREADAWAY ,K.COX. R.N. e BROWN, B.L. ***Durability of Corrosion Resisting Steel in Concrete.*** Proc. Instn. Civ.Engrs. , Prt 1,1989.
- TUUTTI, K. ***Corrosion Steel in Concrete.*** Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982, 469p.
- UEDA, T.; Takewaka, K. ***Performance-based Standard Specifications for Maintenance and Repair of Concrete Structures in Japan,*** Structural Engineering International, 2007.
- VASCONCELOS, A. C. de. ***O concreto no Brasil.*** São Paulo: Editora Pini, 1992. 1. Ed. V2.
- VASCONCELOS, A. C. de; CARRIERI, R.J. ***A escola brasileira do concreto armado.*** 1 ed. São Paulo: Axis Mindi, 2005. 207 p.
- WOOD, J.G.M., KING, E.S. e LEEK, D.S. ***Concrete Repair Materials for Effective Structural Applications Construction And Repair Building***

Materials, In 5<sup>th</sup> International Conference on Durability of Building Materials and Components, Brighton, 1990.

- ZANG, J. ; MAILVAGANAM, N. P. ***Corrosion of concrete reinforcement and electrochemical factors in concrete patch repair***. Canadian Journal of Civil Engineering, 2006, Vol. 33, No. 6.
- (<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/caementu.html>)
- (<http://www.vector-corrosion.com/systemsservices/electro-chemical/chloride-extraction/>)

# APÊNDICE A - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

Ano 2000

Legenda: P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
01/07/2000	L2/N18 E N17 (ponto 3)	52,8	13,00	0,03	
01/07/2000	L1/N18 E N17 (ponto 1)	50,5	1,00	0,05	
01/07/2000	L5/N18 E N17 L (ponto 2)	56,8	2,00	0,09	
01/07/2000	L4/N18 E N17 O (ponto 2)	55,8	15,00	0,06	
01/07/2000	L3/N18 E N17 L (ponto 4)	62,3	9,00	0,11	
01/07/2000	L1/N18 E N17 L (ponto 4)	50,5	4,00	0,1	
01/07/2000	L6/N18 E N17 L (ponto 3)	56,8	14,00	0,1	
01/07/2000	L7/N18 E N17 O (ponto 1)	54	14,00	0,08	
01/07/2000	L8/N18 E N17 O (ponto 1)	60,8	8,00	0,09	
01/07/2000	L8/N18 E N17 L (ponto 1)	52,8	11,00	0,12	
01/08/2000	L2/N18 E N17 (ponto 3)	52	-	0,09	
01/08/2000	L1/N18 E N17 (ponto 1)	50	-	0,08	
01/08/2000	L5/N18 E N17 L (ponto 2)	56,8	-	0,09	
01/08/2000	L4/N18 E N17 O (ponto 2)	55,8	-	0,09	
01/08/2000	L3/N18 E N17 L (ponto 4)	62,3	-	0,09	
01/08/2000	L1/N18 E N17 L (ponto 4)	47,8	-	0,09	
01/08/2000	L6/N18 E N17 L (ponto 3)	57,3	-	0,09	
01/08/2000	L7/N18 E N17 O (ponto 1)	-	-	0,09	
01/08/2000	L8/N18 E N17 O (ponto 1)	-	-	0,09	
01/08/2000	L8/N18 E N17 L (ponto 1)	-	-	0,08	
01/07/2000	L2/N20 L (1,5 m)	-	11,00	-	
01/09/2000	L 7/N21 E N20-L	-	9,00	0,08	
01/09/2000	L 7/N22 E N 21 – O(ponto 2)	56,5	0,00	0,09	
01/09/2000	L 8/ N 22 e N 21 - O	54	7,00	0,09	
01/09/2000	L8/N22 E N21 – O	43	0,00	0,09	
01/09/2000	L1/N22 E N21 – L	63,8	12,00	0,09	
01/09/2000	L3/N22 E N21 L	52,8	8,00	0,09	
01/09/2000	L6/N22 E N21 – O	55	0,00	0,09	
01/09/2000	L1/N22 E N21 – L	63,8	15,00	0,08	
01/09/2000	L2/N22 E N21 – L	52	10,00	0,09	
01/09/2000	L1/N21 E N20 – L	-	5,00	0,1	
01/09/2000	L4/N21 E N20 – O	-	14,00	0,08	
01/09/2000	T/N21 – N	39,8	4,00	0,07	
01/09/2000	T/N21 - S	44,8	10,00	0,04	
01/07/2000	T N18 N	51,3	7,00	0,1	
01/07/2000	T N18 S	59	8,00	0,06	
01/07/2000	T N 17 N	56,5	0,00	0,09	
01/08/2000	T N18 N	-	-	0,1	
01/08/2000	T N18 S	-	-	0,09	
01/08/2000	T N 17 N	-	-	0,08	
01/09/2000	T/N20 - N	59,3	8,00	0,1	
01/09/2000	T/N22 – S	-	0,00	0,09	
01/07/2000	P/N18O – L 6 m	47,8	10,00	0,09	
01/07/2000	P/N18L – N 8 m	44,5	15,00	0,14	
01/07/2000	P/N 18 C – S 2 m	41,5	8,00	0,09	
01/07/2000	P/N 17 O – O 4 m	-	1,00	0,08	
01/07/2000	P/N 17 L-N 2 m	-	2,00	0,1	
01/07/2000	P/N 21 L – N 1 m	53	2,00	0,06	
01/07/2000	P/N 21 L – O 1 m	36,5	5,00	0,02	
01/07/2000	P/N 21 L – L 1 m	37,5	9,00	0,06	
01/07/2000	P/N 21 L – S 1 m	48	3,00	0,04	

## Ano 2000

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
01/07/2000	P/N 20 L – L 1,5 m	46	5,00	-	
01/07/2000	P/N 20 L – O 1,5 m	27,5	6,00	-	
01/07/2000	P/N 20 L – N 1,5 m	23	1,00	-	
01/08/2000	P/N18O – L 6 m	47,8	-	0,09	
01/08/2000	P/N18L – N 8 m	-	-	0,1	
01/08/2000	P/N 18 C – S 2 m	-	-	0,1	
01/08/2000	P/N 17 O – O 4 m	-	-	0,08	
01/08/2000	P/N 17 L-N 2 m	40,5	-	0,07	
01/08/2000	P/N 21 L – N 1 m	-	-	0,04	
01/08/2000	P/N 21 L – O 1 m	-	-	0,09	
01/08/2000	P/N 21 L – L 1 m	-	-	0,04	
01/08/2000	P/N 21 L – S 1 m	-	-	0,09	
01/09/2000	P/N 20C-O	40,5	8,00	0,09	
01/09/2000	P/N17 O-O	36	0,00	0,1	
01/09/2000	P/N20L - L	-	7,00	0,09	
01/09/2000	P N 20 O-O	-	0,00	0,08	
01/09/2000	P/N17 L – L	48,3	4,00	0,09	
01/09/2000	P/N21 L – L	-	3,00	0,04	
01/09/2000	P/S26 L –S	-	0,00	0,09	
01/09/2000	P/S27 L - O	-	6,00	0,04	
01/09/2000	P/ S26 O – S	-	12,00	0,09	
01/09/2000	P/S28 L – S	-	10,00	0,04	
01/09/2000	P/ S28 O – O	-	20,00	0,09	
01/09/2000	P/ S27 O - N	-	16,00	0,09	

## Ano 2001

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
21/02/2001	B/S25O-L (Área 2)	46,37,43	13,00	0,05	Área apresentando patologia.
21/02/2001	B/S25O-L (Área 4)	37,39,41	12,00	0,04	Área apresentando patologia.
21/02/2001	B/S25O-S	50	10,00	0,05	
02/03/2001	B/S25L-N	85,37,52	15,00	-	
02/03/2001	B/S25L-O	49,42,38	5,00	0,06	Área apresentando patologia.
02/03/2001	B/S25L-O (Área 2)	47	20,00	0,05	Área com indícios de recuperação.
02/03/2001	B/S25L-O (Área 4)	38	15,00	0,06	
20/03/2001	B/S24O-L (Área 2)	52,39	15,00	0,05	
20/03/2001	B/S24O-L (Área 4)	43,42,37	15,00	0,07	
20/03/2001	B/S24O-L (Área 3)	57,31	10,00	0,06	Região com vazios (diagnosticado pela ultrassonografia.)
20/03/2001	B/S24O-S	48	13,00	0,05	
16/04/2001	B/S24L-O (Área 1)	45	12,00	0,06	
16/04/2001	B/S24L-O (Área 3)	58	9,00	0,05	
16/04/2001	B/S24L-N	59	11,00	0,04	
27/04/2001	B/S23L-O (Área 2)	60	10,00	0,08	
27/04/2001	B/S23L-O (Área 3)	59	11,00	0,08	
27/04/2001	B/S23L-O (Área 4)	46	12,00	0,08	
27/04/2001	B/S23L-N	60	17,00	0,05	
27/04/2001	B/S23O-L (Área 1)	47	10,00	0,05	
27/04/2001	B/S23O-L (Área 3)	37	11,00	0,07	
27/04/2001	B/S23O-N	55	12,00	0,09	
16/05/2001	B/S22O-L (Área 2)	48	20,00	0,06	
16/05/2001	B/S22O-L (Área 4)	37	22,00	0,04	
16/05/2001	B/S22O-O (Área 4)	-	15,00	0,07	
16/05/2001	B/S22O-O (Área 4)	40	-	0,06	Área apresentando deslocamentoS de concreto.
28/05/2001	B/S22L-S	37	20,00	-	
28/05/2001	B/S22L-S	-	15,00	-	
28/05/2001	B/S22L-O (Área 4)	47	17,00	-	
28/05/2001	B/S22L-O (Área 2)	41	7,00	-	
28/05/2001	B/S22L-L (Área 4)	42	3,00	-	
12/06/2001	B/S21O-S	-	12,00	-	
12/06/2001	B/S21O-L (Área 2)	47	13,00	-	
12/06/2001	B/S21O-L (Área 4)	36	14,00	-	
12/06/2001	B/S21O-O (Área 1)	40	14,00	-	
07/06/2001	B/S21L-O (Área 2)	35	12,00	-	
07/06/2001	B/S21L-O (Área 4)	43	13,00	-	
07/06/2001	B/S21L-N	66	7,00	-	
07/06/2001	B/S21L-L (Área 1)	62	5,00	-	
27/06/2001	B/S20O-O (Área 1)	31,00	16,00	0,05	
27/06/2001	B/S20O-L (Área 2)	34,00	12,00	0,06	
27/06/2001	B/S20O-L (Área 4)	26,00	13,00	0,06	
27/06/2001	B/S20O-S	41,00	25,00	0,07	
04/07/2001	B/S20L-L (Área 2)	38,00	14,00	0,06	
04/07/2001	B/S20L-O (Área 2)	26,00	12,00	0,04	
04/07/2001	B/S20L-O (Área 4)	29,00	15,00	0,07	
04/07/2001	B/S20L-S	56,00	20,00	0,06	
16/07/2001	B/S19L-L (Área 1)	33,00	8,00	0,08	
16/07/2001	B/S19L-O (Área 1)	33,00	15,00	0,06	
16/07/2001	B/S19L-O (Área 3)	41,00	10,00	0,09	
16/07/2001	B/S19L-S	51,00	4,00	0,07	
06/09/2001	B/S19O-L (Área 1)	-	4,00	-	Corpo de prova extraído na parte inferior da peça.
06/09/2001	B/S19O-L (Área 3)	-	5,00	-	Corpo de prova extraído na parte superior da peça.

## Ano 2001

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
06/09/2001	B/S19O-N	-	10,00	-	Corpo de prova extraído na parte superior da peça.
26/09/2001	B/S18O-L (Área 2)	47,00	12,00	-	
26/09/2001	B/S18O-L (Área 4)	40,00	6,00	-	
26/09/2001	B/S18O-O (Área 1)	50,00	7,00	-	
26/09/2001	B/S18O-S	62,00	9,00	-	
dez/01	P/N21 L – N	39	5,00	-	
dez/01	P/N21 L – S	39	12,00	-	
dez/01	P/N21 L – L	28	3,00	0,04	
dez/01	P/N21 L – O	29	19,00	-	
dez/01	P/N21 C – N	42	18,00	-	
dez/01	P/N21 C – S	-	-	-	
dez/01	P/N21 C – L	28	22,00	-	
dez/01	P/N21 C – O	38	21,00	-	
dez/01	P/N21 O – N	35	19,00	-	
dez/01	P/N21 O – S	38	-	-	
dez/01	P/N21 O – L	35	23,00	-	
dez/01	P/N21 O – O	27	14,00	-	

## Ano 2002

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
mar/02	T/N22 S	31	10,00	-	
mar/02	P/N19 L – N	44	14,00	-	
mar/02	P/N19 L – S	37	7,00	-	
mar/02	P/N19 L – L	43	4,00	-	
mar/02	P/N19 L – O	44	12,00	-	
mar/02	P/N19 C – N	37	3,00	-	
mar/02	P/N19 C – S	42	7,00	-	
mar/02	P/N19 C – L	47	21,00	-	
mar/02	P/N19 C – O	44	7,00	-	
mar/02	P/N19 O – N	51	2,00	-	
mar/02	P/N19 O – S	48	3,00	-	
mar/02	P/N19 O – L	41	5,00	-	
mar/02	P/N19 O – O	50	4,00	-	
mar/02	P/N18 L – N	44	14,00	-	
mar/02	P/N18 L – S	50	3,00	-	
mar/02	P/N18 L – L	51	1,00	-	
mar/02	P/N18 L – O	47	3,00	-	
mar/02	P/N18 C – N	51	12,00	-	
mar/02	P/N18 C – S	41	6,00	-	
mar/02	P/N18 C – L	53	15,00	-	
mar/02	P/N18 C – O	64	4,00	-	
mar/02	P/N18 O – N	43	4,00	-	
mar/02	P/N18 O – S	48	7,00	-	
mar/02	P/N18 O – L	48	14,00	-	
mar/02	P/N18 O – O	47	1,00	-	
jun/02	P/S33 L – N	50	15,00	-	
jun/02	P/S33 L – S	59	25,00	-	
jun/02	P/S33 L – L	62	18,00	-	
jun/02	P/S33 L – O	44	22,00	-	
jun/02	P/S33 O – N	50	21,00	-	
jun/02	P/S33 O – S	50	14,00	-	
jun/02	P/S33 O – L	Sem acesso	Sem acesso	-	
jun/02	P/S33 O – O	53	14,00	-	
jun/02	P/S32 L – N	50	12,00	-	
jun/02	P/S32 L – S	47	3,00	-	
jun/02	P/S32 L – L	38	9,00	-	
jun/02	P/S32 L – O	42	Sem acesso	-	
jun/02	P/S32 O – N	56	12,00	-	
jun/02	P/S32 O – S	39	8,00	-	
jun/02	P/S32 O – L	50	12,00	-	
jun/02	P/S32 O – O	60	11,00	-	
set/02	P/N19 L – N	44	14,00	-	
set/02	P/N19 L – S	37	7,00	-	
set/02	P/N19 L – L	43	12,00	-	
set/02	P/N19 L – O	44	27,00	-	
set/02	P/N19 C – N	37	3,00	-	
set/02	P/N19 C – S	42	7,00	-	
set/02	P/N19 C – L	47	21,00	-	
set/02	P/N19 C – O	44	12,00	-	
set/02	P/N19 O – N	51	12,00	-	
set/02	P/N19 O – S	48	3,00	-	
set/02	P/N19 O – L	41	10,00	-	



## Ano 2002

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
set/02	P/N19 O – O	50	4,00	-	
set/02	P/S30 L – N	32	18,00	-	
set/02	P/S30 L – S	29	14,00	-	
set/02	P/S30 L – L	30	11,00	-	
set/02	P/S30 L – O	29	13,00	-	
set/02	P/S30 O – N	35	22,00	-	
set/02	P/S30 O – S	31	9,00	-	
set/02	P/S30 O – L	32	20,00	-	
set/02	P/S30 O – O	27	20,00	-	
set/02	P/S30 L – N	36	6,00	-	
set/02	P/S30 L – S	32	13,00	-	
set/02	P/S30 L – L	34	18,00	-	
set/02	P/S30 L – O	38	6,00	-	
set/02	P/S30 O – N	33	18,00	-	
set/02	P/S30 O – S	32	18,00	-	
set/02	P/S30 O – L	34	4,00	-	
set/02	P/S30 O – O	34	18,00	-	
dez/02	P/N18 L – N	37	14,00	-	
dez/02	P/N18 L – S	38	3,00	-	
dez/02	P/N18 L – L	48	7,00	-	
dez/02	P/N18 L – O	31	22,00	-	
dez/02	P/N18 C – N	48	13,00	-	
dez/02	P/N18 C – S	38	6,00	-	
dez/02	P/N18 C – L	48	17,00	-	
dez/02	P/N18 C – O	60	14,00	-	
dez/02	P/N18 O – N	36	23,00	-	
dez/02	P/N18 O – S	38	7,00	-	
dez/02	P/N18 O – L	40	18,00	-	
dez/02	P/N18 O – O	43	9,00	-	

## Ano 2003

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

<b>Data do Ensaio</b>	<b>Elementos Ensaaiados</b>	<b>Ensaio de Cobrimento (mm)</b>	<b>Ensaio de Carbonatação (mm)</b>	<b>Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)</b>	<b>Observação</b>
mar/03	P/N17 L – N	36	5,00	-	
mar/03	P/N17 L – S	39	6,00	-	
mar/03	P/N17 L – L	31	5,00	-	
mar/03	P/N17 L – O	39	3,00	-	
mar/03	P/N17 O – N	38	2,00	-	
mar/03	P/N17 O – S	46	1,00	-	
mar/03	P/N17 O – L	35	3,00	-	
mar/03	P/N17 O – O	31	2,00	-	

## Ano 2007

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaçados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
19/06/2007	P/N02 N	38,29,31,34,32,29,30,25,25	15,00	-	
19/06/2007	P/N02 s	30,30,38,34,28,31,33,33,31	10,00	-	
19/06/2007	P/N02 L	30,31,30,40,34,45,39,34,43	10,00	-	
19/06/2007	P/N02 L	28;30;36;29;30;29;30;30;32	10,00	-	
19/06/2007	P/N02 O	39,46,38,34,35,30,26,35,38	10,00	-	
23/05/2007	P/N03 N	42,62,26,39,64,31,62,48,31	15,00	-	
23/05/2007	P/N03 N	30,28,30,25,24,25,29,29,27	10,00	-	
05/06/2007	P/N03 S	32,39,33,30,35,38,33,31,35	15,00	-	
05/06/2007	P/N03 L	19,32,18,47,22,33,45,40,44	5,00	-	
05/06/2007	P/N03 O	34,31,73,36,70,35,35,70	5,00	-	
10/05/2007	P/N04 N	35,34,34,32,32,34,31,33,33	15,00	-	
10/05/2007	P/N04 N	29,31,29,31,22,28,30,29,30	10,00	-	
21/06/2007	P/N04 S	31,27,32,29,29,28,33,30,31,31, 30,28	15,00	-	
21/06/2007	P/N04 L	31,30,29,35,30,31,32,33,33,32, 30,30	15,00	-	
20/06/2007	P/N05 N	30,30,31,33,40,32,34,30,30	25,00	-	
20/06/2007	P/N05 S	30,30,32,33,32,32,33,33,32	20,00	-	
20/06/2007	P/N05 L	33,37,34,35,32,37,30,33,32	10,00	-	
20/06/2007	P/N05 O	32,35,35,34,32,30,27,26,30	10,00	-	
24/01/2007	P/N06 S	32,29,32,32,47,55,55,46,37,48, 45,45	15,00	-	
24/01/2007	P/N06 S	32,32,34,31,31,32,28,31,32, 32,32,29	8,00	-	

## Ano 2008

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
08/07/2008	P20 central/leste	23/24/26/27/28/29	22,00	-	
12/06/2008	P20 central/norte	26/28/33/34/38	15,00	-	
08/07/2008	P20 central/oeste	22/23/25/26/27	24,00	-	
12/06/2008	P20 leste/leste	26/28/30/34/35	11,00	-	
12/06/2008	P20 leste/oeste	24/25/26/30/32	18,00	-	
12/06/2008	P20 oeste/sul	28/29/33/34	12,00	-	
11/06/2008	P20/oeste/leste	24/29/30/31/32	20,00	-	
11/06/2008	P20/oeste/norte	30/31/34/36	18,00	-	
16/06/2008	P19 central/leste (1)	25/26/28/32/34	12,00	-	
16/06/2008	P19 central/leste (2)	20/23/25/28/30	14,00	-	
16/06/2008	P19 central/oeste (1)	26/27/28/29/30	12,00	-	
16/06/2008	P19 central/oeste (2)	21/23/25/27	9,00	-	
16/06/2008	P19 oeste/leste (2)	22/23/26/28	10,00	-	
16/06/2008	P19 oeste/norte (1)	26/27/35/36/40	10,00	-	
16/06/2008	P19 oeste/norte (2)	21/22/26/27/30	10,00	-	
26/06/2008	P18/central/leste (1)	25/26/27/28	162,41	-	
26/06/2008	P18/central/leste (2)	31/32/36/37	267,35	-	
26/06/2008	P18/central/oeste (1)	25/27/29/32	61,86	-	
26/06/2008	P18/central/oeste (2)	25/27/29/30	178,10	-	
26/06/2008	P18/leste/norte (1)	24/29/30/31	187,85	-	
26/06/2008	P18/leste/norte (2)	25/26/27/31	92,36	-	
26/06/2008	P18/leste/oeste (2)	27/28/29/31	191,16	-	
26/06/2008	P18/oeste/leste (1)	24/26/27/28	48,21	-	
26/06/2008	P18/oeste/leste (2)	23/24/27/30	131,37	-	
08/07/2008	P18/oeste/norte (1)	23/24/25/26/27/30	46,57	-	
26/06/2008	P18/oeste/norte (2)	26/27/29/40	215,14	-	
26/06/2008	P18/oeste/oeste (1)	22/23/26/27	99,39	-	
17/06/2008	P19 central/sul (1)	28/29/41/43	242,00	-	
17/06/2008	P19 leste/norte (1)	18/22/26/30/32	63,46	-	
07/07/2008	P19 leste/oeste (1)	24/27/28/29/33	42,07	-	
07/07/2008	P19 leste/oeste (2)	21/24/22/25/26/30	58,88	-	
17/06/2008	P19 leste/sul (1)	28/31/32/35	277,67	-	
03/07/2008	P17/leste/norte (2)	23/25/27/28	185,55	-	
03/07/2008	P17/leste/oeste (1)	17/31/27/29	84,08	-	
03/07/2008	P17/oeste/leste (1)	24/25/29/26	96,52	-	
26/06/2008	P18/central/sul (1)	23/26/29/31	171,74	-	
26/06/2008	P18/central/sul (2)	27/29/30/31	197,19	-	
26/06/2008	P18/leste/sul (1)	22/29/30/35	65,19	-	
26/06/2008	P18/oeste/sul (2)	22/23/24/25	190,79	-	
03/07/2008	P17/leste/leste (1)	23/27/30/31	8,00	-	
03/07/2008	P17/leste/leste (2)	21/22/24/25	1,00	-	
03/07/2008	P17/leste/norte (1)	22/26/23/28	2,00	-	
03/07/2008	P17/leste/norte (2)	23/25/27/28	10,00	-	
03/07/2008	P17/leste/oeste (1)	17/31/27/29	15,00	-	
03/07/2008	P17/leste/oeste (2)	25/26/23/28	3,00	-	
03/07/2008	P17/oeste/leste (1)	24/25/29/26	14,00	-	
03/07/2008	P17/oeste/leste (2)	27/23/22/28	1,00	-	
03/07/2008	P17/oeste/norte (1)	27/29/33/30	5,00	-	
03/07/2008	P17/oeste/norte (2)	23/28/15/22	2,00	-	
03/07/2008	P17/oeste/oeste (1)	27/30/24/26	7,00	-	
03/07/2008	P17/oeste/oeste (2)	27/28/22/25	1,00	-	
26/06/2008	P18/central/leste (1)	25/26/27/28	11,00	-	

## Ano 2008

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
26/06/2008	P18/central/leste (2)	31/32/36/37	11,00	-	
26/06/2008	P18/central/norte (1)	20/22/25/27	5,00	-	
26/06/2008	P18/central/norte (2)	25/30/33/34	5,00	-	
26/06/2008	P18/central/oeste (1)	25/27/29/32	19,00	-	
26/06/2008	P18/central/oeste (2)	25/27/29/30	11,00	-	
26/06/2008	P18/central/sul (1)	23/26/29/31	11,00	-	
26/06/2008	P18/central/sul (2)	27/29/30/31	11,00	-	
26/06/2008	P18/leste/leste (1)	23/26/28/29	7,00	-	
26/06/2008	P18/leste/norte (1)	24/29/30/31	11,00	-	
26/06/2008	P18/leste/norte (2)	25/26/27/31	15,00	-	
26/06/2008	P18/leste/oeste (2)	27/28/29/31	11,00	-	
26/06/2008	P18/leste/oste (1)	24/25/27/29	1,00	-	
26/06/2008	P18/leste/sul (1)	22/29/30/35	19,00	-	
26/06/2008	P18/leste/sul (2)	24/25/28/29	3,00	-	
26/06/2008	P18/oeste/leste (1)	24/26/27/28	20,00	-	
26/06/2008	P18/oeste/leste (2)	23/24/27/30	12,00	-	
26/06/2008	P18/oeste/norte (1)	24/25/26/37	29,00	-	
08/07/2008	P18/oeste/norte (1)	23/24/25/26/27/30	20,00	-	
26/06/2008	P18/oeste/norte (2)	26/27/29/40	11,00	-	
26/06/2008	P18/oeste/oeste (1)	22/23/26/27	13,00	-	
26/06/2008	P18/oeste/oeste (2)	24/26/27/28	2,00	-	
26/06/2008	P18/oeste/sul (1)	23/26/28/29	6,00	-	
26/06/2008	P18/oeste/sul (2)	22/23/24/25	9,00	-	
16/06/2008	P19 central/leste (1)	25/26/28/32/34	12,00	-	
16/06/2008	P19 central/leste (2)	20/23/25/28/30	14,00	-	
16/06/2008	P19 central/norte (1)	26/27/30/32/33	2,00	-	
16/06/2008	P19 central/norte (2)	23/25/26/27	3,00	-	
16/06/2008	P19 central/oeste (1)	26/27/28/29/30	12,00	-	
16/06/2008	P19 central/oeste (2)	21/23/25/27	9,00	-	
17/06/2008	P19 central/sul (1)	28/29/41/43	12,00	-	
17/06/2008	P19 central/sul (2)	24/26/27/30	8,00	-	
17/06/2008	P19 leste/leste (1)	24/27/28/30/31	7,00	-	
17/06/2008	P19 leste/leste (2)	21/25/27/28/30/34	4,00	-	Destacamento na travessa, face leste, inferior
17/06/2008	P19 leste/norte (1)	18/22/26/30/32	17,00	-	
17/06/2008	P19 leste/norte (2)	28/29/32/33/37	8,00	-	
17/06/2008	P19 leste/oeste (1)	25/27/28/30	23,00	-	
07/07/2008	P19 leste/oeste (1)	24/27/28/29/33	23,00	-	
17/06/2008	P19 leste/oeste (2)	19/21/23/24	18,00	-	
07/07/2008	P19 leste/oeste (2)	21/24/22/25/26/30	17,00	-	
17/06/2008	P19 leste/sul (1)	28/31/32/35	10,00	-	
17/06/2008	P19 leste/sul (2)	22/24/25/27	5,00	-	
16/06/2008	P19 oeste/leste (1)	24/25/27/29	1,00	-	
16/06/2008	P19 oeste/leste (2)	22/23/26/28	10,00	-	
16/06/2008	P19 oeste/norte (1)	26/27/35/36/40	10,00	-	
16/06/2008	P19 oeste/norte (2)	21/22/26/27/30	10,00	-	
16/06/2008	P19 oeste/oeste (1)	21/27/31/35	1,00	-	
16/06/2008	P19 oeste/oeste (2)	18/25/27/31	1,00	-	
17/06/2008	P19 oeste/sul (1)	15/22/26/27	1,00	-	
17/06/2008	P19 oeste/sul (2)	22/24/25/26	1,00	-	
12/06/2008	P20 central/leste	23/24/26/27/28	22,00	-	
08/07/2008	P20 central/leste	23/24/26/27/28/29	22,00	-	
12/06/2008	P20 central/norte	26/28/33/34/38	15,00	-	

## Ano 2008

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
12/06/2008	P20 central/oeste	15/22/23/27	28,00	-	
08/07/2008	P20 central/oeste	22/23/25/26/27	24,00	-	
12/06/2008	P20 central/sul	27/28/30/32	2,00	-	
12/06/2008	P20 leste/leste	26/28/30/34/35	11,00	-	
12/06/2008	P20 leste/norte	26/28/30/34/41	3,00	-	
12/06/2008	P20 leste/oeste	24/25/26/30/32	18,00	-	
12/06/2008	P20 oeste/sul	28/29/33/34	12,00	-	
11/06/2008	P20/oeste/leste	24/29/30/31/32	20,00	-	
11/06/2008	P20/oeste/norte	30/31/34/36	18,00	-	
11/06/2008	P20/oeste/oeste	20/22/23/24/27	5,00	-	
05/12/2008	P15/leste/norte (1)	27/28/29/33	22,00	-	
05/12/2008	P15/leste/norte (2)	17/22/25/27	15,00	-	
05/12/2008	P15/leste/norte (3)	21/24/30/31	9,00	-	
05/12/2008	P15/leste/leste (1)	18/23/25/28	6,00	-	
05/12/2008	P15/leste/leste (2)	15/26/28/29	3,00	-	
05/12/2008	P15/leste/leste (3)	25/28/29/36	4,00	-	
05/12/2008	P15/leste/sul (1)	20/22/25/26	10,00	-	
05/12/2008	P15/leste/sul (2)	23/26/29/32	10,00	-	
05/12/2008	P15/leste/sul (3)	26/27/29/31	10,00	-	
05/12/2008	P15/leste/oeste (1)	24/25/26/29	10,00	-	
05/12/2008	P15/leste/oeste (2)	24/26/27/30	4,00	-	
05/12/2008	P15/leste/oeste (3)	22/27/28/31	2,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/leste (1)	20/21/24/26	13,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/leste (2)	19/22/24/26	12,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/leste (3)	21/24/25	4,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/norte (1)	25/27/30/37	13,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/norte (2)	20/24/25/26	8,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/norte (3)	22/23/25/27	10,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/sul (1)	19/23/24/28	13,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/sul (2)	23/25/28	9,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/sul (3)	23/24/27	9,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/oeste (1)	23/28/30/32	3,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/oeste (2)	22/25/26/28	4,00	-	
05/12/2008	P15/oeste/oeste (3)	24/25/26/28	1,00	-	
05/12/2008	P14/oeste/norte (1)	24/26/28/32	2,00	-	
05/12/2008	P14/oeste/norte (2)	24/26/28/29/30	3,00	-	
05/12/2008	P14/oeste/norte (3)	26/28/29/30/32/34	5,00	-	
05/12/2008	P14/oeste/oeste (1)	19/23/26/27/28/33	9,00	-	
05/12/2008	P14/oeste/oeste (2)	21/23/24/26/27	3,00	-	
05/12/2008	P14/oeste/oeste (3)	19/21/23/25/26/28	2,00	-	
05/12/2008	P14/oeste/leste (1)	19/24/25/28/31	14,00	-	
05/12/2008	P14/oeste/leste (2)	20/23/24/26/27/30/31	3,00	-	
05/12/2008	P14/oeste/leste (3)	18/24/25/26/29/30/32	2,00	-	
05/12/2008	P14/oeste/sul (1)	21/23/24/26/28/29/30	6,00	-	Amostra estava quebrada
05/12/2008	P14/oeste/sul (2)	22/23/25/26/27/29	9,00	-	
05/12/2008	P14/oeste/sul (3)	21/22/23/24/25/26/28/48	4,00	-	
05/12/2008	P14/leste/oeste (1)	20/21/25/26/28/29/30	5,00	-	
05/12/2008	P14/leste/oeste (2)	22/23/24/25/28/29/30	4,00	-	
05/12/2008	P14/leste/oeste (3)	22/23/24/26/27/28/32	3,00	-	
05/12/2008	P14/leste/sul (1)	23/25/27/29/31/32/33	9,00	-	
05/12/2008	P14/leste/sul (2)	18/20/26/27/28/30/32/34	6,00	-	
05/12/2008	P14/leste/sul (3)	21/23/24/25/26/27/28/	1,00	-	

## Ano 2008

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
05/12/2008	P14/leste/norte (1)	22/23/24/26/30	6,00	-	
05/12/2008	P14/leste/norte (2)	22/25/26/27/28/29	10,00	-	
05/12/2008	P14/leste/norte (3)	24/27/29/30/31/32	18,00	-	
05/12/2008	P14/leste/leste (1)	21/23/24/28/29	9,00	-	
05/12/2008	P14/leste/leste (2)	22/25/26/29/32	5,00	-	
05/12/2008	P14/leste/leste (3)	24/25/27/29/34	8,00	-	
06/12/2008	P13/leste/norte (1)	21/23/26/29/31	4,00	-	
06/12/2008	P13/leste/norte (2)	21/24/25/26/27/28	5,00	-	
06/12/2008	P13/leste/norte (3)	20/21/22/25/28/29	4,00	-	
06/12/2008	P13/leste/leste (1)	21/22/24/26/27/28	1,00	-	
06/12/2008	P13/leste/leste (2)	13/21/22/25/26/29/30	1,00	-	
06/12/2008	P13/leste/leste (3)	24/25/26/29/30/35	3,00	-	
06/12/2008	P13/leste/sul (1)	23/24/25/27/28/29/31	7,00	-	
06/12/2008	P13/leste/sul (2)	22/24/29/31/34/53/64	8,00	-	
06/12/2008	P13/leste/sul (3)	38/40/42/50/57/65	5,00	-	
06/12/2008	P13/leste/oeste (1)	18/20/21/22/24/27/30	1,00	-	
06/12/2008	P13/leste/oeste (2)	21/22/25/26/28	5,00	-	
06/12/2008	P13/leste/oeste (3)	22/23/24/25/29	4,00	-	
06/12/2008	P13/oeste/norte (1)	20/21/24/26/27	4,00	-	
06/12/2008	P13/oeste/norte (2)	23/24/25/26/27	5,00	-	
06/12/2008	P13/oeste/norte (3)	23/24/25/26/28/29	9,00	-	
06/12/2008	P13/oeste/leste (1)	19/20/21/22/25/27	5,00	-	
06/12/2008	P13/oeste/leste (2)	21/22/23/25	5,00	-	
06/12/2008	P13/oeste/leste (3)	17/19/20/21/23/24/29	5,00	-	
06/12/2008	P13/oeste/sul (1)	20/21/22/23/24/25/26	4,00	-	
06/12/2008	P13/oeste/sul (2)	9/23/24/27/29/34	7,00	-	
06/12/2008	P13/oeste/sul (3)	21/23/24/25/26/29	4,00	-	
09/12/2008	P12/leste/oeste (1)	19/24/27/28	2,00	-	
09/12/2008	P12/leste/oeste (2)	20/24/29/33	3,00	-	
09/12/2008	P12/leste/oeste (3)	20/24/26/27	5,00	-	
09/12/2008	P12/leste/sul (1)	24/25/26/28	3,00	-	
09/12/2008	P12/leste/sul (2)	21/25/26/27	3,00	-	
09/12/2008	P12/leste/sul (3)	24/25/29/31	5,00	-	
09/12/2008	P12/leste/norte (1)	23/24/26/31	3,00	-	
09/12/2008	P12/leste/norte (2)	24/26/29/31	4,00	-	
09/12/2008	P12/leste/norte (3)	25/26/28/30	4,00	-	
09/12/2008	P12/leste/leste (1)	22/25/30/34	1,00	-	
09/12/2008	P12/leste/leste (2)	25/27/28/29	9,00	-	
09/12/2008	P12/leste/leste (3)	23/24/25/31	4,00	-	
12/12/2008	P10/leste/leste (1)	22/23/24/27	2,00	-	
12/12/2008	P10/leste/leste (2)	19/22/27/28	4,00	-	
12/12/2008	P10/leste/leste (3)	24/26/27	2,00	-	
12/12/2008	P10/leste/norte (1)	21/24/25/27	3,00	-	
12/12/2008	P10/leste/norte (2)	25/27/28/33	3,00	-	
12/12/2008	P10/leste/sul (1)	21/22/24/25	1,00	-	
12/12/2008	P10/leste/sul (2)	22/23/24	5,00	-	
12/12/2008	P10/leste/sul (3)	28/29/30/31	4,00	-	
12/12/2008	P7/oeste (1)	25/27/31/34	8,00	-	
12/12/2008	P7/oeste (2)	24/26/27/28	6,00	-	
12/12/2008	P7/norte (1)	25/26/30/34	5,00	-	
12/12/2008	P7/norte (2)	25/29/30/32	10,00	-	
12/12/2008	P7/sul (1)	27/28/29/30	0,00	-	

## Ano 2008

**Legenda: P:** Pilar; **T:** Travessa; **L:** Longarina; **B:** Bloco; **PL:** Placa; **TR:** Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
12/12/2008	P7/sul (2)	26/27/28/30	0,00	-	
12/12/2008	P7/leste (1)	22/28/29/30	10,00	-	
12/12/2008	P7/leste (2)	28/29/31	10,00	-	
12/12/2008	B7/leste	24/26/27/29	1,00	-	
12/12/2008	B7/sul	27/31/32	8,00	-	
12/12/2008	B/oeste	26/27/33	6,00	-	
12/12/2008	B7/norte	24/25/27/30	10,00	-	
11/06/2008	T20/norte entre C-O	24/27/28/30/34	22,00	-	
16/06/2008	T19 norte (P central)	22/25/26/28/29	20,00	-	
16/06/2008	T19 norte (P oeste)	25/29/30/31/32/35	15,00	-	
12/06/2008	T20 sul entre (C-L)	20/23/26/29/33/36	13,00	-	
12/06/2008	T20 sul/próximo P leste	21/23/24/20/33/34	5,00	-	
26/06/2008	T18/norte (1)	26/27/29/30	219,40	-	
26/06/2008	T18/norte (2)	29/32/34/37	211,63	-	
17/06/2008	T19 sul (2)	24/26/29/31	52,91	-	
26/06/2008	T18/sul (1)	28/29/31/33	177,83	-	
26/06/2008	T18/sul (3)	28/29/30/31	75,16	-	
26/06/2008	T18/norte (1)	26/27/29/30	10,00	-	
26/06/2008	T18/norte (2)	29/32/34/37	12,00	-	
26/06/2008	T18/norte (3)	30/31/33/35/37	1,00	-	
26/06/2008	T18/sul (1)	28/29/31/33	12,00	-	
26/06/2008	T18/sul (2)	25/28/29/33	6,00	-	
26/06/2008	T18/sul (3)	28/29/30/31	18,00	-	
16/06/2008	T19 norte (P central)	22/25/26/28/29	20,00	-	
16/06/2008	T19 norte (P leste)	20/22/27/28/29/35	5,00	-	
16/06/2008	T19 norte (P oeste)	25/29/30/31/32/35	15,00	-	
17/06/2008	T19 sul (1)	24/25/26/37	4,00	-	
17/06/2008	T19 sul (2)	24/26/29/31	20,00	-	
17/06/2008	T19 sul (3)	25/26/27/33	4,00	-	
12/06/2008	T20 sul entre (C-L)	20/23/26/29/33/36	13,00	-	
12/06/2008	T20 sul/(próximo P leste)	21/23/24/20/33/34	5,00	-	
11/06/2008	T20/norte entre C-L	21/25/28/30/32	5,00	-	
11/06/2008	T20/norte entre C-O	24/27/28/30/34	22,00	-	
11/06/2008	T20/norte/oeste	17/22/23/27	2,00	-	
12/06/2008	T20/sul	20/25/27/29	2,00	-	
13/06/2008	TR1 entre (L2-3)	18/20/21/24	15,00	-	
16/06/2008	TR1 norte entre L4-5	20/21/22/25	12,00	-	
23/06/2008	TR1/norte entre (L2-3)	19/20/21/22	15,00	-	
19/06/2008	TR1/norte entre (L5-6)	15/17/19/21	13,00	-	
01/07/2008	TR1/norte L5-6	19/21/23/24	9,00	-	
03/07/2008	TR17/norte (1)	25/21/30/31	10,00	-	
03/07/2008	TR17/norte (2)	27/24/26/25	2,00	-	
16/06/2008	TR2 sul entre L4-5	19/20/21/22/24	5,00	-	
01/07/2008	TR2/norte entre L1-2	17/18/19/20	10,00	-	
11/06/2008	TR2/norte entre L6-7	20/21/22/23/24	14,00	-	
19/06/2008	TR2/sul entre L3-4	20/21/22/24	12,00	-	
11/06/2008	TR2/sul entre L3-4	18/19/21/22/23	10,00	-	
01/07/2008	TR2/sul entre L6/7	16/20/21	9,00	-	
18/06/2008	TR3/norte entre (L2-3)	14/16/18/22	15,00	-	
08/07/2008	TR3/norte entre (L2-3)	16/18/21/22/24	14,00	-	
18/06/2008	TR3/norte entre (L6-7)	19/20/21/22/24/25	10,00	-	
13/06/2008	TR3/norte entre (L6-7)	20/21/22/23	1,00	-	



## Ano 2008

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
23/06/2008	TR3/norte entre (L6-7)	18/19/21/23/24	12,00	-	
01/07/2008	TR3/norte entre L4-5	18/20/21/23	11,00	-	
23/06/2008	TR3/sul entre (L3-4)	17/19/20/21/22	12,00	-	
23/06/2008	TR3/sul entre (L5-6)	18/21/22/26	13,00	-	
24/06/2008	TR3/sul entre L3-5	18/19/21/22	12,00	-	
01/07/2008	TR3/sul entre L7-8	19/21/22/24	1,00	-	
18/06/2008	TR4/norte entre (L4-5)	19/20/21/22	10,00	-	
23/06/2008	TR4/norte entre (L6-7)	19/21/22/25	12,00	-	
24/06/2008	TR4/norte entre L2-5	17/18/19/20/21	17,00	-	
10/06/2008	TR4/norte entre L4-5	16/17/19/21	15,00	-	
01/07/2008	TR4/norte entre L6-7	18/19/20	9,00	-	
18/06/2008	TR4/sul entre (L5-6)	19/20/23/24	10,00	-	
13/06/2008	TR4/sul entre (L5-6)	18/20/21/22/23	15,00	-	
01/07/2008	TR4/sul entre L2-3	18/19/21/22	4,00	-	
18/06/2008	TR5/sul entre (L1-2)	20/21/22	10,00	-	
24/06/2008	TR5/sul entre (L3-4)	19/20/22/24	12,00	-	
23/06/2008	TR5/sul entre (L5-6)	21/23	15,00	-	
18/06/2008	TR5/sul entre (L6-7)	17/19/21/22	12,00	-	
12/06/2008	TR5/sul entre (L8-7)	20/21/22/23/28	13,00	-	
13/06/2008	TR5/sul entre (L8-7)	20/21/22/23/29	13,00	-	
01/07/2008	TR5/sul entre L2-3	18/19/20	6,00	-	
01/07/2008	TR5/sul entre L6-7	19/20/21/22	10,00	-	
01/07/2008	TR1/norte L5-6	19/21/23/24	163,43	-	
03/07/2008	TR17/norte (1)	25/21/30/31	200,24	-	
01/07/2008	TR2/norte entre L1-2	17/18/19/20	95,78	-	
01/07/2008	TR2/sul entre L6/7	16/20/21	124,72	-	
01/07/2008	TR3/norte entre L4-5	18/20/21/23	97,19	-	
01/07/2008	TR4/norte entre L6-7	18/19/20	124,72	-	
01/07/2008	TR5/sul entre L2-3	18/19/20	280,62	-	
01/07/2008	TR5/sul entre L6-7	19/20/21/22	117,60	-	
19/06/2008	TR1/norte entre (L5-6)	15/17/19/21	53,65	-	
19/06/2008	TR2/sul entre L3-4	20/21/22/24	91,93	-	
08/07/2008	TR3/norte entre (L2-3)	16/18/21/22/24	58,26	-	
18/06/2008	TR3/norte entre (L6-7)	19/20/21/22/24/25	133,36	-	
18/06/2008	TR4/norte entre (L4-5)	19/20/21/22	117,60	-	
18/06/2008	TR4/sul entre (L5-6)	19/20/23/24	129,36	-	
18/06/2008	TR5/sul entre (L1-2)	20/21/22	123,41	-	
18/06/2008	TR5/sul entre (L6-7)	17/19/21/22	75,80	-	
23/06/2008	TR1/norte entre (L2-3)	19/20/21/22	15,00	-	
11/06/2008	TR2/norte entre L6-7	20/21/22/23/24	14,00	-	
11/06/2008	TR2/sul entre L3-4	18/19/21/22/23	10,00	-	
23/06/2008	TR3/norte entre (L6-7)	18/19/21/23/24	12,00	-	
23/06/2008	TR3/sul entre (L3-4)	17/19/20/21/22	12,00	-	
23/06/2008	TR3/sul entre (L5-6)	18/21/22/26	13,00	-	
23/06/2008	TR4/norte entre (L6-7)	19/21/22/25	12,00	-	
10/06/2008	TR4/norte entre L4-5	16/17/19/21	15,00	-	
23/06/2008	TR5/sul entre (L5-6)	21/23	15,00	-	
13/06/2008	TR1 entre (L2-3)	18/20/21/24	15,00	-	
16/06/2008	TR1 norte entre L4-5	20/21/22/25	12,00	-	
24/06/2008	TR3/sul entre L3-5	18/19/21/22	12,00	-	
24/06/2008	TR4/norte entre L2-5	17/18/19/20/21	17,00	-	
13/06/2008	TR4/sul entre (L5-6)	18/20/21/22/23	15,00	-	

## Ano 2008

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
24/06/2008	TR5/sul entre (L3-4)	19/20/22/24	12,00	-	
12/06/2008	TR5/sul entre (L8-7)	20/21/22/23/28	13,00	-	
11/06/2008	L1/leste	20/21/23/26	12,00	-	
10/06/2008	L1/oeste	17/20/21/23	15,00	-	
23/06/2008	L2/oeste	19/20/21/22/26	13,00	-	
10/06/2008	L3/oeste	20/22/26/27	15,00	-	
23/06/2008	L3/oeste	19/21/22/23	15,00	-	
10/06/2008	L4/oeste	22/25/28/29	13,00	-	
08/07/2008	L5/oeste	19/21/22/23/24/25	19,00	-	
23/06/2008	L6/leste	22/23/24/26/31	15,00	-	
10/06/2008	L6/leste-chanfro	21/22/25/26	15,00	-	
08/07/2008	L7/leste	18/19/20/21/22	15,00	-	
11/06/2008	L7/oeste	20/22/23/25/28	14,00	-	
23/06/2008	L8/leste	21/22/23	8,00	-	
11/06/2008	L8/oeste	16/19/20/21/22	15,00	-	
13/06/2008	L1/leste	19/22/23/25	12,00	-	
13/06/2008	L1/oeste	19/20/21/22/25	12,00	-	
13/06/2008	L2/leste	18/20/21/22/23	15,00	-	
13/06/2008	L2/oeste	20/21/22/23	14,00	-	
13/06/2008	L3/oeste	21/22/24/30	10,00	-	
24/06/2008	L4/leste	25/26/27	11,00	-	
24/06/2008	L4/leste	19/22/25	8,00	-	
16/06/2008	L4/leste chanfro	23/24/26/27/31	15,00	-	
13/06/2008	L5/leste	12/20/21/23	13,00	-	
16/06/2008	L5/leste	19/20/21/22/24	16,00	-	
13/06/2008	L6/leste	18/20/22/23	10,00	-	
24/06/2008	L6/oeste	17/19/20/23	12,00	-	
16/06/2008	L7/leste	16/20/21/22/25/28	14,00	-	
24/06/2008	L7/oeste	19/20/22	11,00	-	
16/06/2008	L8/oeste	18/19/21/22/24/26	13,00	-	
24/06/2008	L8/oeste	19/21/22/23/24/34	8,00	-	
18/06/2008	L1/leste	18/19/20/21/22	66,23	-	
19/06/2008	L1/leste chanfro	22/23/25/31	178,42	-	
19/06/2008	L1/oeste	18/19/20/22	48,51	-	
19/06/2008	L2/oeste	16/19/21/23	75,80	-	
18/06/2008	L3/leste	20/21/22/24/25	97,51	-	
19/06/2008	L3/oeste	21/22/26/24	151,27	-	
18/06/2008	L4/leste chanfro	21/22/24/26/29	65,08	-	
18/06/2008	L4/oeste	16/19/22/24/27	58,03	-	
19/06/2008	L5/leste	17/21/22/23	71,30	-	
18/06/2008	L5/leste chanfro	19/24/26/30	66,96	-	
19/06/2008	L6/leste	19/20/21/22	97,19	-	
18/06/2008	L6/oeste	19/20/21/22	52,27	-	
18/06/2008	L7/leste	14/19/20/22	68,32	-	
19/06/2008	L7/oeste	19/21/22/23	49,36	-	
19/06/2008	L8/leste	17/18/19/21	153,72	-	
18/06/2008	L8/oeste	12/15/18/20	25,57	-	
01/07/2008	L1/leste	19/20/21/24	152,36	-	
01/07/2008	L1/oeste	18/19/20/22	75,80	-	
01/07/2008	L2/leste	19/20/21/22	60,00	-	
01/07/2008	L2/oeste	18/19/20/22	55,69	-	
01/07/2008	L3/oeste	18/20/22/24	48,21	-	

## Ano 2008

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
01/07/2008	L4/leste	19/20/21/22	69,59	-	
01/07/2008	L4/oeste	20/21/24	51,28	-	
07/07/2008	L5/leste	20/21/22/23/24	46,87	-	
01/07/2008	L5/oeste	19/20/21/22	69,59	-	
07/07/2008	L6/leste	19/20/22/24/25	60,20	-	
07/07/2008	L6/oeste	19/20/21/22/24	38,82	-	
01/07/2008	L7/leste	19/22/23/24	111,94	-	
01/07/2008	L8/leste	20/22/23/24	47,94	-	
01/07/2008	L8/oeste	22/23/27/28	68,32	-	
01/07/2008	L1/leste	19/20/21/24	9,00	-	
18/06/2008	L1/leste	18/19/20/21/22	13,00	-	
13/06/2008	L1/leste	19/22/23/25	12,00	-	
11/06/2008	L1/leste	20/21/23/26	12,00	-	
19/06/2008	L1/leste chanfro	22/23/25/31	10,00	-	
01/07/2008	L1/oeste	18/19/20/22	12,00	-	
19/06/2008	L1/oeste	18/19/20/22	15,00	-	
13/06/2008	L1/oeste	19/20/21/22/25	12,00	-	
10/06/2008	L1/oeste	17/20/21/23	15,00	-	
01/07/2008	L2/leste	19/20/21/22	14,00	-	
18/06/2008	L2/leste	19/20/21/22/25	5,00	-	
13/06/2008	L2/leste	18/20/21/22/23	15,00	-	
01/07/2008	L2/leste chanfro	21/22/25/30	5,00	-	
01/07/2008	L2/oeste	18/19/20/22	14,00	-	
19/06/2008	L2/oeste	16/19/21/23	12,00	-	
13/06/2008	L2/oeste	20/21/22/23	14,00	-	
23/06/2008	L2/oeste	19/20/21/22/26	13,00	-	
01/07/2008	L3/leste	18/19/22	4,00	-	
18/06/2008	L3/leste	20/21/22/24/25	12,00	-	
01/07/2008	L3/oeste	18/20/22/24	16,00	-	
19/06/2008	L3/oeste	21/22/26/24	10,00	-	
13/06/2008	L3/oeste	21/22/24/30	10,00	-	
10/06/2008	L3/oeste	20/22/26/27	15,00	-	
23/06/2008	L3/oeste	19/21/22/23	15,00	-	
01/07/2008	L4/leste	19/20/21/22	13,00	-	
24/06/2008	L4/leste	25/26/27	11,00	-	
24/06/2008	L4/leste	19/22/25	8,00	-	
18/06/2008	L4/leste chanfro	21/22/24/26/29	16,00	-	
16/06/2008	L4/leste chanfro	23/24/26/27/31	15,00	-	
01/07/2008	L4/oeste	19/20/21/22	4,00	-	
01/07/2008	L4/oeste	20/21/24	16,00	-	
19/06/2008	L4/oeste	16/17/19/20	3,00	-	
19/06/2008	L4/oeste	17/19/16/20	3,00	-	
18/06/2008	L4/oeste	16/19/22/24/27	15,00	-	
10/06/2008	L4/oeste	22/25/28/29	13,00	-	
01/07/2008	L5/leste	19/20/21/24	19,00	-	
19/06/2008	L5/leste	17/21/22/23	13,00	-	
13/06/2008	L5/leste	12/20/21/23	13,00	-	
16/06/2008	L5/leste	19/20/21/22/24	16,00	-	
18/06/2008	L5/leste chanfro	19/24/26/30	16,00	-	
07/07/2008	L5/leste	20/21/22/23/24	17,00	-	
01/07/2008	L5/oeste	19/20/21/22	13,00	-	
12/06/2008	L5/oeste	18/19/20/22	1,00	-	

## Ano 2008

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
23/06/2008	L5/oeste	19/21/22/23	23,00	-	
19/06/2008	L6/leste	19/20/21/22	11,00	-	
13/06/2008	L6/leste	18/20/22/23	10,00	-	
11/06/2008	L6/leste	18/20/21/22/23	5,00	-	
08/07/2008	L5/oeste	19/21/22/23/24/25	19,00	-	
23/06/2008	L6/leste	22/23/24/26/31	15,00	-	
10/06/2008	L6/leste-chanfro	21/22/25/26	15,00	-	
01/07/2008	L6/leste	19/20/24/25	23,00	-	
07/07/2008	L6/leste	19/20/22/24/25	15,00	-	
01/07/2008	L6/oeste	18/19/20/21	17,00	-	
18/06/2008	L6/oeste	19/20/21/22	15,00	-	
24/06/2008	L6/oeste	17/19/20/23	12,00	-	
07/07/2008	L6/oeste	19/20/21/22/24	18,00	-	
01/07/2008	L7/leste	19/22/23/24	11,00	-	
18/06/2008	L7/leste	14/19/20/22	12,00	-	
16/06/2008	L7/leste	16/20/21/22/25/28	14,00	-	
12/06/2008	L7/leste	18/19/21/23/24/25	1,00	-	
23/06/2008	L7/leste	18/20/22	17,00	-	
19/06/2008	L7/oeste	19/21/22/23	16,00	-	
24/06/2008	L7/oeste	19/20/22	11,00	-	
11/06/2008	L7/oeste	20/22/23/25/28	14,00	-	
01/07/2008	L8/leste	20/22/23/24	17,00	-	
19/06/2008	L8/leste	17/18/19/21	8,00	-	
08/07/2008	L7/leste	18/19/20/21/22	15,00	-	
23/06/2008	L8/leste	21/22/23	8,00	-	
01/07/2008	L8/oeste	22/23/27/28	16,00	-	
18/06/2008	L8/oeste	12/15/18/20	17,00	-	
16/06/2008	L8/oeste	18/19/21/22/24/26	13,00	-	
24/06/2008	L8/oeste	19/21/22/23/24/34	8,00	-	
11/06/2008	L8/oeste	16/19/20/21/22	15,00	-	
13/06/2008	L8/oeste/chanfro	6/19/20/25/39	14,00	-	

## Ano 2009

**Legenda: P:** Pilar; **T:** Travessa; **L:** Longarina; **B:** Bloco; **PL:** Placa; **TR:** Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
01/07/2009	Pistanorte - L1	25/28/27/26	12,00	-	
01/07/2009	Pistanorte - L2	27/31/27/23	1,00	-	
01/07/2009	Pistanorte - L1	30/28/29/26	8,00	-	
01/07/2009	Pnorte - L1 - Fleste	28/25/24/29	1,00	-	
01/07/2009	Pnorte - L2 - Fleste	28/23/25/27	8,00	-	
01/07/2009	Pnorte - TR2 - Fnorte - L2/L3	23/26/33/28	2,00	-	
01/07/2009	Pnorte - L3 - Fleste	31/24/29/25	10,00	-	
01/07/2009	P33 - Fsul (oeste)	31/33/28/24	17,00	-	
01/07/2009	P33 - Fleste (oeste)	32/25/29/27	14,00	-	
01/07/2009	P33 - Fnorte (oeste)	32/30/29/31	17,00	-	
01/07/2009	P33 - Foeste (oeste)	35/29/31/32	25,00	-	
01/07/2009	P32 - Fsul (oeste)	27/29/24/28	5,00	-	
01/07/2009	P32 - Fleste (oeste)	21/36/26/30	13,00	-	
02/07/2009	P32 (oeste) - Fsul	22/34/28/31	12,00	-	
02/07/2009	P32 (oeste) - Foeste	34/29/33/31	1,00	-	
02/07/2009	P33 (oeste) - Fsul	36/28/30/33	12,00	-	
02/07/2009	P33 (oeste) - Foeste	31/33/35/34	10,00	-	
02/07/2009	P33 (oeste) - Fnorte	34/32/27/31	17,00	-	
07/07/2009	P31 (oeste) - Foeste	33/29/30/33	12,00	-	
07/07/2009	P31 (oeste) - Fnorte	24/30/27/30	21,00	-	
07/07/2009	P31 (oeste) - Fleste	35/29/21/31	15,00	-	
07/07/2009	P31 (oeste) - Fsul	27/31/40/30	12,00	-	
07/07/2009	P31 (leste) - Fsul	30/32/27/27	13,00	-	
07/07/2009	P31 (leste) - Foeste	34/32/24/27	9,00	-	
07/07/2009	P31 (leste) - Fnorte	27/40/38/24	10,00	-	
07/07/2009	P31 (leste) - Fleste	34/25/28/29	1,00	-	
07/07/2009	P30 (leste) - Foeste	29/28/33/25	16,00	-	
07/07/2009	P30 (leste) - Fsul	37/31/35/31	9,00	-	
07/07/2009	P30 (leste) - Fnorte	23/33/30/28	15,00	-	
07/07/2009	P30 (leste) - Fleste	32/20/33/31	11,00	-	
07/07/2009	P30 (oeste) - Fleste	38/34/32/33	19,00	-	
07/07/2009	P30 (oeste) - Fsul	29/28/29/29	11,00	-	
07/07/2009	P30 (oeste) - Foeste	29/31/31/29	20,00	-	
07/07/2009	P30 (oeste) - Fnorte	32/37/28/34	12,00	-	
07/07/2009	P29 - Foeste (leste)	35/34/32/37	15,00	-	
07/07/2009	P29 - Fsul (leste)	29/22/27/33	13,00	-	
07/07/2009	P29 - Fleste (leste)	24/36/26/30	15,00	-	
07/07/2009	P29 - Fsul (oeste)	20/37/32/28	12,00	-	
07/07/2009	P29 - Foeste (oeste)	33/43/35/39	12,00	-	
07/07/2009	P29 - Fleste (oeste)	28/38/25/33	10,00	-	
10/07/2009	P27 - Leste - Fsul	33/32/30/23	13,00	-	
10/07/2009	P27 - Leste - Foeste	25/26/33/27	19,00	-	
10/07/2009	P27 - Leste - Fnorte	32/22/31/29	20,00	-	
10/07/2009	P27 - Leste - Fleste	23/27/31/28	9,00	-	
10/07/2009	P27 - Oeste - Fnorte	34/31/33/28	10,00	-	
10/07/2009	P27 - Oeste - Fleste	26/28/35/32	16,00	-	
10/07/2009	P27 - Oeste - Fsul	30/33/29/34	15,00	-	
10/07/2009	P27 - Oeste - Foeste	28/36/30/25	15,00	-	
10/07/2009	P28 - Oeste - Fnorte	27/30/28/31	14,00	-	
10/07/2009	P28 - Oeste - Fleste	37/35/34/33	1,00	-	
10/07/2009	P28 - Oeste - Fsul	25/30/29/23	12,00	-	
10/07/2009	P28 - Oeste - Foeste	31/33/24/28	14,00	-	
10/07/2009	P28 - Leste - Foeste	35/29/32/36	15,00	-	

## Ano 2009

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
10/07/2009	P28 - Leste - Fsul	30/29/36/33	15,00	-	
10/07/2009	P28 - Leste - Fnorte	31/30/28/35	14,00	-	
10/07/2009	P28 - Leste - Fleste	36/32/31/15	25,00	-	
01/07/2009	L2 - Pnorte	26/34/20/24	9,00	-	
01/07/2009	L3 - Pistanorte	24/26/21/25	13,00	-	
01/07/2009	Pistanorte - L2	26/25/30/23	5,00	-	
01/07/2009	L1 - Pistanorte - Foeste	29/28/25/27	10,00	-	
01/07/2009	L2 - Pistanorte - Fleste	27/29/22/21	5,00	-	
01/07/2009	L3 - Pistanorte - Fleste	23/26/31/25	10,00	-	
02/07/2009	L6 - Foeste - Psul	27/29/24/20	1,00	-	
02/07/2009	L5 - Fleste - Pistasul	24/22/23/26	2,00	-	
02/07/2009	L4 - Foeste - Pistasul	24/26/29/26	12,00	-	
02/07/2009	L6 - Foeste - Pistasul	23/26/32/25	5,00	-	
02/07/2009	L4 - Fleste - Pistasul	24/25/22/23	5,00	-	
02/07/2009	L5 - Foeste - Pistasul	28/30/24/26	15,00	-	
02/07/2009	L4 - Foeste - Pistasul	26/24/28/20	2,00	-	
02/07/2009	L6 - Fleste - Pistasul	35/36/28/31	11,00	-	
02/07/2009	L5 - Fleste - Pistasul	27/25/31/33	10,00	-	
02/07/2009	L6 - Fleste - Pistasul	26/28/24/25	11,00	-	
02/07/2009	L5 - Fleste - Pistasul	27/22/22/27	6,00	-	
07/07/2009	L2 - Fleste	26/29/27/24	6,00	-	
07/07/2009	L1 - Foeste	25/33/34	9,00	-	
07/07/2009	L3 - Fleste	31/35/27/26	9,00	-	
07/07/2009	L2 - Foeste	25/29/24/22	11,00	-	
07/07/2009	L1 - Fleste	22/18/26/25	10,00	-	
07/07/2009	L1 - Foeste	26/32/30/34	11,00	-	
07/07/2009	L1 - Fleste	25/26/20/19	15,00	-	
07/07/2009	L2 - Foeste	27/30/34/32	13,00	-	
09/07/2009	L6 - Fleste	28/22/23/24	7,00	-	
09/07/2009	L5 - Foeste	30/35/32/40	17,00	-	
09/07/2009	L6 - Fleste	23/26/29/25	15,00	-	
08/07/2009	L8 - Foeste	26/24/22/28	18,00	-	
07/07/2009	L3 - Fleste	25/28/26/29	10,00	-	
08/07/2009	L5 - Fleste	24/25/23/21	9,00	-	
09/07/2009	L5 - Fleste	28/34/25/26	11,00	-	
09/07/2009	L5 - Fleste	20/27/29/30	13,00	-	
09/07/2009	L6 - Foeste	25/23/32/27	10,00	-	
09/07/2009	L5 - Foeste	24/31/29	8,00	-	
10/07/2009	L5 - Fleste	30/26/27/25	1,00	-	
10/07/2009	L6 - Fleste	25/29/22/23	10,00	-	
10/07/2009	L4 - Foeste	30/31/29/23	11,00	-	
10/07/2009	L5 - Foeste	25/22/28/24	10,00	-	
10/07/2009	L6 - Foeste	28/30/27/31	14,00	-	
10/07/2009	L4 - Foeste	27/25/30/26	10,00	-	
10/07/2009	L5 - Fleste	25/27/28/31	13,00	-	
10/07/2009	L6 - Fleste	29/22/23/24	11,00	-	
10/07/2009	L5 - Foeste	33/23/28/25	8,00	-	
10/07/2009	L6 - Fleste	27/24/30/29	12,00	-	
10/07/2009	L5 - Foeste	25/23/22/24	1,00	-	
10/07/2009	L6 - Fleste	24/25/23/28	8,00	-	
10/07/2009	L2 - Fleste	27/26/29/25	12,00	-	
10/07/2009	L1 - Foeste	28/26/22/29	10,00	-	

## Ano 2009

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
10/07/2009	L2 - Foeste	23/27/22/30	1,00	-	
10/07/2009	L1 - Foeste	41/34/27/26	1,00	-	
10/07/2009	L3 - Fleste	35/34/28/38	1,00	-	
10/07/2009	L1 - Foeste	30/31/28/27	14,00	-	
10/07/2009	L2 - Fleste	25/33/28/27	16,00	-	
10/07/2009	L1 - Fleste	37/35/33/28	12,00	-	
10/07/2009	L1 - Foeste	18/26/29/27	11,00	-	
10/07/2009	L2 - Fleste	27/32/28/29	9,00	-	
10/07/2009	L3 - Fleste	27/26/29/28	19,00	-	
10/07/2009	L2 - Foeste	34/28/30/29	12,00	-	
01/07/2009	TR1 - L1/L2 - Pistanorte	30/29/28/31	1,00	-	
01/07/2009	TR3 - L1/L2 - Pistanorte	26/29/28/25	1,00	-	
01/07/2009	TR4 - Pistanorte - L2/L3	29/23/26/30	1,00	-	
01/07/2009	TR3 - Fsul - L3/L2 - Pistanorte	24/30/22/27	1,00	-	
01/07/2009	TR1 - Fsul - L1/L2 - Pnorte	33/21/30/27	1,00	-	
02/07/2009	TR - Fnorte - L4/L5 - Pistasul	27/34/27/32	1,00	-	
02/07/2009	TR1 - Fnorte - L5/L6 - Pistasul	25/26/20/23	2,00	-	
02/07/2009	TR1 - Fsul - L4/L5 - Pistasul	28/27/26/25	1,00	-	
02/07/2009	TR2 - Fnorte - L4/L5 - Pistasul	24/20/26/30	1,00	-	
02/07/2009	TR3 - Fsul - L5/L6 - Pistasul	24/21/29/30	1,00	-	
02/07/2009	TR2 - Fsul - L4/L5 - Pistasul	23/23/23/23	1,00	-	
02/07/2009	TR1 - Fnorte - L4/L5 - Pistasul	25/26/19/26	1,00	-	
07/07/2009	TR3 - Fsul - L2/L3	26/32/27/29	10,00	-	
07/07/2009	TR1 - Fsul - L2/L3	20/28/21/23	1,00	-	
07/07/2009	TR2 - Fnorte - L1/L2	24/26/25/28	10,00	-	
07/07/2009	TR0 - L2/L3 - Fsul	29/28/24/31	12,00	-	
07/07/2009	TR4 - L1/L2 - Fnorte	29/23/22/25	1,00	-	
07/07/2009	TR3 - L2/L3 - Fsul	25/29/33/31	8,00	-	
07/07/2009	TR3 - L1/L2 - Fnorte	36/24/29/28	9,00	-	
07/07/2009	TR2 - L2/L3 - Fnorte	30/33/23/27	8,00	-	
07/07/2009	TR0 - L2/L3 - Fsul	34/30/31/35	2,00	-	
08/07/2009	TR1 - Fnorte - L4/L5	25/26/27/23	12,00	-	
08/07/2009	TR1 - Fsul - L6/L5	28/31/27/32	11,00	-	
09/07/2009	TR2 - L4/L5 - Fnorte	29/22/26/28	1,00	-	
09/07/2009	TR4 - Fnorte - L4/L5	26/27/22/24	8,00	-	
09/07/2009	TR3 - L5/L6 - Fnorte	26/28/29/34	11,00	-	
09/07/2009	TR1 - Fsul - L4/L5	28/27/22/24	10,00	-	
09/07/2009	TR2 - Fnorte - L5/L6	30/29/27/26	6,00	-	
09/07/2009	TR3 - Fnorte - L4/L5	30/36/25/31	5,00	-	
09/07/2009	TR4 - Fnorte - L5/L6	29/24/30/27	1,00	-	
10/07/2009	TR4 - Fnorte - L4/L5	26/27/20/31	11,00	-	
10/07/2009	TR3 - Fsul - L6/L5	20/24/26/25	12,00	-	
10/07/2009	TR2 - Fnorte - L4/L5	25/29/28/23	1,00	-	
10/07/2009	TR1 - Fsul - L5/L6	22/21/26/31	1,00	-	
10/07/2009	TR3 - Fnorte - L4/L5	31/24/26/16	6,00	-	
10/07/2009	TR2 - Fsul - L5/L6	25/27/29/28	1,00	-	
10/07/2009	TR1 - Fnorte - L4/L5	22/24/25/23	1,00	-	
10/07/2009	TR3 - Fsul - L1/L2	27/24/21/20	1,00	-	
10/07/2009	TR2 - Fsul - L2/L3	25/22/26/21	2,00	-	
10/07/2009	TR0 - Fsul - L1/L2	19/23/21/22	1,00	-	
10/07/2009	TR1 - L2/L3 - Fsul	23/25/21/24	8,00	-	
10/07/2009	TR3 - L1/L2 - Fnorte	29/24/23/32	13,00	-	
10/07/2009	TR4 - L2/L3 - Fnorte	26/25/23/28	11,00	-	

## Ano 2009

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
10/07/2009	TR4 - Fnorte	25/26/32/28	1,00	-	
10/07/2009	TR0 - Fsul - L1/L2	26/27/23/31	1,00	-	
10/07/2009	TR2 - Fnorte - L1/L2	28/25/26/32	1,00	-	
01/07/2009	T32 - Fsul	24/26/30/24	10,00	-	
01/07/2009	T34 - Fnorte	27/31/39/31	15,00	-	
01/07/2009	T33 - Fsul	28/27/30/26	5,00	-	
01/07/2009	T33 - Fnorte	32/27/40/30	19,00	-	
02/07/2009	T34 - Fnorte - Pistasul	23/25/28/23	3,00	-	
02/07/2009	T33 - Fsul - Pistasul	32/27/30/31	14,00	-	
07/07/2009	T31 - Fnorte	29/34/33/28	14,00	-	
07/07/2009	T30 - Fsul	25/27/28/33	14,00	-	
07/07/2009	T30 - Fnorte	31/23/25/27	8,00	-	
07/07/2009	T29 - Fsul	33/26/29/28	18,00	-	
08/07/2009	T29 - Fsul	29/27/34/33	11,00	-	
09/07/2009	T30 - Fnorte	27/25/28/33	12,00	-	
09/07/2009	T30 - Fsul	25/30/27/26	12,00	-	
09/07/2009	T31 - Fnorte	34/27/25/32	6,00	-	
10/07/2009	T28 - Fnorte	28/21/29/33	10,00	-	
10/07/2009	T27 - Fsul	26/30/32/27	9,00	-	
10/07/2009	T27 - Fnorte	28/30/31/33	6,00	-	
10/07/2009	T28 - Fsul	29/23/28/33	5,00	-	
10/07/2009	T27 - Fnorte	31/28/33/34	1,00	-	
10/07/2009	T27 - Fsul	30/32/26/27	10,00	-	
10/07/2009	T28 - Fnorte	25/29/26/35	13,00	-	
10/07/2009	T28 - Fsul	29/26/28/33	19,00	-	



## Ano 2010

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
03/08/2010	P9 - Leste - Fleste	28/23/31/29/35	14,00	-	
03/08/2010	P9 - Leste - Fleste	33/41/34/32/40	8,00	-	
03/08/2010	P9 - Leste - Fleste	28/31/30/29/32	13,00	-	
03/08/2010	P9 - Leste - Fsul	32/27/33/36/31	10,00	-	
03/08/2010	P9 - Leste - Fsul	36/39/29/33/34	8,00	-	
03/08/2010	P9 - Leste - Fsul	34/37/32/36/34	2,00	-	
03/08/2010	P9 - Leste - Fnorte	36/35/31/32/33	10,00	-	
03/08/2010	P9 - Leste - Fnorte	41/37/29/39/31	10,00	-	
03/08/2010	P9 - Leste - Fnorte	35/31/33/32/34	12,00	-	
03/08/2010	P9A - Leste - Fleste	32/31/37/33/29	19,00	-	
03/08/2010	P9A - Leste - Fleste	29/35/27/38/25	13,00	-	
03/08/2010	P9A - Leste - Fleste	37/35/32/39/36	11,00	-	
04/08/2010	P9A - Leste - Fsul	33/35/32/38/34	14,00	-	
04/08/2010	P9A - Leste - Fsul	32/33/30/27/29	10,00	-	
04/08/2010	P9A - Leste - Fnorte	32/33/30/27/30	11,00	-	
04/08/2010	P9A - Leste - Fnorte	38/40/41/32/38	15,00	-	
04/08/2010	P9B - Leste - Fleste	36/22/25/33/31	17,00	-	
04/08/2010	P9B - Leste - Fnorte	38/35/34/39/29	9,00	-	
04/08/2010	P9B - Leste - Fleste	27/31/34/26/33	13,00	-	
04/08/2010	P9B - Leste - Fsul	27/33/34/32/31	12,00	-	
04/08/2010	P10 - Leste - Fleste	29/33/36/40/35	4,00	-	
04/08/2010	P10 - Leste - Fleste	34/31/30/26/36	4,00	-	
04/08/2010	P10 - Leste - Fleste	32/35/36/29/20	15,00	-	
04/08/2010	P10 - Leste - Fsul	31/36/35/33/32	4,00	-	
05/08/2010	P10 - Leste - Fsul	28/26/29/30/34	4,00	-	
05/08/2010	P10 - Leste - Fnorte	30/32/33/27/28	9,00	-	
05/08/2010	P11 - Leste - Fleste	35/27/31/32/36	12,00	-	
05/08/2010	P11 - Leste - Fleste	35/27/33/37/32	13,00	-	
05/08/2010	P11 - Leste - Fleste	24/29/31/28/19	17,00	-	
05/08/2010	P11 - Leste - Fsul	29/22/21/28/34	4,00	-	
05/08/2010	P11 - Leste - Fsul	32/33/29/34/31	5,00	-	
05/08/2010	P11 - Leste - Fsul	31/27/36/37/33	9,00	-	
05/08/2010	P11 - Leste - Fnorte	37/34/33/36/38	7,00	-	
05/08/2010	P11 - Leste - Fnorte	30/32/31/36/33	8,00	-	
05/08/2010	P11 - Leste - Fnorte	26/30/33/34/27	9,00	-	
05/08/2010	P12 - Leste - Fnorte	28/27/25/21/31	5,00	-	
05/08/2010	P12 - Leste - Fnorte	24/29/33/38/32	3,00	-	
05/08/2010	P12 - Leste - Fleste	34/25/35/31/27	9,00	-	
05/08/2010	P12 - Leste - Fleste	34/31/23/29/28	2,00	-	
05/08/2010	P12 - Leste - Fsul	32/35/30/31/33	2,00	-	
05/08/2010	P12 - Leste - Fsul	29/33/32/30/25	7,00	-	
05/08/2010	P12 - Leste - Fsul	27/29/30/29/31	5,00	-	
05/08/2010	P13 - Leste - Fnorte	28/27/24/32/26	2,00	-	
05/08/2010	P13 - Leste - Fnorte	29/35/32/34/32	10,00	-	
05/08/2010	P13 - Leste - Fnorte	30/34/36/29/31	14,00	-	
05/08/2010	P13 - Leste - Fleste	25/31/35/27/32	10,00	-	
05/08/2010	P13 - Leste - Fleste	32/29/30/31/33	8,00	-	
05/08/2010	P13 - Leste - Fleste	31/34/29/26/30	12,00	-	
05/08/2010	P13 - Leste - Fsul	29/27/23/28/25	11,00	-	
05/08/2010	P13 - Leste - Fsul	28/37/29/26/32	6,00	-	

## Ano 2010

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
05/08/2010	P13 - Leste - Fsul	21/19/20/26/28	8,00	-	
09/08/2010	P14 - Leste - Fleste	17/31/15/32/33	2,00	-	
09/08/2010	P14 - Leste - Fleste	34/36/32/27/23	4,00	-	
09/08/2010	P14 - Leste - Fleste	28/23/33/35/30	3,00	-	
09/08/2010	P14 - Leste - Fsul	30/29/26/32/23	3,00	-	
09/08/2010	P14 - Leste - Fsul	39/28/36/29/32	2,00	-	
09/08/2010	P14 - Leste - Fsul	27/34/26/30/27	8,00	-	
09/08/2010	P14 - Leste - Fnorte	31/33/28/30/31	2,00	-	
09/08/2010	P15 - Leste - Fnorte	33/32/31/30/27	2,00	-	
09/08/2010	P15 - Leste - Fnorte	29/31/30/28/40	2,00	-	
09/08/2010	P15 - Leste - Fnorte	28/22/26/27/25	12,00	-	
09/08/2010	P15 - Leste - Fleste	36/34/29/28/32	19,00	-	
09/08/2010	P15 - Leste - Fleste	35/30/31/27/32	18,00	-	
09/08/2010	P15 - Leste - Fleste	30/32/29/28/30	6,00	-	
09/08/2010	P15 - Leste - Fsul	29/31/23/25/28	1,00	-	
09/08/2010	P15 - Leste - Fsul	27/30/30/25/23	4,00	-	
09/08/2010	P15 - Leste - Fsul	30/33/27/28/32	7,00	-	
09/08/2010	P16 - Leste - Fnorte	35/31/32/34/33	12,00	-	
09/08/2010	P16 - Leste - Fnorte	27/32/21/28/31	11,00	-	
09/08/2010	P16 - Leste - Fleste	26/28/33/37/31	12,00	-	
09/08/2010	P16 - Leste - Fleste	31/35/36/32/24	11,00	-	
09/08/2010	P16 - Leste - Fleste	40/32/35/37/30	8,00	-	
09/08/2010	P16 - Leste - Fsul	19/29/32/25/23	7,00	-	
09/08/2010	P16 - Leste - Fsul	32/34/28/27/26	8,00	-	
09/08/2010	P16 - Leste - Fsul	27/28/31/32/30	5,00	-	
09/08/2010	P17 - Leste - Fnorte	33/28/23/26/31	7,00	-	
09/08/2010	P17 - Leste - Fnorte	29/27/28/30/27	3,00	-	
09/08/2010	P17 - Leste - Fnorte	25/47/33/28/34	3,00	-	
09/08/2010	P17 - Leste - Fleste	33/31/30/35/39	4,00	-	
09/08/2010	P17 - Leste - Fleste	29/30/23/24/34	5,00	-	
09/08/2010	P17 - Leste - Fleste	32/27/26/29/30	2,00	-	
09/08/2010	P17 - Leste - Fsul	26/33/23/25/27	3,00	-	
09/08/2010	P17 - Leste - Fsul	26/29/30/28/25	4,00	-	
09/08/2010	P17 - Leste - Fsul	29/25/30/20/27	2,00	-	
09/08/2010	P18 - Leste - Fnorte	24/29/21/27/28	4,00	-	
09/08/2010	P18 - Leste - Fnorte	24/25/23/26/21	9,00	-	
09/08/2010	P18 - Leste - Fnorte	23/22/27/24/21	11,00	-	
09/08/2010	P18 - Leste - Fleste	30/36/26/31/33	17,00	-	
09/08/2010	P18 - Leste - Fleste	31/38/30/34/23	7,00	-	
09/08/2010	P18 - Leste - Fleste	29/28/30/27/25	7,00	-	
09/08/2010	P18 - Leste - Fsul	27/28/26/32/34	20,00	-	
09/08/2010	P18 - Leste - Fsul	26/28/32/27/24	1,00	-	
09/08/2010	P18 - Leste - Fsul	23/22/21/26/24	6,00	-	
11/08/2010	P19 - Leste - Fnorte	20/19/22/16/18	5,00	-	
11/08/2010	P19 - Leste - Fnorte	20/19/23/17/32	7,00	-	
11/08/2010	P19 - Leste - Fnorte	21/29/26/23/32	2,00	-	
11/08/2010	P19 - Leste - Fleste	23/20/18/26/24	2,00	-	
11/08/2010	P19 - Leste - Fleste	25/27/26/21/23	6,00	-	
11/08/2010	P19 - Leste - Fleste	24/25/26/22/27	6,00	-	
11/08/2010	P19 - Leste - Fsul	24/21/22/20/25	6,00	-	

## Ano 2010

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
11/08/2010	P19 - Leste - Fsul	22/23/19/18/24	9,00	-	
11/08/2010	P19 - Leste - Fsul	21/22/28/26/23	4,00	-	
11/08/2010	P20 - Leste - Fnorte	28/31/27/29/30	5,00	-	
11/08/2010	P20 - Leste - Fnorte	31/30/28/27/33	2,00	-	
11/08/2010	P20 - Leste - Fnorte	24/27/35/30/26	3,00	-	
11/08/2010	P20 - Leste - Fleste	26/32/19/24/30	2,00	-	
11/08/2010	P20 - Leste - Fleste	34/32/30/31/29	13,00	-	
11/08/2010	P20 - Leste - Fleste	31/22/29/26/30	4,00	-	
11/08/2010	P20 - Leste - Fsul	26/36/34/31/33	7,00	-	
11/08/2010	P21 - Leste - Fnorte	28/23/25/24/26	9,00	-	
11/08/2010	P21 - Leste - Fleste	26/25/28/29/24	1,00	-	
11/08/2010	P21 - Leste - Fleste	22/26/24/23/21	7,00	-	
12/08/2010	P21 - Oeste - Fsul	23/26/25/24/28	10,00	-	
12/08/2010	P21 - Oeste - Fsul	26/23/27/22/31	12,00	-	
12/08/2010	P21 - Oeste - Foeste	30/27/29/22/31	11,00	-	
12/08/2010	P21 - Oeste - Foeste	31/36/27/23/30	14,00	-	
12/08/2010	P21 - Oeste - Fnorte	26/25/23/29/33	8,00	-	
12/08/2010	P21 - Oeste - Fnorte	21/24/23/22/32	9,00	-	
13/08/2010	P20 - Oeste - Fsul	30/27/29/37/31	5,00	-	
13/08/2010	P20 - Oeste - Foeste	44/31/28/29/32	5,00	-	
13/08/2010	P20 - Oeste - Fnorte	37/33/35/31/32	6,00	-	
17/08/2010	P22 - Leste - Fleste	25/22/20/24/29	8,00	-	
17/08/2010	P22 - Leste - Fsul	25/26/26/28/32	6,00	-	
17/08/2010	P22 - Leste - Fleste	20/25/28/18/22	10,00	-	
18/08/2010	P23 - Leste - Fsul	23/29/25/28/24	10,00	-	
18/08/2010	P23 - Leste - Fsul	23/25/23/21/20	4,00	-	
18/08/2010	P23 - Leste - Fleste	27/26/20/31/23	16,00	-	
18/08/2010	P23 - Leste - Fnorte	25/22/29/33/27	9,00	-	
18/08/2010	P22 - Oeste - Fnorte	21/22/21/22/20	6,00	-	
18/08/2010	P22 - Oeste - Foeste	22/26/23/20/25	8,00	-	
18/08/2010	P22 - Oeste - Foeste	27/28/29/30/31	8,00	-	
20/08/2010	P24 - Oeste - Fnorte	27/23/24/24/26	2,00	-	
20/08/2010	P24 - Oeste - Foeste	24/22/29/21/24	12,00	-	
20/08/2010	P24 - Oeste - Fsul	25/25/24/26/25	5,00	-	
26/08/2010	P24 - Leste - Fleste	20/23/24/21/18	8,00	-	
26/08/2010	P24 - Leste - Fsul	22/26/19/23/26	9,00	-	
26/08/2010	T24 - Fsul	21/22/31/28/22	7,00	-	
11/08/2010	T21 - Fnorte	24/26/23/27/30	7,00	-	
11/08/2010	T20 - Fnorte	27/26/25/24/30	3,00	-	
11/08/2010	T20 - Fleste	31/27/32/28/30	9,00	-	
12/08/2010	T21 - Fsul	26/25/28/24/27	16,00	-	
17/08/2010	T22 - Fnorte	24/28/26/19/27	10,00	-	
18/08/2010	T23 - Fsul	26/28/32/31/29	11,00	-	
18/08/2010	T22 - Fnorte	25/20/22/32/24	1,00	-	
20/08/2010	T24 - Fnorte	30/28/26/39/26	1,00	-	
20/08/2010	T24 - Fsul	20/29/29/28/21	3,00	-	
26/08/2010	T24 - Fnorte	32/22/23/23/24	12,00	-	
17/08/2010	L1 - Fleste	20/19/23/18/21	6,00	-	
17/08/2010	L1 - Foeste	25/18/19/22/21	7,00	-	
17/08/2010	L1 - Fleste	20/23/26/21/28	6,00	-	

## Ano 2010

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
17/08/2010	L1 - Foeste	20/21/18/22/19	3,00	-	
17/08/2010	L2 - Fleste	20/22/21/20/21	8,00	-	
17/08/2010	L2 - Foeste	21/18/19/22/17	11,00	-	
17/08/2010	L3 - Fleste	22/21/38/20/21	11,00	-	
17/08/2010	L4 - Fleste	19/18/17/20/23	14,00	-	
17/08/2010	L3 - Foeste	19/23/21/22/20	13,00	-	
17/08/2010	L1 - Foeste	21/20/22/19/23	7,00	-	
17/08/2010	L2 - Fleste	24/29/25/26/27	6,00	-	
17/08/2010	L2 - Fleste	22/20/23/22/21	3,00	-	
11/08/2010	L2 - Fleste	25/26/20/18/19	12,00	-	
12/08/2010	L1 - Fleste	19/20/21/22/23	7,00	-	
12/08/2010	L3 - Fleste	22/23/19/20/21	9,00	-	
12/08/2010	L2 - Foeste	18/23/20/21/19	8,00	-	
12/08/2010	L3 - Foeste	21/22/23/24/25	2,00	-	
12/08/2010	L4 - Fleste	20/21/22/18/19	13,00	-	
12/08/2010	L5 - Fleste	20/21/23/22/19	8,00	-	
12/08/2010	L5 - Foeste	21/23/22/19/26	6,00	-	
12/08/2010	L6 - Fleste	20/19/23/18/21	10,00	-	
12/08/2010	L6 - Foeste	20/23/21/25/22	11,00	-	
17/08/2010	L4 - Foeste	17/21/19/20/22	10,00	-	
17/08/2010	L5 - Fleste	21/19/22/21/20	6,00	-	
17/08/2010	L5 - Foeste	22/23/20/21/19	8,00	-	
17/08/2010	L6 - Fleste	20/21/19/20/24	10,00	-	
17/08/2010	L5 - Foeste	20/19/22/18/21	9,00	-	
17/08/2010	L6 - Fleste	22/21/23/25/20	13,00	-	
18/08/2010	L1 - Foeste	34/31/27/26/24	12,00	-	
18/08/2010	L2 - Fleste	25/27/30/26/23	11,00	-	
18/08/2010	L1 - Fleste	34/30/33/32/31	11,00	-	
18/08/2010	L2 - Fleste	27/30/32/34/35	7,00	-	
18/08/2010	L1 - Foeste	25/27/28/29/27	9,00	-	
18/08/2010	L6 - Fleste	13/12/16/19/20	8,00	-	
18/08/2010	L5 - Foeste	19/21/16/23/14	5,00	-	
18/08/2010	L5 - Fleste	23/38/22/17/22	1,00	-	
20/08/2010	L5 - Foeste	22/22/21/20/20	6,00	-	
20/08/2010	L6 - Fleste	15/22/27/25/26	3,00	-	
20/08/2010	L6 - Foeste	27/27/31/33/24	10,00	-	
20/08/2010	L6 - Fleste	27/26/31/43/29	8,00	-	
20/08/2010	L5 - Foeste	27/29/38/24/35	13,00	-	
20/08/2010	L6 - Fleste	30/32/26/29/28	18,00	-	
20/08/2010	L5 - Foeste	39/36/19/26/21	6,00	-	
20/08/2010	L5 - Foeste	32/27/23/29/30	7,00	-	
20/08/2010	L5 - Fleste	27/32/28/30/26	14,00	-	
26/08/2010	L1 - Fleste	29/32/38/30/33	20,00	-	
26/08/2010	L2 - Fleste	29/26/26/28/34	10,00	-	
26/08/2010	L1 - Foeste	27/28/33/29/34	11,00	-	
26/08/2010	L2 - Foeste	22/24/25/19/27	14,00	-	
26/08/2010	L2 - Fleste	30/22/28/25/25	10,00	-	
26/08/2010	L1 - Fleste	19/23/24/23/26	10,00	-	
26/08/2010	L1 - Foeste	27/29/26/23/32	8,00	-	
26/08/2010	L2 - Fleste	30/34/33/27/25	10,00	-	

## Ano 2010

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

<b>Data do Ensaio</b>	<b>Elementos Ensaaiados</b>	<b>Ensaio de Cobrimento (mm)</b>	<b>Ensaio de Carbonatação (mm)</b>	<b>Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)</b>	<b>Observação</b>
12/08/2010	TR4 - Fnorte - L1/L2	29/26/32/31/27	5,00	-	
12/08/2010	TR4 - Fsul - L2/L3	32/26/24/31/27	6,00	-	
12/08/2010	TR4 - Fnorte - L1/L2	33/36/27/28/38	8,00	-	
12/08/2010	TR4 - Fnorte - L5/L6	24/33/26/20/31	11,00	-	
17/08/2010	TR1 - Fnorte - L1/L2	25/30/28/34/27	9,00	-	
17/08/2010	P22 - Leste - Fnorte	31/30/33/32/35	10,00	-	
17/08/2010	TR2 - Fnorte - L1/L2	27/33/26/24/25	5,00	-	
17/08/2010	TR3 - Fnorte - L1/L2	30/32/26/31/29	7,00	-	
17/08/2010	TR3 - Fsul - L2/L3	24/33/28/32/23	11,00	-	
17/08/2010	TR3 - Fnorte - L4/L5	27/26/25/28/29	8,00	-	
18/08/2010	TR3 - Fnorte - L1/L2	26/24/26/27/23	13,00	-	
18/08/2010	TR4 - Fsul - L1/L2	45/31/41/40/47	10,00	-	
18/08/2010	TR5 - Fsul - L1/L2	28/25/27/30/26	15,00	-	
18/08/2010	TR1 - Fnorte - L5/L6	23/21/35/27/25	2,00	-	
20/08/2010	TR3 - Fnorte - L5/L6	28/29/28/31/30	7,00	-	
20/08/2010	TR1 - Fnorte - L5/L6	26/30/23/29/28	14,00	-	
20/08/2010	TR5 - Fsul - L6/L5	25/29/18/24/23	11,00	-	
20/08/2010	TR4 - Fnorte - L5/L6	26/28/23/25/24	9,00	-	
20/08/2010	TR4 - Fsul - L4/L5	23/25/26/27/24	10,00	-	
26/08/2010	TR5 - Fsul - L1/L2	22/20/22/22/21	10,00	-	
26/08/2010	TR4 - Fnorte - L1/L2	27/23/30/30/23	12,00	-	
26/08/2010	TR3 - Fnorte - L1/L2	27/23/24/27/25	8,00	-	
26/08/2010	TR2 - Fsul - L1/L2	15/20/23/25/27	9,00	-	
26/08/2010	TR1 - Fnorte - L1/L2	29/27/28/30/31	9,00	-	

## Ano 2011

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
14/05/2011	N06- Fsul	30/30/30/31/32	1,00	-	
14/05/2011	N06- Fsul	29/29/29/30/33	1,00	-	
14/05/2011	N06- Fsul	32/32/30/31/30	1,00	-	
14/05/2011	N06- Fleste	29/25/27/30/31	4,00	-	
14/05/2011	N06- Fleste	27/24/29/25/30	10,00	-	
14/05/2011	N06- Fleste	31/33/34/30/31	1,00	-	
14/05/2011	N06- Foeste	32/32/33/34/30	2,00	-	
14/05/2011	N06- Foeste	29/27/26/26/29	9,00	-	
14/05/2011	N06- Foeste	30/31/31/32/29	1,00	-	
14/05/2011	N06- Fnorte	30/31/31/32/33	12,00	-	
14/05/2011	N06- Fnorte	33/31/30/30/31	1,00	-	
14/05/2011	N06- Fnorte	29/25/29/30/31	6,00	-	
13/05/2011	S01- Foeste	29/29/29/30/31	9,00	-	
13/05/2011	S01- Foeste	24/25/27/30/31	13,00	-	
13/05/2011	S01- Foeste	30/30/31/31/32	15,00	-	
13/05/2011	S01- Fnorte	32/33/33/32/31	1,00	-	
13/05/2011	S01- Fnorte	32/32/33/35/30	11,00	-	
13/05/2011	S01- Fnorte	31/31/31/32/35	10,00	-	
13/05/2011	S01- Fsul	25/27/29/29//29	6,00	-	
13/05/2011	S01- Fsul	33/33/32/31/30	15,00	-	
13/05/2011	S01- Fsul	30/35/36/31/30	7,00	-	
13/05/2011	S01- Fleste	27/27/27/30/31	19,00	-	
13/05/2011	S01- Fleste	25/24/25/25/30	14,00	-	
13/05/2011	S01- Fleste	31/32/32/30/31	4,00	-	
12/05/2011	N01 - Fsul	30/30/31/31/32	5,00	-	
12/05/2011	N01 - Fsul	29/29/24/25/30	5,00	-	
12/05/2011	N01 - Fsul	34/30/31/32/26	18,00	-	
12/05/2011	N01 - Fnorte	24/24/25/27/29	2,00	-	
12/05/2011	N01 - Fnorte	30/32/33/34/35	1,00	-	
12/05/2011	N01 - Fnorte	30/31/32/32/34	12,00	-	
12/05/2011	N01 - Foeste	29/27/26/31/32	10,00	-	
12/05/2011	N01 - Foeste	27/25/23/32/30	9,00	-	
12/05/2011	N01 - Foeste	30/33/32/35/36	1,00	-	
12/05/2011	N01 - Fleste	29/27/33/32/30	1,00	-	
12/05/2011	N01 - Fleste	30/30/30/31/31	9,00	-	
12/05/2011	N01 - Fleste	32/33/32/32/31	5,00	-	
10/05/2011	N02 - Fnorte	30/30/30/29/28	10,00	-	
10/05/2011	N02 - Fnorte	31/31/30/33/34	7,00	-	
10/05/2011	N02 - Fnorte	29/26/25/30/31	2,00	-	
10/05/2011	N02 - Fleste	24/23/29/26/28	1,00	-	
10/05/2011	N02 - Fleste	30/31/33/32/34	1,00	-	
10/05/2011	N02 - Fleste	30/30/32/32/30	18,00	-	
10/05/2011	N02 - Foeste	29/29/31/30/32	2,00	-	
10/05/2011	N02 - Foeste	25/27/31/32/30	1,00	-	
10/05/2011	N02 - Foeste	30/30/30/31/31	3,00	-	
10/05/2011	N02 - Fsul	29/27/25/32/31	3,00	-	
10/05/2011	N02 - Fsul	31/31/31/29/27	1,00	-	
10/05/2011	N02 - Fsul	30/30/32/33/31	7,00	-	
09/05/2011	N03 - Foeste	40/42/40/37/37	2,00	-	
09/05/2011	N03 - Foeste	28/25/30/25/31	3,00	-	
09/05/2011	N03 - Foeste	30/31/34/32/33	7,00	-	
09/05/2011	N03 - Fsul	30/31/29/26/31	0,00	-	

## Ano 2011

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaaiados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
09/05/2011	N03 - Fsul	29/23/30/32/31	4,00	-	
09/05/2011	N03 - Fsul	30/30/31/32/30	7,00	-	
09/05/2011	N03 - Fleste	30/30/31/32/33	15,00	-	
09/05/2011	N03 - Fleste	29/25/31/32/33	13,00	-	
09/05/2011	N03 - Fleste	25/26/27/30/32	18,00	-	
09/05/2011	N03 - Fnorte	30/31/31/32/32	11,00	-	
09/05/2011	N03 - Fnorte	29/24/27/26/29	0,00	-	
09/05/2011	N03 - Fnorte	26/24/29/30/31	10,00	-	
06/05/2011	N05 - Fleste	29/29/25/30/32	25,00	-	
06/05/2011	N05 - Fleste	29/25/34/30/31	13,00	-	
06/05/2011	N05 - Fleste	26/24/29/32/31	18,00	-	
06/05/2011	N05 - Foeste	20/25/30/32/31	5,00	-	
06/05/2011	N05 - Foeste	29/29/29/26/30	7,00	-	
06/05/2011	N05 - Foeste	30/31/28/30/32	15,00	-	
06/05/2011	N05 - Fsul	32/34/30/29/26	16,00	-	
06/05/2011	N05 - Fsul	33/25/26/31/32	14,00	-	
06/05/2011	N05 - Fsul		13,00	-	
06/05/2011	N05 - Fnorte	30/28/28/31/33	19,00	-	
06/05/2011	N05 - Fnorte	31/31/30/28/25	13,00	-	
06/05/2011	N05 - Fnorte	24/29/26/29/25	16,00	-	
05/05/2011	N04 - Foeste	29/26/29/28/21	7,00	-	
05/05/2011	N04 - Foeste	32/32/29/28/30	5,00	-	
05/05/2011	N04 - Foeste	30/26/24/28/27	4,00	-	
05/05/2011	N04 - Fsul	34/30/26/25/26	8,00	-	
05/05/2011	N04 - Fsul	29/31/27/24/30	3,00	-	
05/05/2011	N04 - Fsul	29/26/29/29/24	8,00	-	
05/05/2011	N04 - Fnorte	27/27/26/28/25	9,00	-	
05/05/2011	N04 - Fnorte	26/32/26/31/33	13,00	-	
05/05/2011	N04 - Fnorte	27/25/26/30/32	6,00	-	
05/05/2011	N04 - Fleste	31/31/28/35/31	4,00	-	
05/05/2011	N04 - Fleste	29/32/31/34/30	7,00	-	
05/05/2011	N04 - Fleste	29/29/30/24/26	12,00	-	
15/11/2011	S02 - Norte	29/29/30/31/31	11,00	-	
15/11/2011	S02 - Norte	30+31+31+32+35	18,00	-	
15/11/2011	S02 - Norte	29+32+32+34+33	2,00	-	
15/11/2011	S02 - Sul	35+34+34+35	13,00	-	
15/11/2011	S02 - Sul	39+39+35+34+33	20,00	-	
15/11/2011	S02 - Sul	33+33+34+35+33	13,00	-	
15/11/2011	S02 - Leste	34+34+32+32+33	8,00	-	
15/11/2011	S02 - Leste	35+36+37+37+35	3,00	-	
15/11/2011	S02 - Leste	29+30+30+31+31	6,00	-	
15/11/2011	S02 - Oeste	33+36+36+37+39	10,00	-	
15/11/2011	S02 - Oeste	33+33+34+32+32	12,00	-	
15/11/2011	S02 - Oeste	35+36+36+36+37	17,00	-	
15/11/2011	S03 - Norte	29+30+35+32	11,00	-	
15/11/2011	S03 - Norte	28+32+34+31	17,00	-	
15/11/2011	S03 - Norte	32+34+35+34	12,00	-	
15/11/2011	S03 - Sul	26+34+35+29	15,00	-	
15/11/2011	S03 - Sul	29+35+29+30	11,00	-	
15/11/2011	S03 - Sul	30+26+24+27	11,00	-	
15/11/2011	S03 - Leste	31+29+27+32	12,00	-	
15/11/2011	S03 - Leste	35+34+32+30	19,00	-	
15/11/2011	S03 - Leste	34+36+30+30	14,00	-	

## Ano 2011

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Data do Ensaio	Elementos Ensaiaados	Ensaio de Cobrimento (mm)	Ensaio de Carbonatação (mm)	Teor de Cloretos totais (%) (considerando 4,0 cm)	Observação
15/11/2011	S03 - Oeste	29+30+31+35	10,00	-	
15/11/2011	S03 - Oeste	28+30+34+32	11,00	-	
15/11/2011	S03 - Oeste	30+35+37+30	16,00	-	
16/11/2011	S04 - Norte	35+40+38+40	14,00	-	
16/11/2011	S04 - Norte	40+38+35+35	12,00	-	
16/11/2011	S04 - Norte	38+35+40+38	10,00	-	
16/11/2011	S04 - Sul	27+30+38+37	8,00	-	
16/11/2011	S04 - Sul	30+32+36+30	11,00	-	
16/11/2011	S04 - Sul	39+36+40+37	8,00	-	
16/11/2011	S04 - Leste	35+33+33+36	10,00	-	
16/11/2011	S04 - Leste	32+35+34+39	8,00	-	
16/11/2011	S04 - Leste	34+34+36+32	11,00	-	
16/11/2011	S04 - Oeste	29+29+30+32	13,00	-	
16/11/2011	S04 - Oeste	38+37+36+35	11,00	-	
16/11/2011	S04 - Oeste	32+37+37+36	8,00	-	
16/11/2011	S05 - Norte	28+31+34+34	10,00	-	
16/11/2011	S05 - Norte	29+27+30+25	20,00	-	
16/11/2011	S05 - Norte	25+28+32+30	15,00	-	
16/11/2011	S05 - Sul	40+30+35+36	9,00	-	
16/11/2011	S05 - Sul	38+37+35+38	1,00	-	
16/11/2011	S05 - Sul	36+35+34+33	18,00	-	
16/11/2011	S05 - Leste	32+33+35+32	1,00	-	
16/11/2011	S05 - Leste	33+31+26+28	3,00	-	
16/11/2011	S05 - Leste	N/I	N/I	-	
16/11/2011	S05 - Oeste	38+40+31+37	9,00	-	
16/11/2011	S05 - Oeste	37+39+41+33	14,00	-	
16/11/2011	S05 - Oeste	35+39+34+37	11,00	-	
21/11/2011	S06 - Norte	37+33+33+35	23,00	-	
21/11/2011	S06 - Norte	36+35+28+32	18,00	-	
21/11/2011	S06 - Norte	32+30+28+32	15,00	-	
21/11/2011	S06 - Sul	31+30+34+28	10,00	-	
21/11/2011	S06 - Sul	36+35+29+29	14,00	-	
21/11/2011	S06 - Sul	28+32+30+31	15,00	-	
21/11/2011	S06 - Leste	32+35+32+30	17,00	-	
21/11/2011	S06 - Leste	30+34+27+30	17,00	-	
21/11/2011	S06 - Leste	32+27+27+33	15,00	-	
21/11/2011	S06 - Oeste	36+32+33+36	21,00	-	
21/11/2011	S06 - Oeste	35+32+40+38	20,00	-	
21/11/2011	S06 - Oeste	28+30+40+32	15,00	-	
17/11/2011	S07 - Norte	26+24+26+27	13,00	-	
17/11/2011	S07 - Norte	32+25+26+25	14,00	-	
17/11/2011	S07 - Norte	28+30+28+32	13,00	-	
17/11/2011	S07 - Sul	30+34+34+35	14,00	-	
17/11/2011	S07 - Sul	25+26+25+26	7,00	-	
17/11/2011	S07 - Sul	30+29+32+35	7,00	-	
17/11/2011	S07 - Leste	26+24+26+25	13,00	-	
17/11/2011	S07 - Leste	27+27+29+30	21,00	-	
17/11/2011	S07 - Leste	30+25+27+28	1,00	-	
17/11/2011	S07 - Oeste	27+27+28+30	20,00	-	
17/11/2011	S07 - Oeste	29+27+25+24	11,00	-	
17/11/2011	S07 - Oeste	30+31+32+29	11,00	-	



## Permeabilidade

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Elemento	Face/Localização	Permeabilidade	Observação
B/S20 L	S	1,74E-03	
B/S20 L	L	7,32E-06	
B/S20 L	O (área 2)	3,87E-05	
B/S20 L	O (área 4)	1,13E-04	
B/S20 O	S	6,55E-04	
B/S20 O	L (área 2)	2,50E-05	
B/S20 O	L (área 4)	2,12E-05	
B/S20 O	O (área 1)	7,36E-06	
B/S21 L	N	6,73E-04	
B/S21 L	L	8,69E-06	
B/S21 L	N	6,73E-04	
B/S21 L	L	8,69E-06	
B/S21 L	O (área 2)	1,84E-05	
B/S21 L	O (área 4)	1,05E-05	
B/S21 O	S	2,58E-04	
B/S21 O	L (área 2)	1,06E-05	
B/S21 O	L (área 4)	1,73E-05	
B/S21 O	O (área 1)	1,36E-05	
B/S21 L	S	1,51E-05	
B/S21 L	L	1,06E-06	
B/S21 L	O (área 2)	3,68E-04	
B/S21 L	O (área 4)	2,28E-05	
B/S21 O	L (área 2)	4,24E-04	
B/S21 O	L (área 4)	5,31E-05	
B/S21 O	O	8,69E-05	
B/S23 L	N	1,30E-03	
B/S23 L	O (área 2)	1,34E-05	
B/S23 L	O (área 3)	1,74E-03	
B/S23 L	O (área 4)	3,94E-05	
B/S23 O	N	8,83E-05	
B/S23 O	L (área 1)	3,19E-05	
B/S23 O	L (área 3)	3,77E-06	
B/S24 L	N	7,08E-05	
B/S24 L	O (área 2)	1,80E-04	
B/S24 L	O (área 4)	2,73E-05	
B/S24 O	S	3,54E-04	
B/S24 O	L (área 2)	6,28E-05	
B/S24 O	L (área 3)	2,29E-05	

## Permeabilidade

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Elemento	Face/Localização	Permeabilidade	Observação
B/S24 O	L (área 4)	3,48E-05	
B/S25 L	N	2,41E-05	
B/S25 L	O (área 2)	1,22E-03	
B/S25 L	O (área 4)	9,69E-05	
B/S25 O	S	5,51E-06	
B/S25 O	L (área 4)	1,13E-05	
L1 (N18 – N17)	L – ponto 4	2,74 E-05	
L2 (N18 – N17)	L	1,69 E-045	
L3 (N18 – N17)	L	1,60 E-05	
L4 (N18 – N17)	O	1,11 E-05	
L5 (N18 – N17)	L	8,44 E-05	
L6 (N18 – N17)	L	1,89 E-05	
L7 (N18 – N17)	O	6,42 E-05	
L8 (N18 – N17)	O	2,13 E-04	
L1 (N19 – N18)	L	3,01 E-05	
L2 (N19 – N18)	L	2,73 E-05	
L7 (N19 – N18)	L	5,35 E-05	
L8 (N19 – N18)	O	6,65 E-05	
L1 (N21 – N20)	L	2,33 E-05	
L7 (N21 – N20)	L	1,03 E-04	
L1 (N22-N21)	L	3,60 E-04	
L2 (N22-N21)	L	1,18 E-04	
L3 (N22-N21)	L	7,10 E-05	
L6 (N22-N21)	O	1,86 E-05	
L7 (N22-N21)	O	2,29 E-05	
L8 (N22-N21)	O	1,84 E-05	
L1 (S31–S30)	L – ponto 1	2,97E-05	
L2 (S31–S30)	L	3,41E-05	
L5 (S31–S30)	O	2,52E-05	
L6 (S31–S30)	O – ponto 1	5,86E-05	
L6 (S32–S31)	O	4,04E-03	
L1 (S33–S32)	L – ponto 1	4,08E-04	
L2 (S33–S32)	L	6,25E-04	
L6 (S33–S32)	O	1,29E-04	
L1 (S34-S33)	L – ponto 1	4,35E-05	

## Permeabilidade

**Legenda:** P: Pilar; T: Travessa; L: Longarina; B: Bloco; PL: Placa; TR: Transversina;

Elemento	Face/Localização	Permeabilidade	Observação
L5 (S34-S33)	O	1,36E-04	
L6 (S34-S33)	O	1,16E-04	
P/N18 L	N	1,76E-05	
P/N19 L	O	3,83E-04	
P/N18 C	S	6,40E-06	
P/N18 O	L	1,23E-05	
P/N19 L	O (parte baixa)	1,76E-05	
P/N19 L	O (parte alta)	6,13E-04	
P/N19 C	L	2,19E-04	
P/N19 O	N	1,18E-04	
P/N19 O	L	2,49E-04	
P/N20 L	L	6,27 E-045	
P/N20 L	O	1,61 E-05	
P/N20 C	L	1,18 E-05	
P/N20 O	L	7,68 E-05	
P/N21 L	S	1,15 E-04	
P/N21 C	O	6,55 E-04	
P/N21 O	N	5,84 E-04	
P/S30 L	N	6,80E-06	
P/S30 L	O	2,27E-04	
P/S30 O	N	6,93E-04	
P/S30 O	S	8,86E-06	
P/S31 L	L	1,87E-04	
P/S31 L	N	4,99E-04	
P/S31 L	O	8,87E-05	
P/S31 O	N	5,16E-06	
P/S31 O	L	3,61E-05	
P/S32 L	S	6,27E-04	
P/S32 O	N	1,71E-05	
P/S33 L	L	3,16E-05	
P/S33 O	O	1,30E-05	
T/S30	N	1,25 E-05	
T/S31	N	1,85 E-05	
T/S32	N	2,59E-04	
T/S32	S	3,43E-04	
T/S33	N	1,42E-04	
T/S33	S	1,31E-05	

## APÊNDICE B

### TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS ENSAIOS REALIZADOS

Tendo em vista o grande número de elementos ensaiados, foi necessário para a análise nesse trabalho o tratamento estatístico dos ensaios. Buscando a mediana dos valores, foi adotado os gráficos tipo box plot, ou também chamado de diagrama de caixa. Esses gráficos consistem em uma forma gráfica que capta aspectos importantes do conjunto de dados com base no resumo dos cinco números: valor mínimo, primeira quartil, mediana (ou segundo quartil), terceiro quartil e valor máximo.

O formato do gráfico box plot consiste em um caixa paralela ao eixo da escala de dados, que pode ser vertical ou horizontal. A linha superior da caixa consiste no primeiro quartil e inferior o terceiro quartil. Nessa caixa é traçado uma linha na posição mediana, onde obtêm os valores 50% da distribuição.

No box plot temos 25% das observações menores que o primeiro quartil, 50% menores que o segundo quartil e 75% são menores que o terceiro quartil. O cálculo se inicia com a mediana, ou segundo quartil – ela é o “valor do meio”, o valor que deixa metade das observações abaixo e a outra metade acima.

Além disso, o box plot é usado para avaliar a existência de outliers. Os outliers consistem em pontos extremos, valores muito altos ou muito baixos, que destoam dos demais valores. A existência de outliers pode tanto indicar dados incorretos dos ensaios como dados válidos que carecem de estudos mais profundos. Dependendo do objetivo da análise é possível que justamente os outliers sejam o ponto de interesse.

Abaixo apresentamos os gráficos box plot que foram elaborados a partir da listagem de ensaios apresentados no apêndice A. A amostragem foi subdivida pelos anos no qual os ensaios foram realizados - iniciando no ano 2000 até o ano 2011 - os tipos de elementos estruturais - pilares, vigas longarinas, travessa, transversinas, lajes e blocos - e ainda no tipo de ensaio.

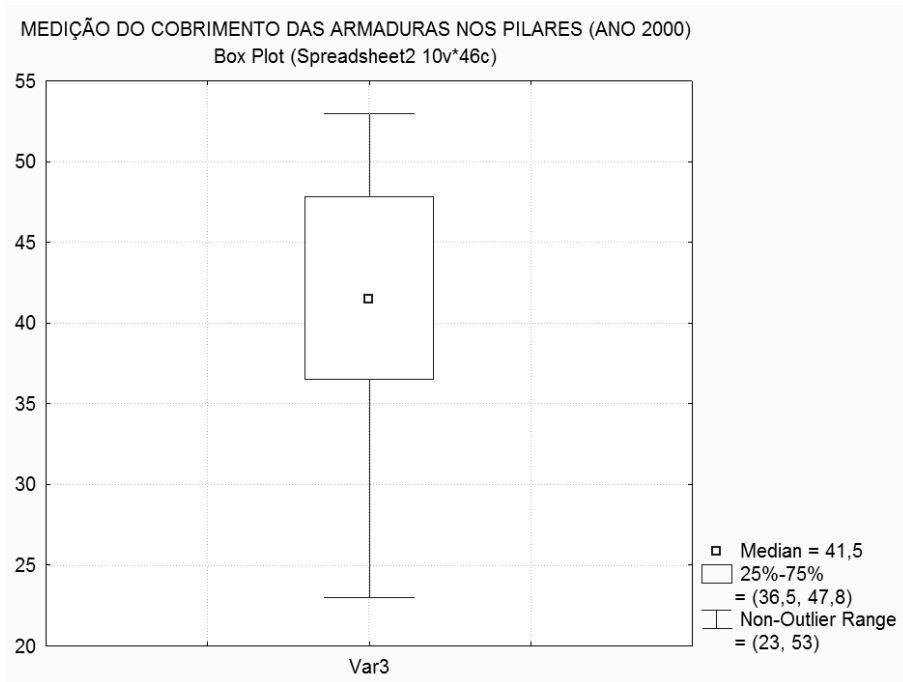


Figura 1: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nos pilares, realizado no ano de 2000.

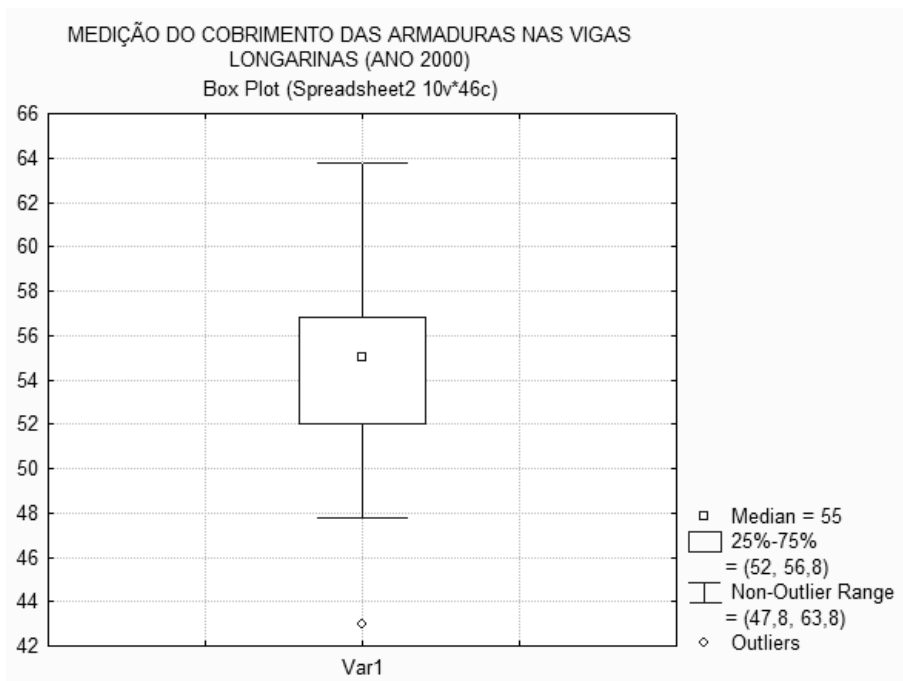


Figura 2: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nas vigas longarinas, realizado no ano de 2000.

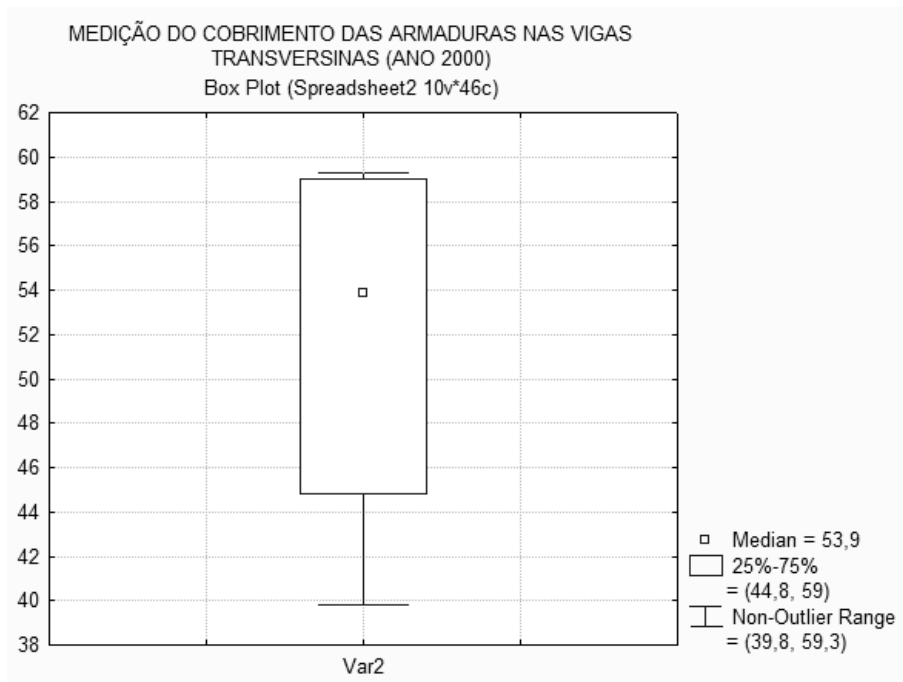


Figura 3: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nas vigas transversinas, realizado no ano de 2000.

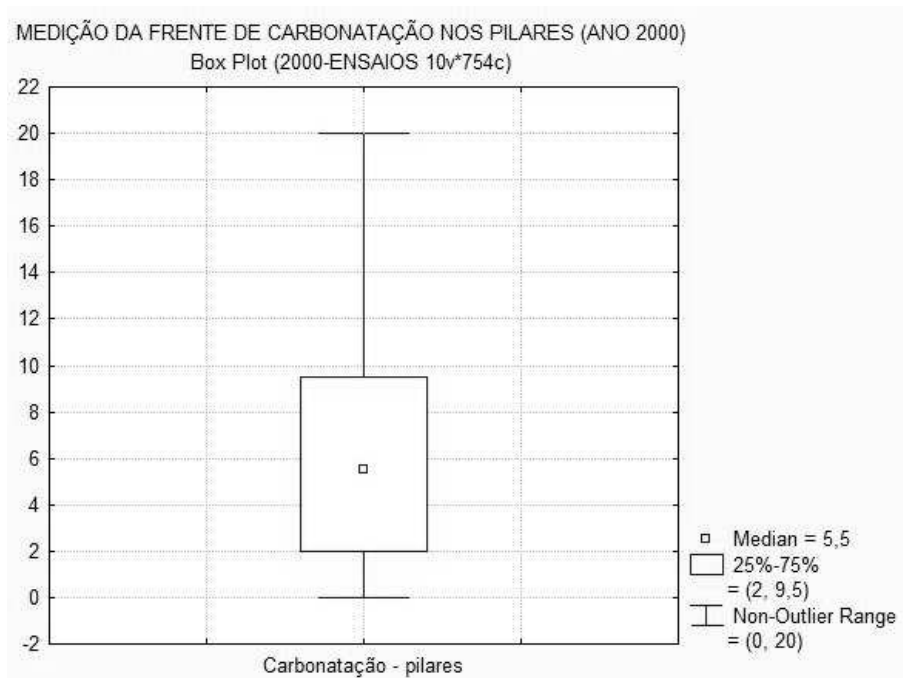


Figura 4: Ensaio da medição da frente de carbonatação no pilares, realizado no ano de 2000.

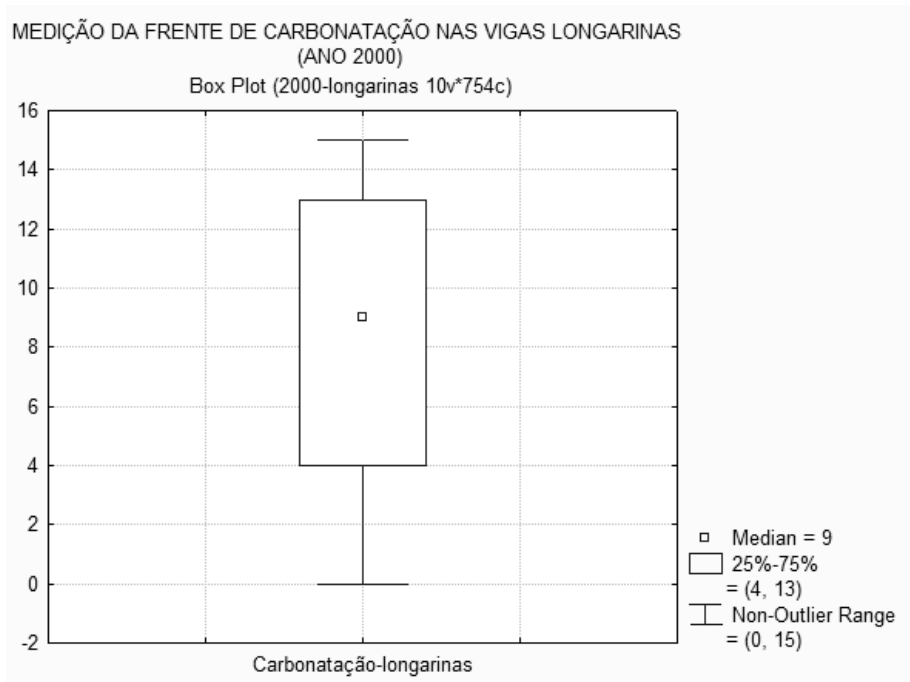


Figura 5: Ensaio da medição da frente de carbonatação nas vigas longarinas, realizado no ano de 2000.

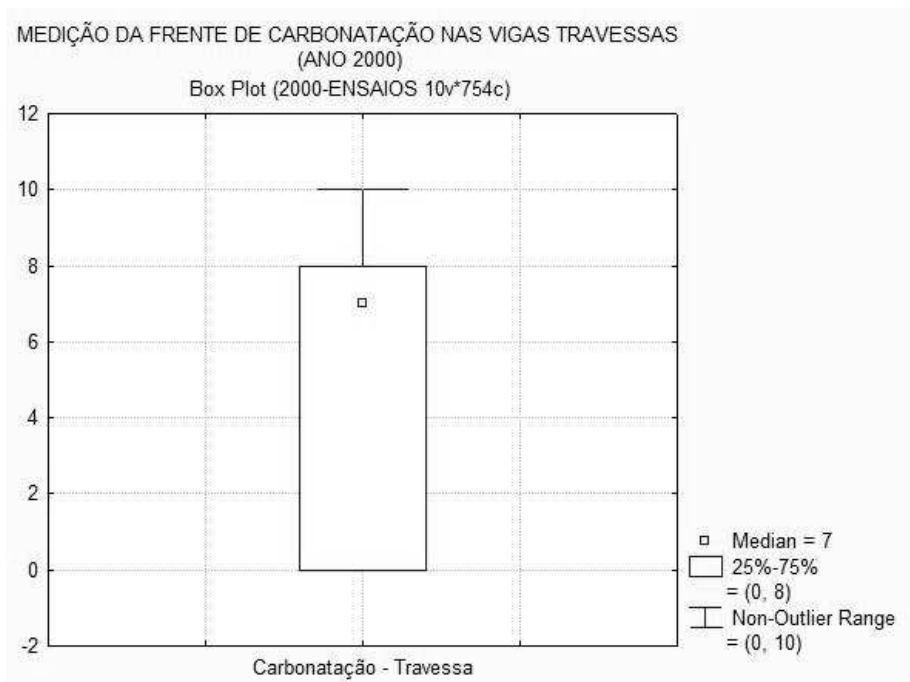


Figura 6: Ensaio da medição da frente de carbonatação nas vigas travessas, realizado no ano de 2000.

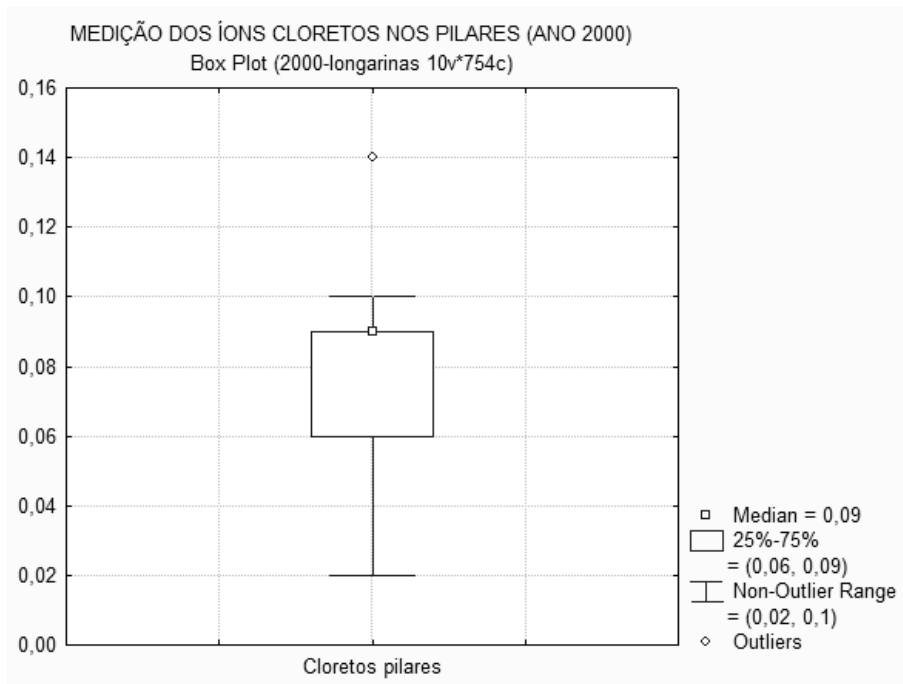


Figura 7: Ensaio da penetração dos íons cloretos nos pilares, realizado no ano de 2000.

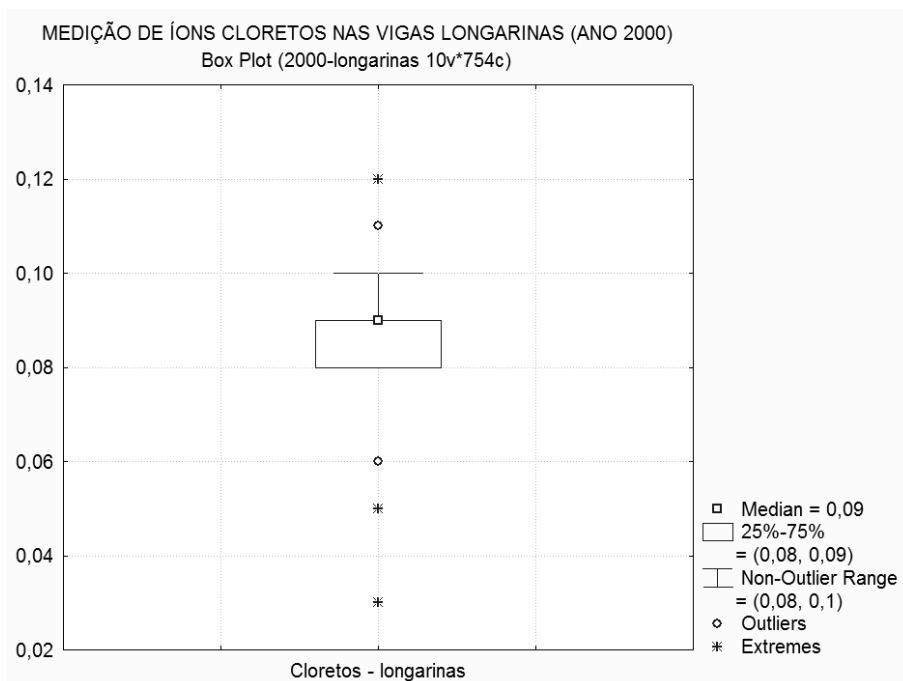


Figura 8: Ensaio da penetração dos íons cloretos nas vigas longarinas, realizado no ano de 2000.



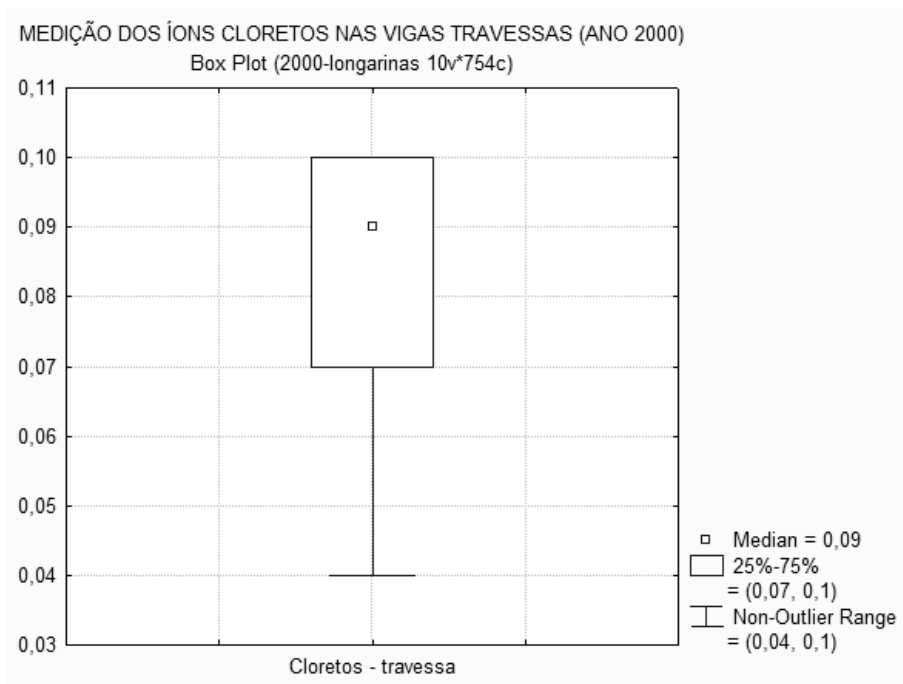


Figura 9: Ensaio da penetração dos íons cloretos nas vigas travessas, realizado no ano de 2000.

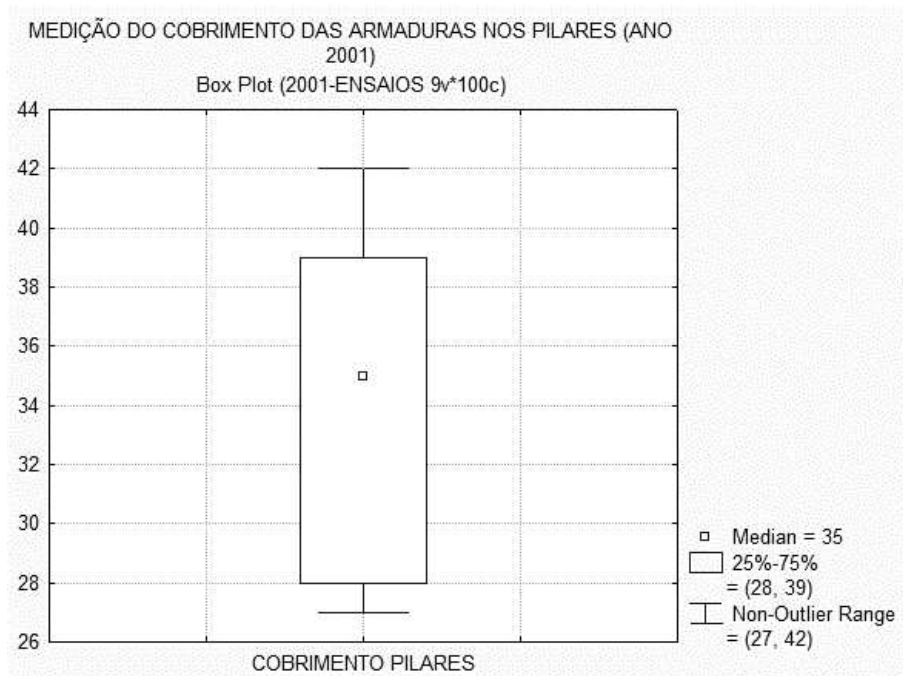


Figura 10: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nos pilares, realizado no ano de 2001.

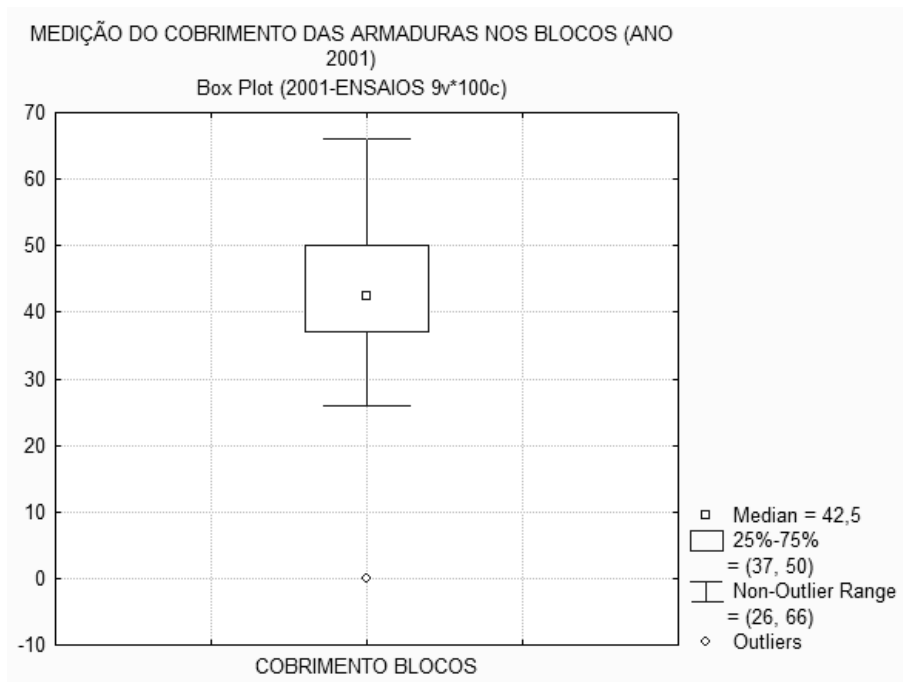


Figura 11: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nos blocos, realizado no ano de 2001.

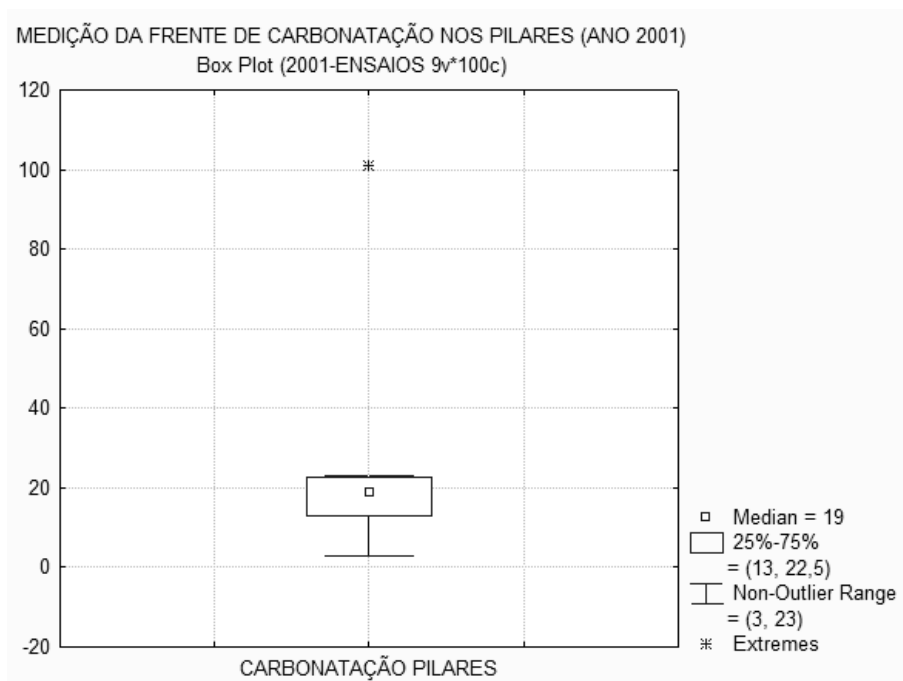


Figura 12: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nos pilares, realizado no ano de 2001.

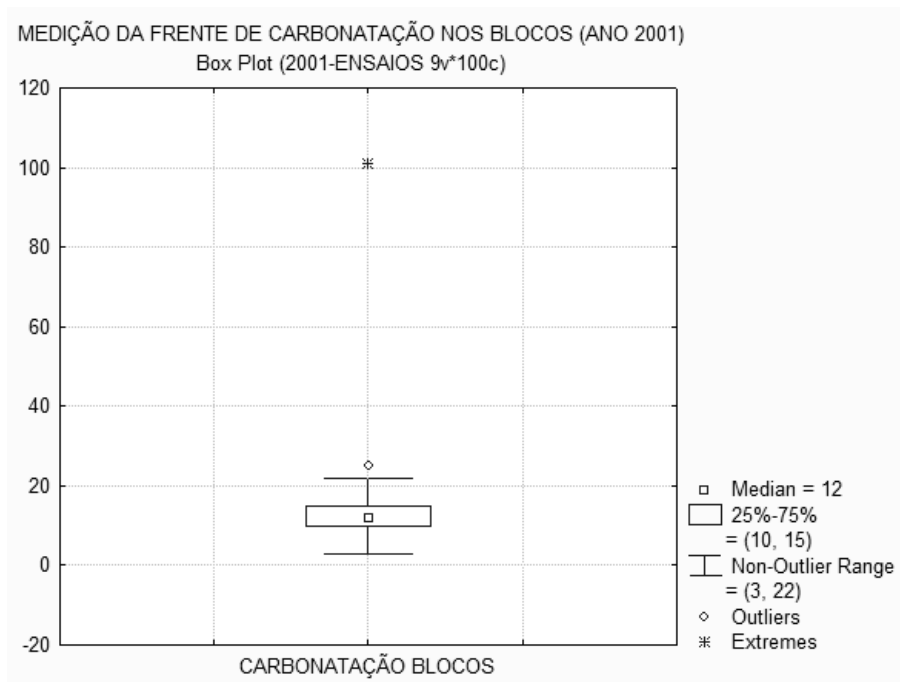


Figura 13: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nos blocos, realizado no ano de 2001.

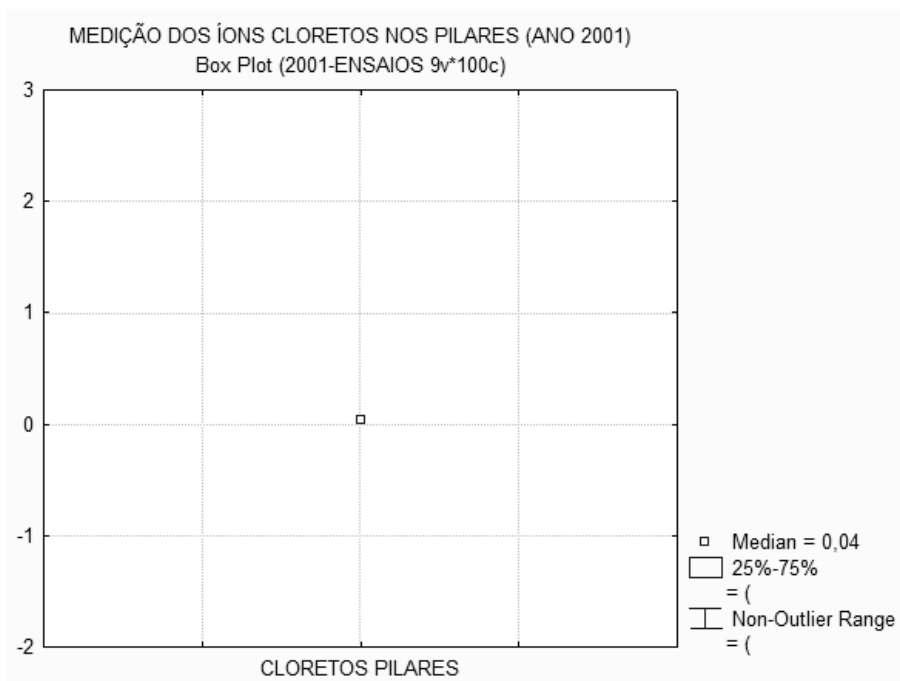


Figura 14: Ensaio da penetração dos íons cloretos nos pilares, realizado no ano de 2001.

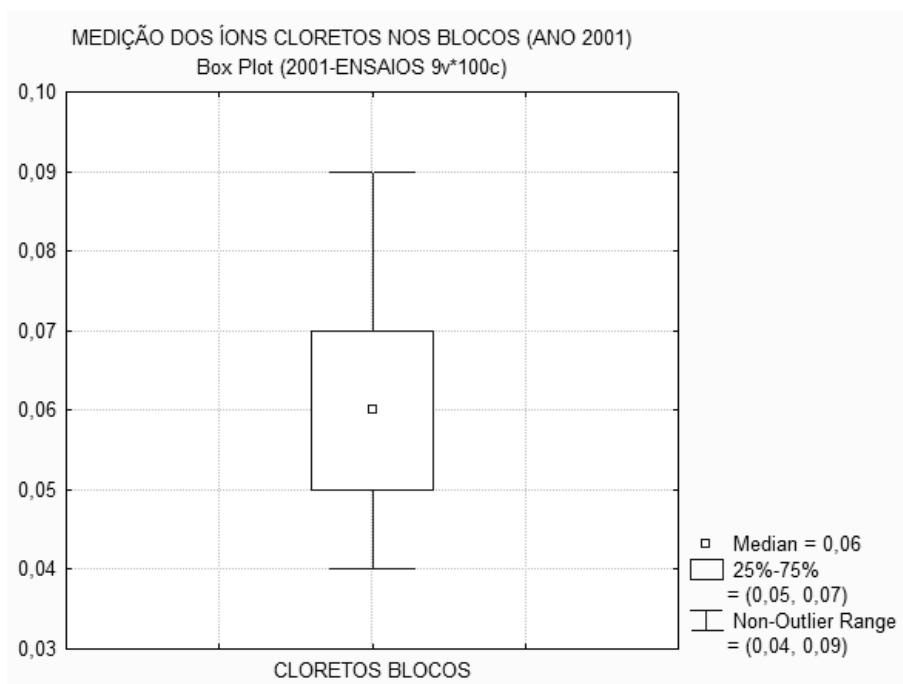


Figura 15: Ensaio da penetração dos íons cloretos nos blocos, realizado no ano de 2001.

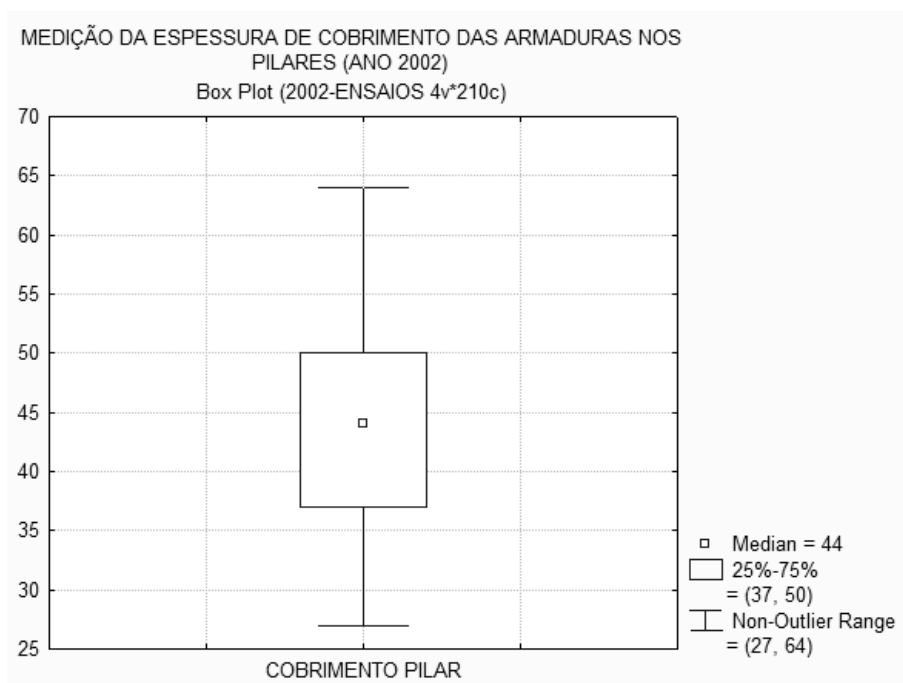


Figura 16: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nos pilares, realizado no ano de 2002.



Figura 17: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nas vigas travessas, realizado no ano de 2002.

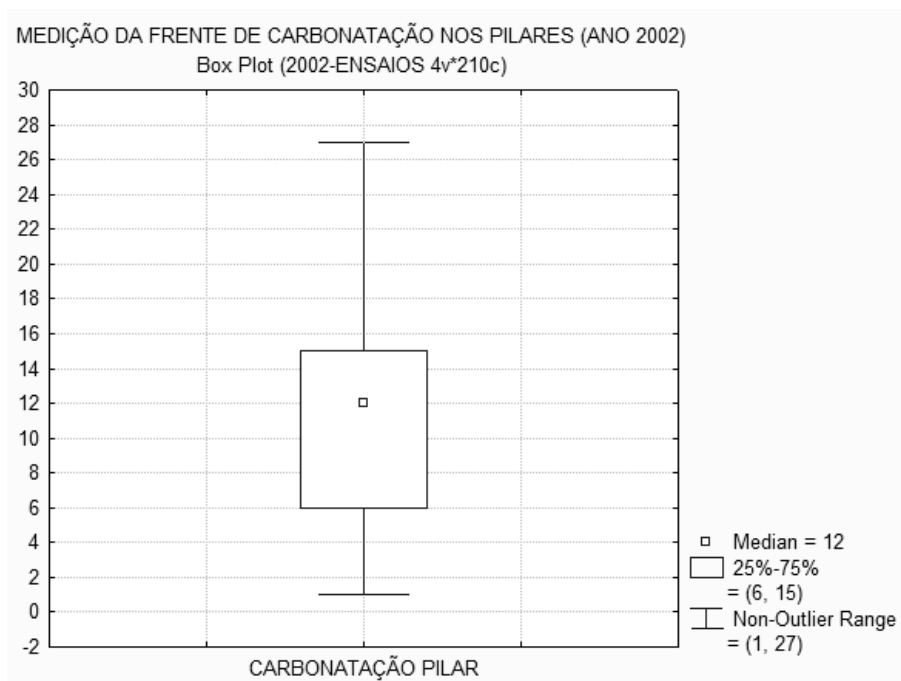


Figura 18: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nos pilares, realizado no ano de 2002.

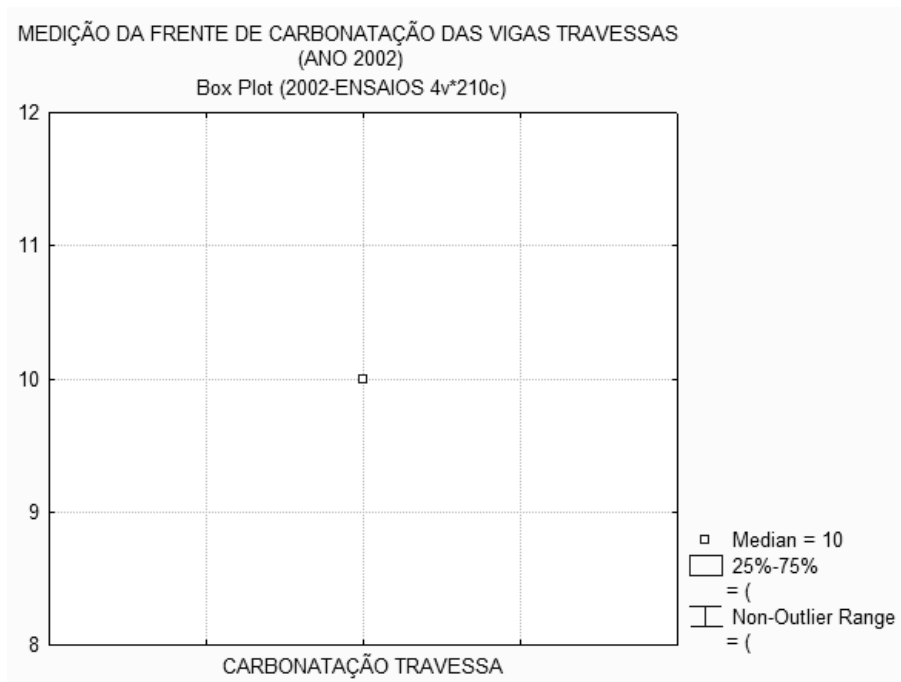


Figura 19: Ensaios de medição do avanço da frente de carbonatação nas vigas travessas, realizado no ano de 2002.

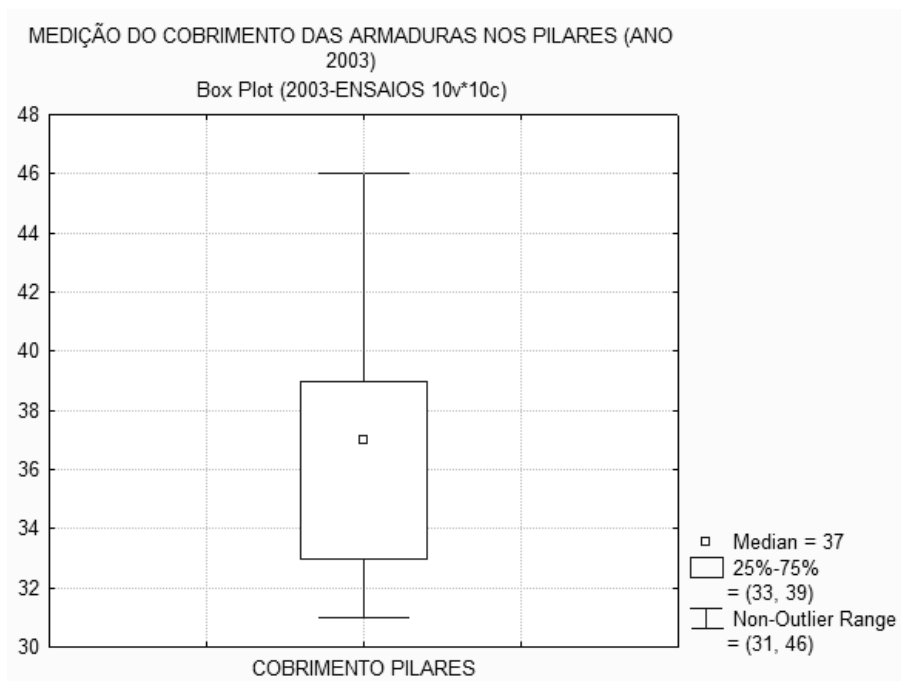


Figura 20: Ensaios de medição do cobrimento das armaduras nos pilares, realizado no ano de 2003.

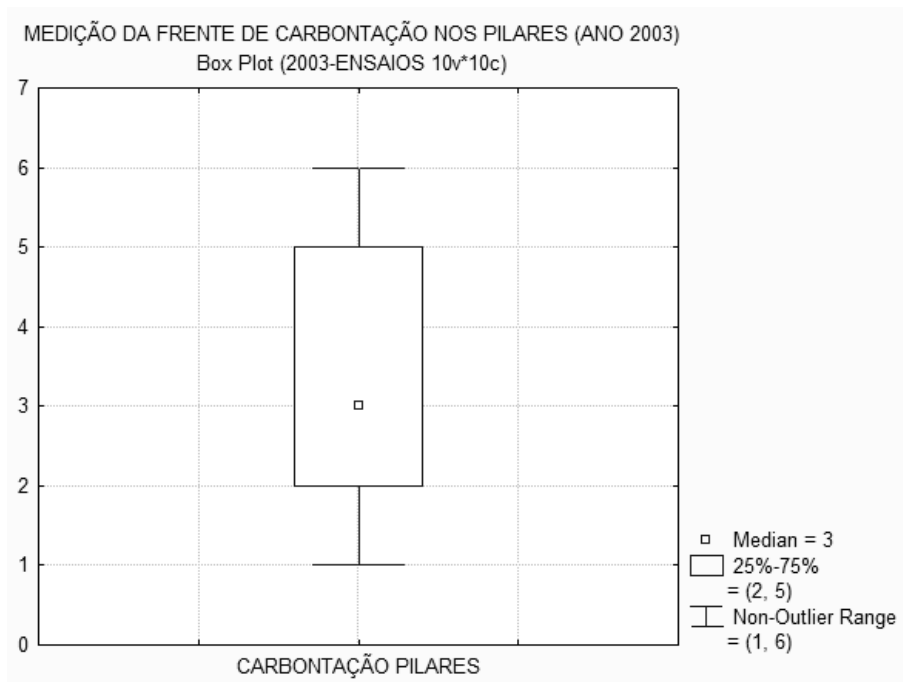


Figura 21: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nos pilares, realizado no ano de 2003.

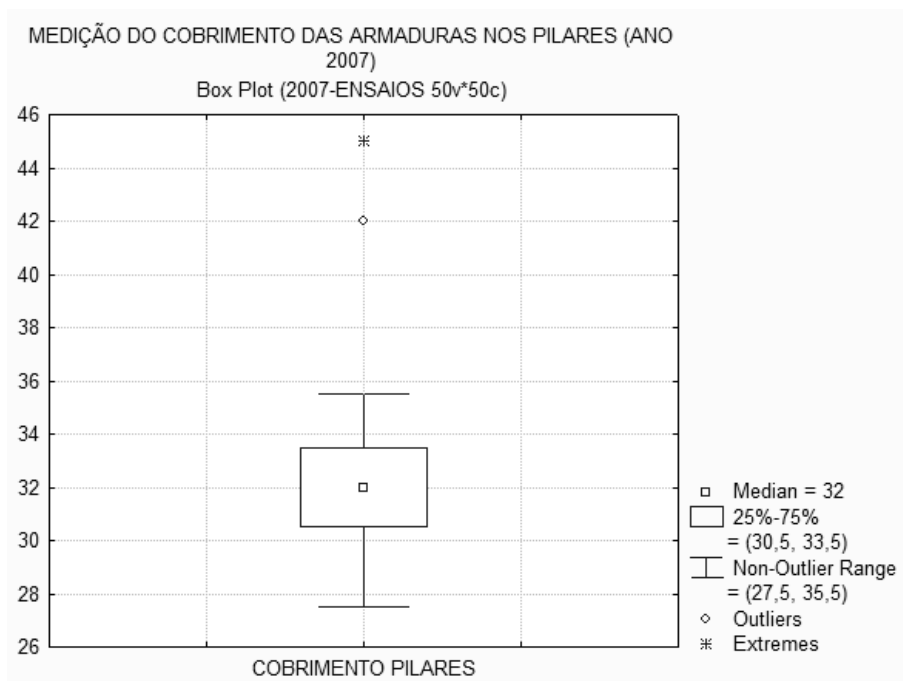


Figura 22: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nos pilares, realizado no ano de 2007.

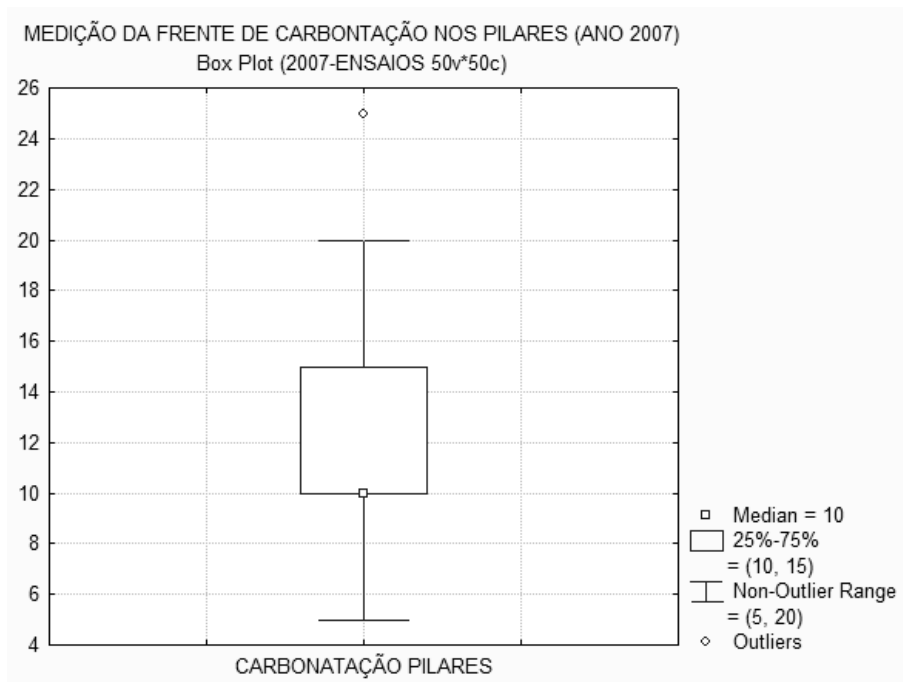


Figura 23: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nos pilares, realizado no ano de 2007.

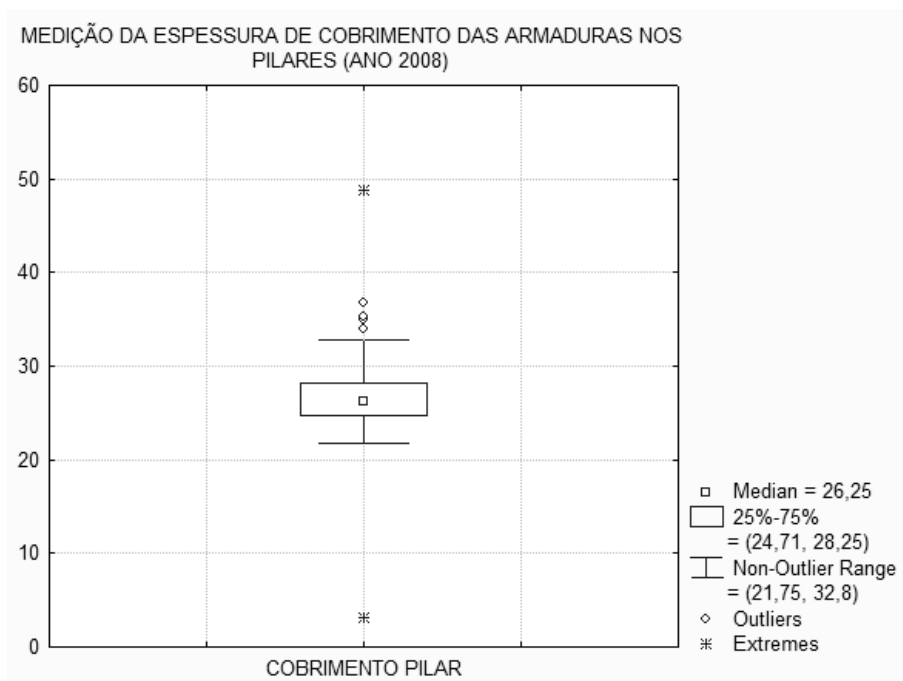


Figura 24: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nos pilares, realizado no ano de 2008.



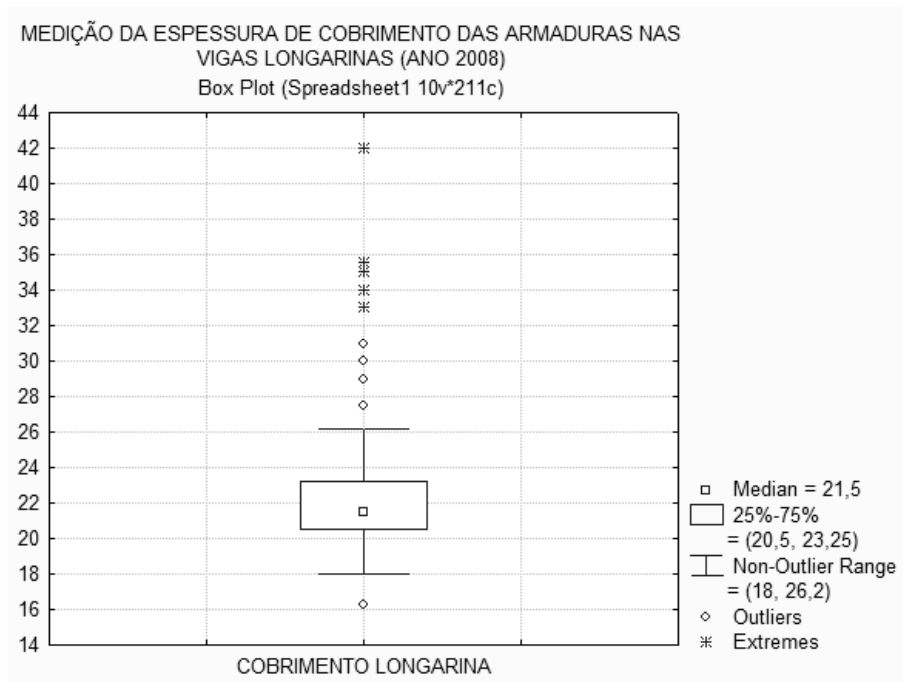


Figura 25: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nas vigas longarinas, realizado no ano de 2008.

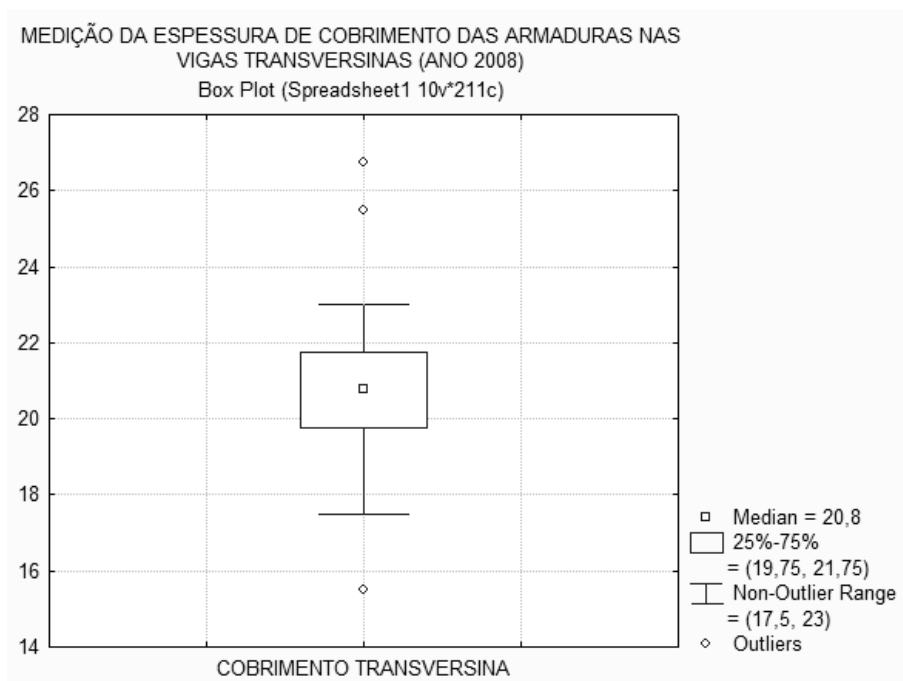


Figura 26: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nas vigas transversinas, realizado no ano de 2008.

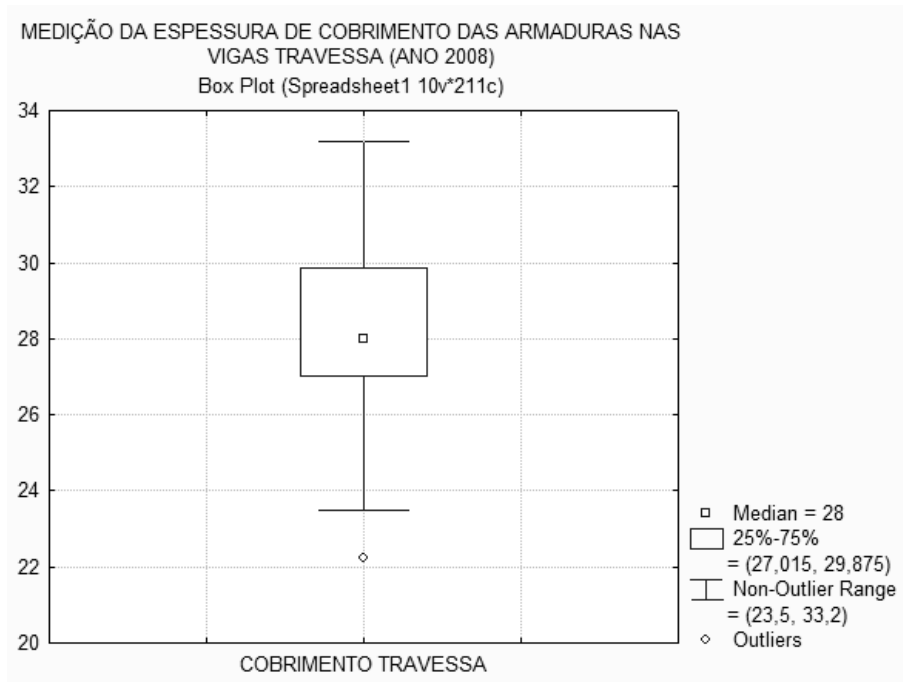


Figura 27: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nas vigas travessas, realizado no ano de 2008.

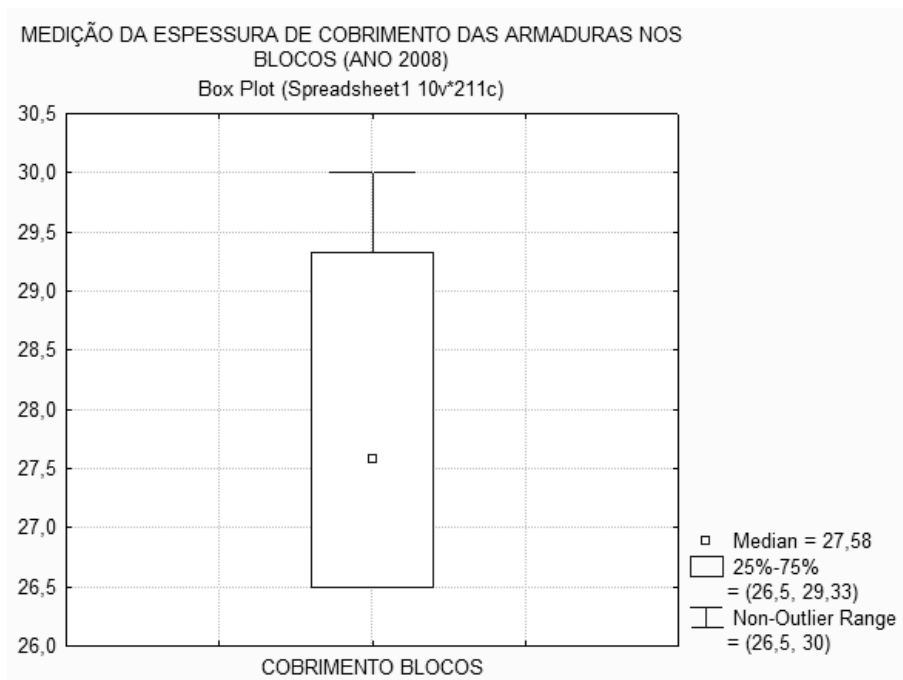


Figura 28: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nos blocos, realizado no ano de 2008.

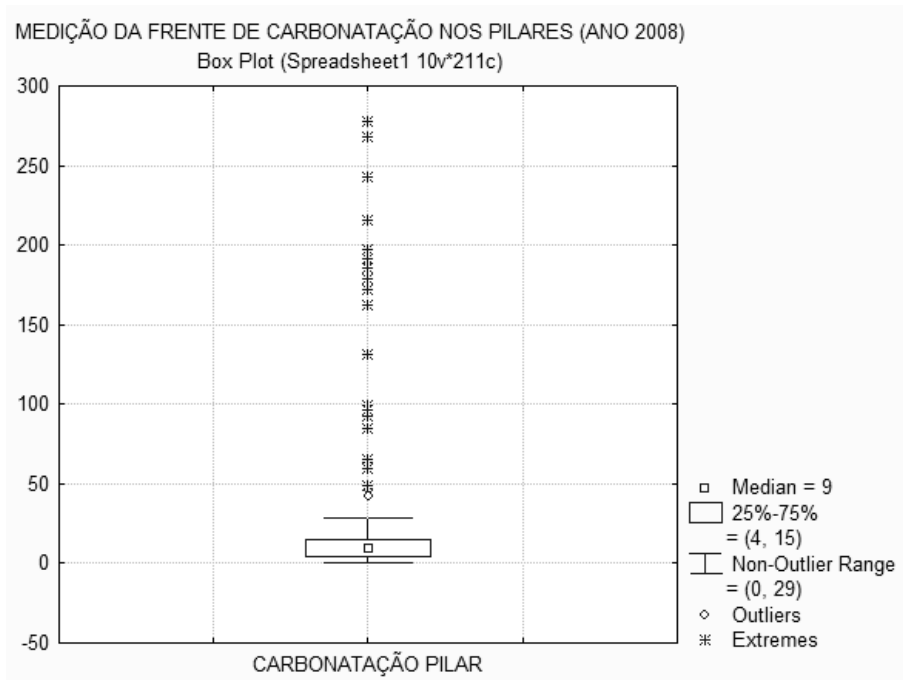


Figura 29: Ensaios de medição do avanço da frente de carbonatação nos pilares, realizado no ano de 2008.

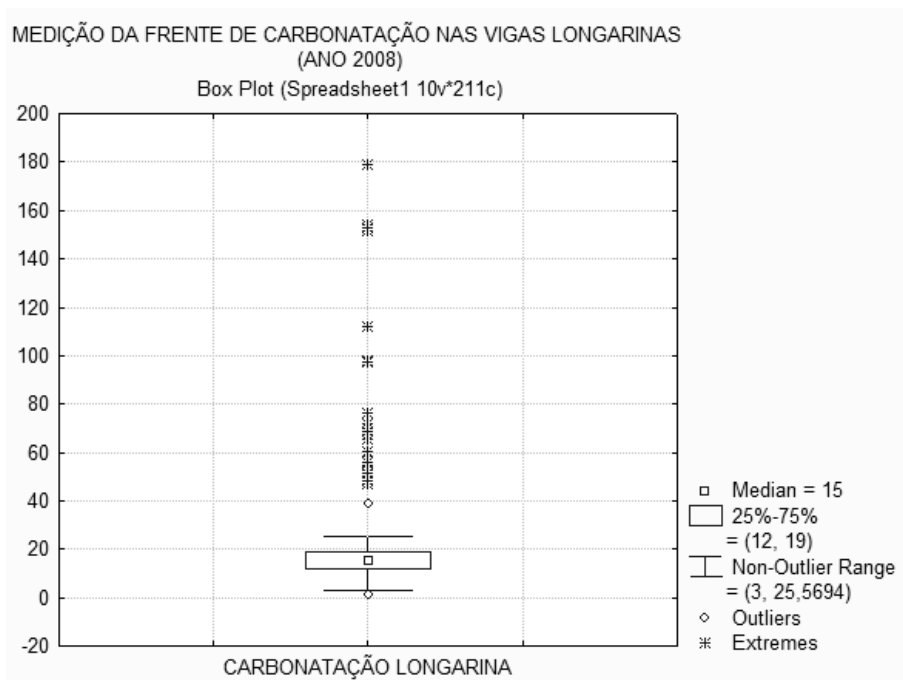


Figura 30: Ensaios de medição do avanço da frente de carbonatação nas vigas longarinas, realizado no ano de 2008.

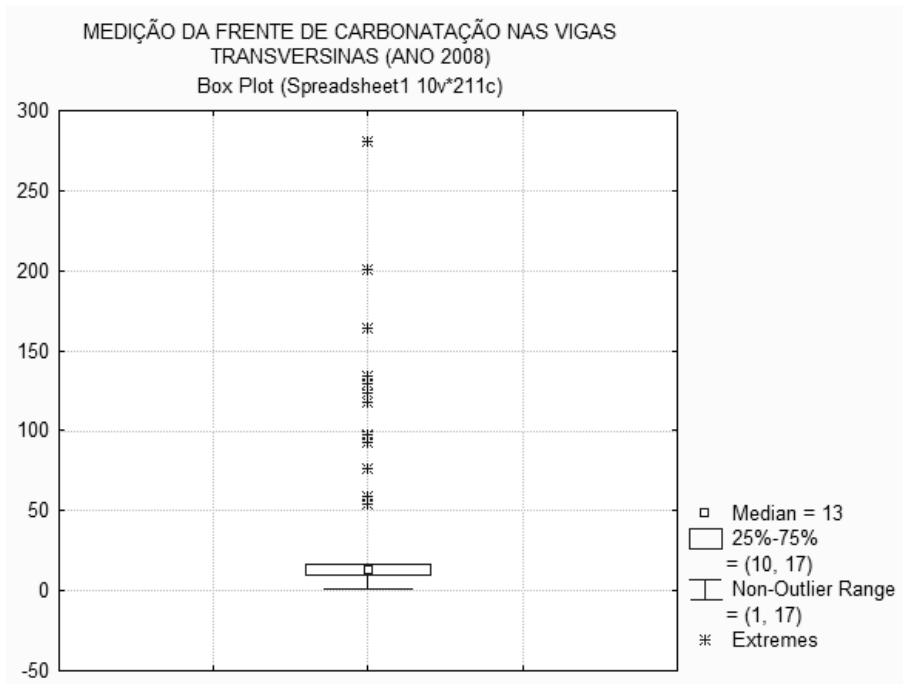


Figura 31: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nas vigas transversinas, realizado no ano de 2008.

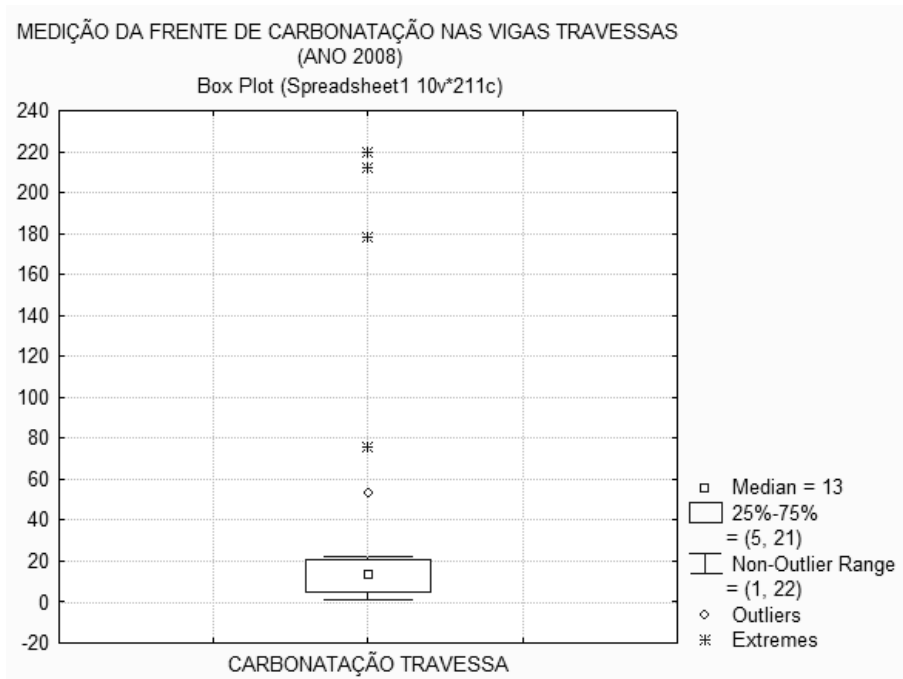


Figura 32: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nas vigas travessas, realizado no ano de 2008.

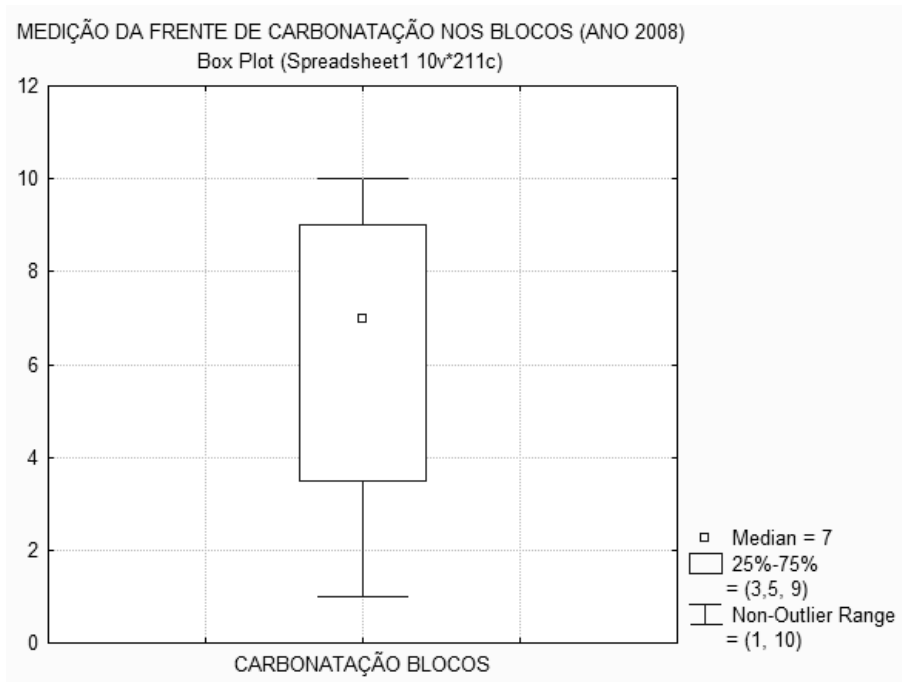


Figura 33: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nos blocos, realizado no ano de 2008.



Figura 34: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nos pilares, realizado no ano de 2009.

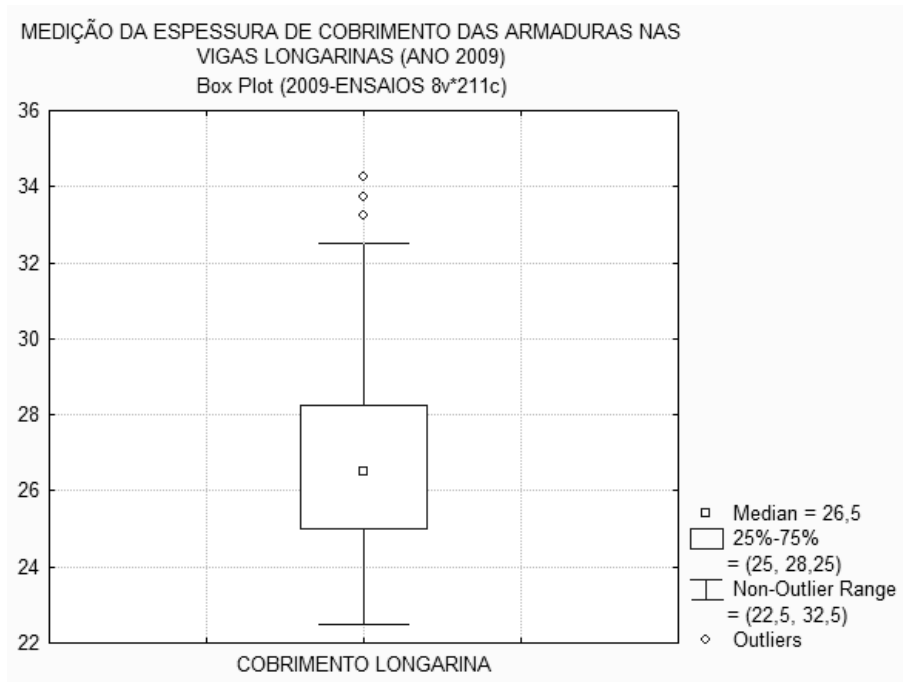


Figura 35: Ensaios de medição do cobrimento das armaduras nas vigas longarinas, realizado no ano de 2009.

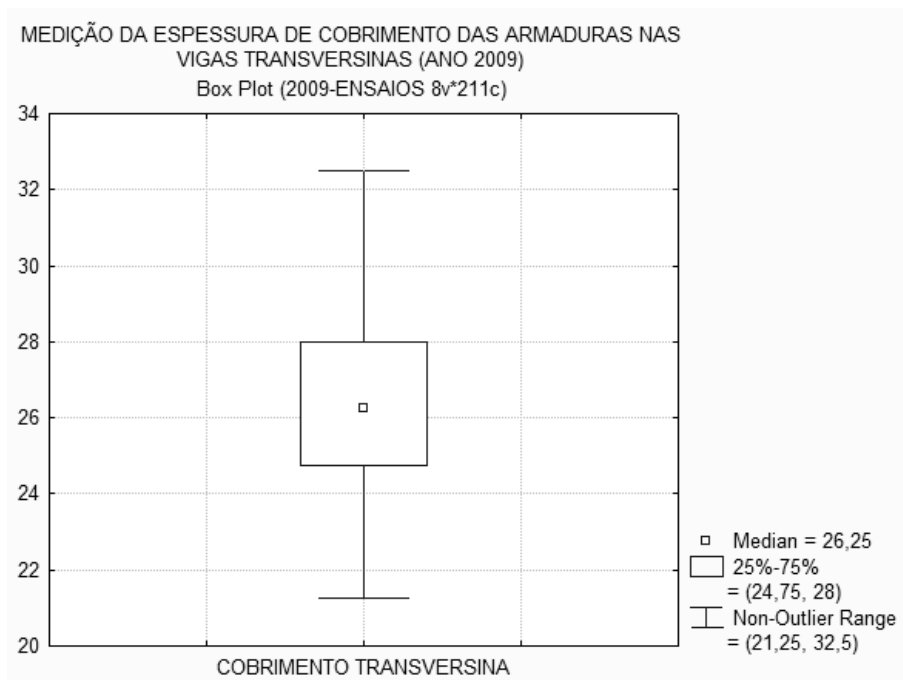


Figura 36: Ensaios de medição do cobrimento das armaduras nas vigas transversinas, realizado no ano de 2009.

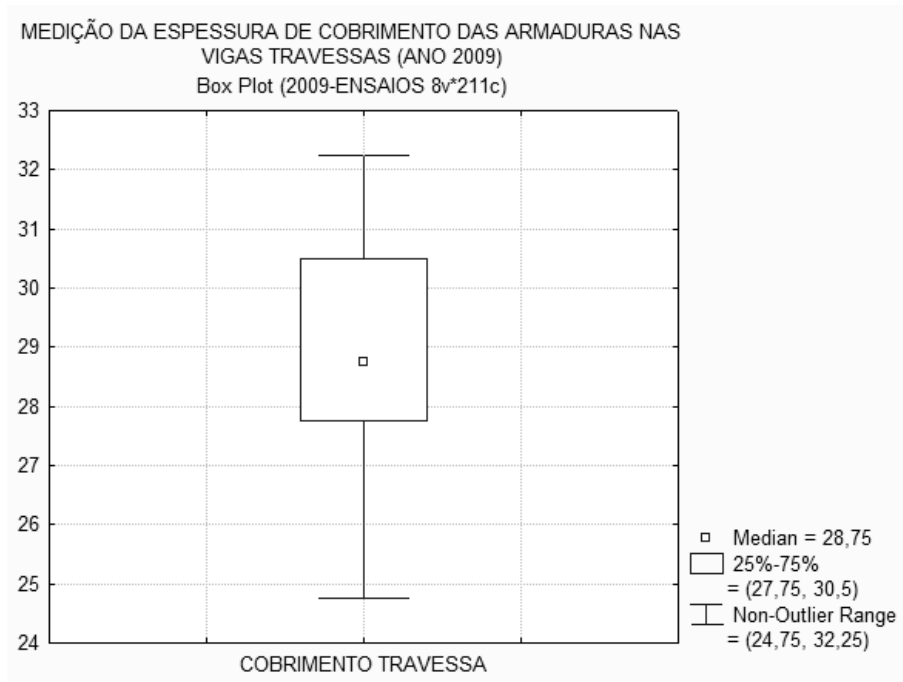


Figura 37: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nas vigas travessas, realizado no ano de 2009.

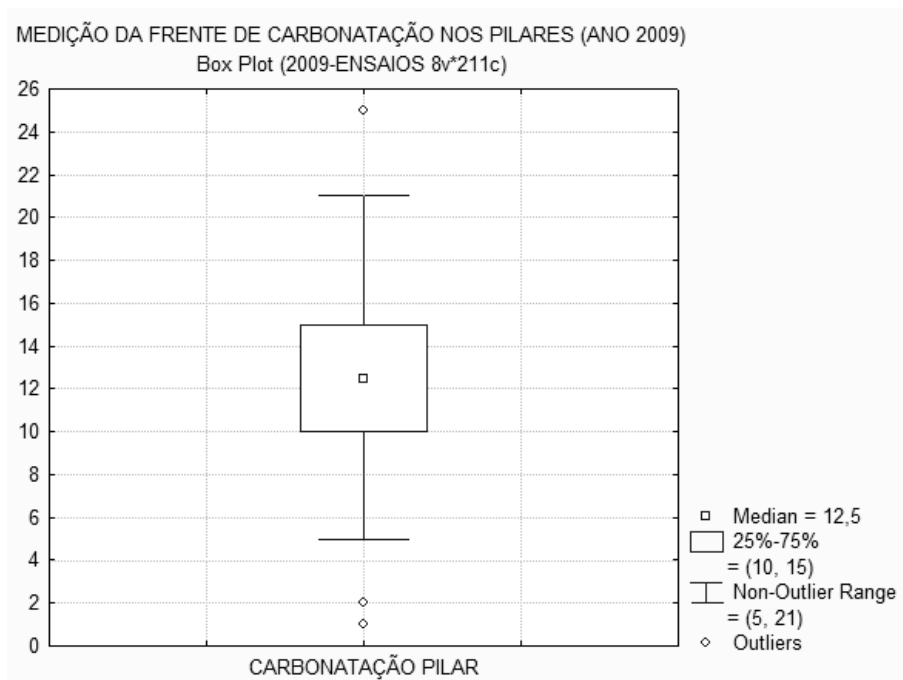


Figura 38: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nos pilares, realizado no ano de 2009.

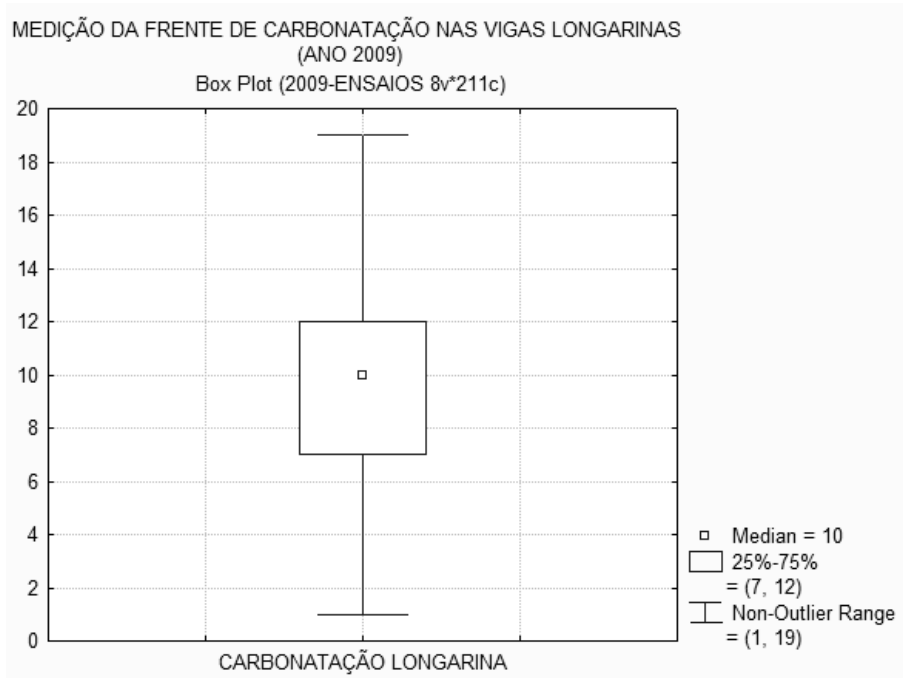


Figura 39: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nas vigas longarinas, realizado no ano de 2009.

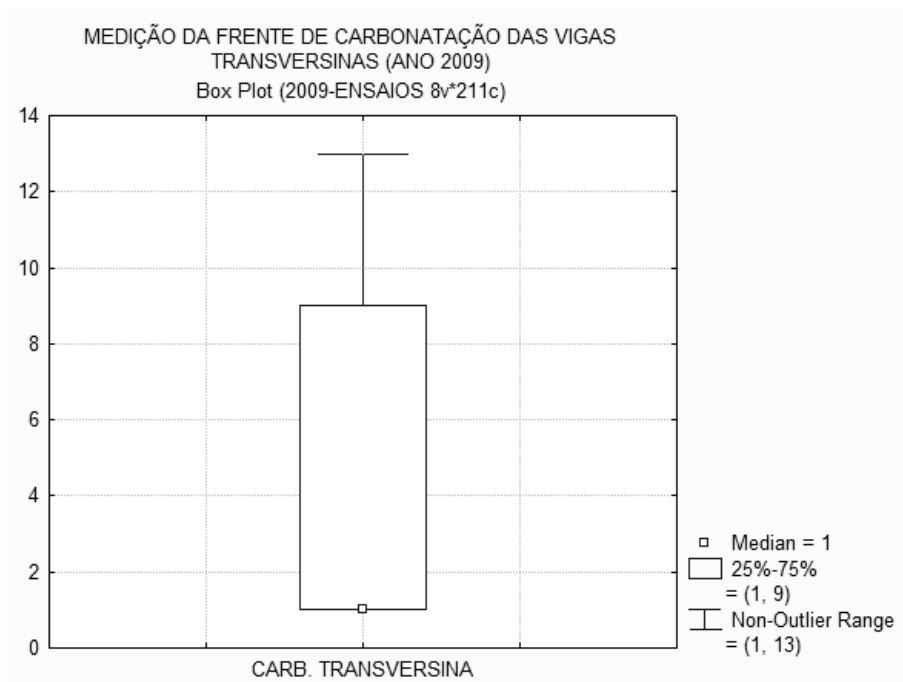


Figura 40: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nas vigas transversinas, realizado no ano de 2009.



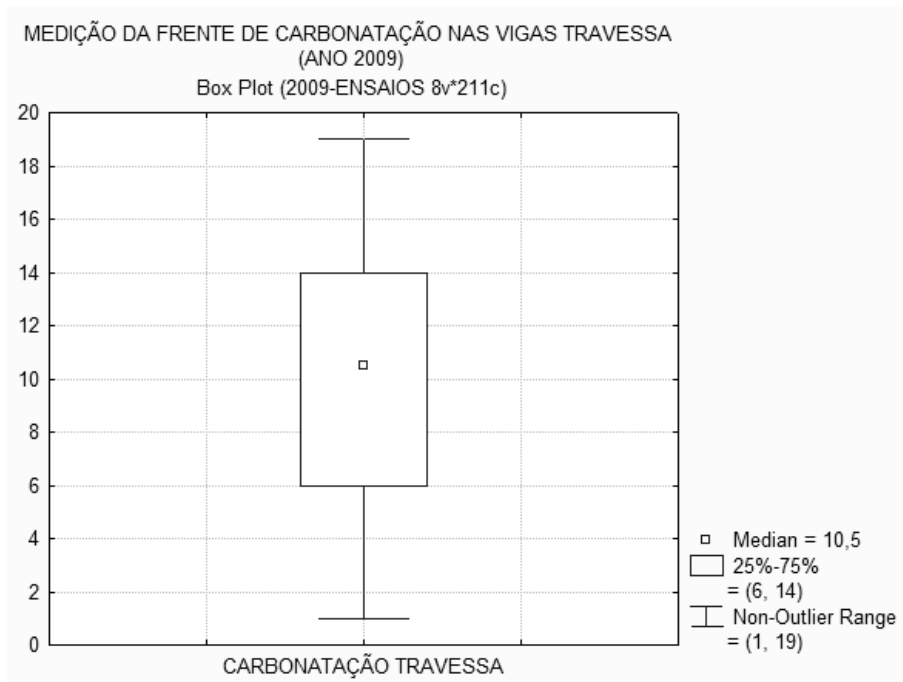


Figura 41: Ensaio de medição do avanço da frente de carbonatação nas vigas travessas, realizado no ano de 2009.

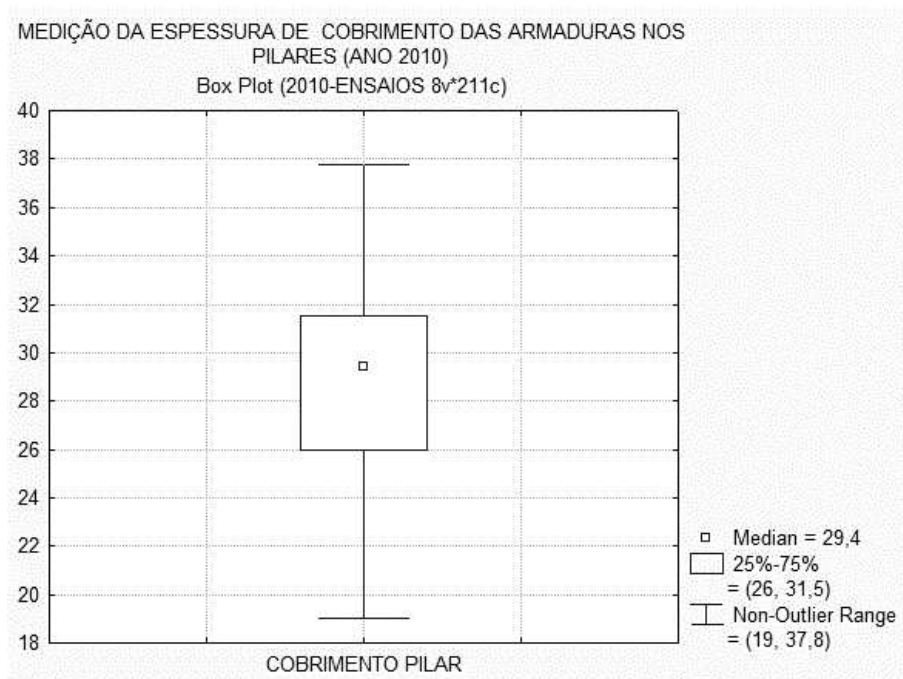


Figura 42: Ensaio de medição do cobrimento das armaduras nos pilares, realizado no ano de 2010.

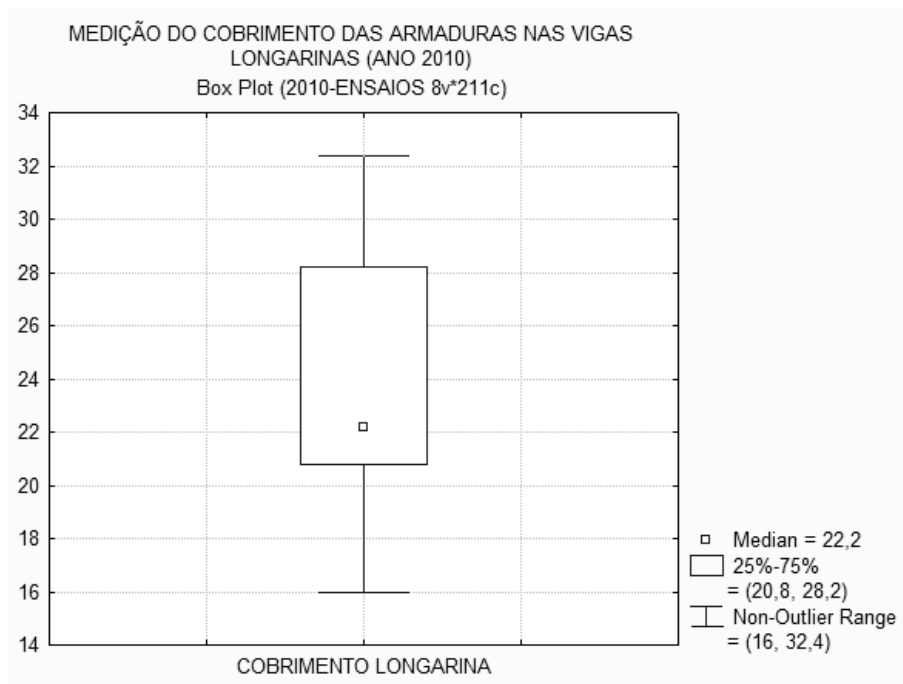


Figura 43: Ensaios de medição do cobrimento das armaduras nas vigas longarinas, realizado no ano de 2010.

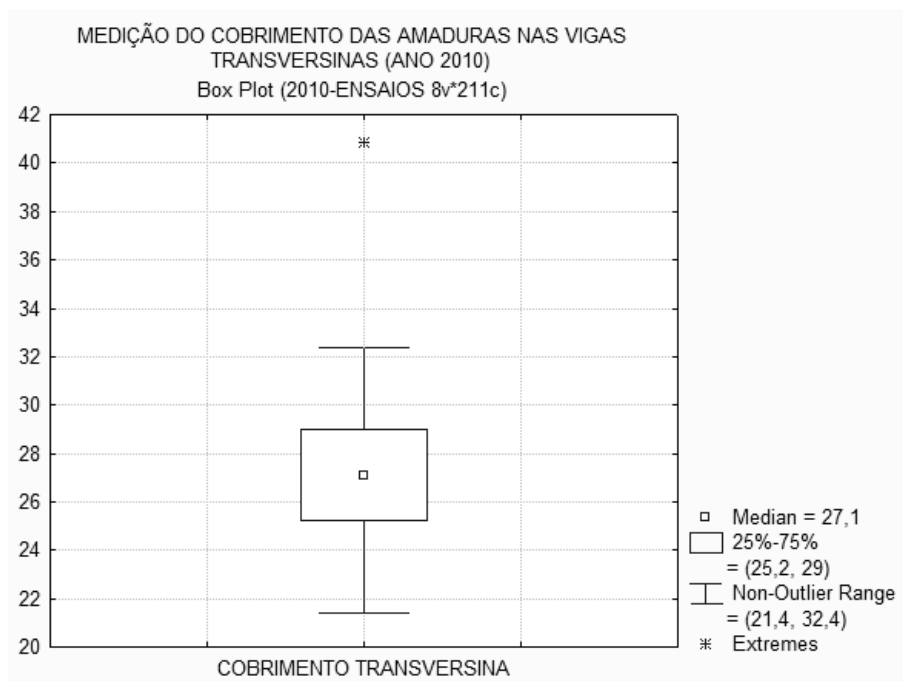


Figura 44: Ensaios de medição do cobrimento das armaduras nas vigas transversinas, realizado no ano de 2010.

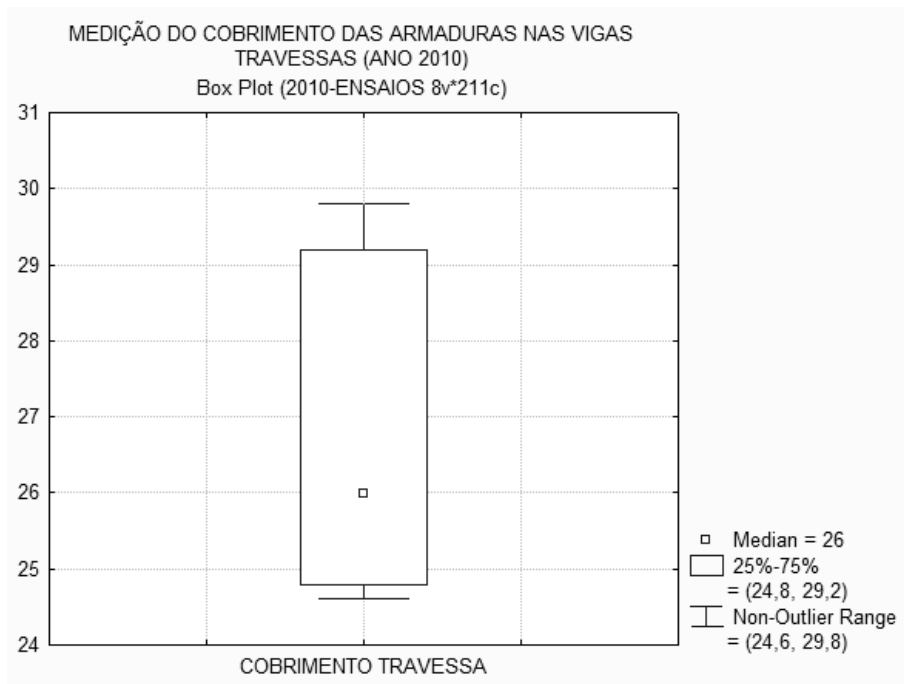


Figura 45: Ensaios de medição do cobrimento das armaduras nas vigas travessas, realizado no ano de 2010.

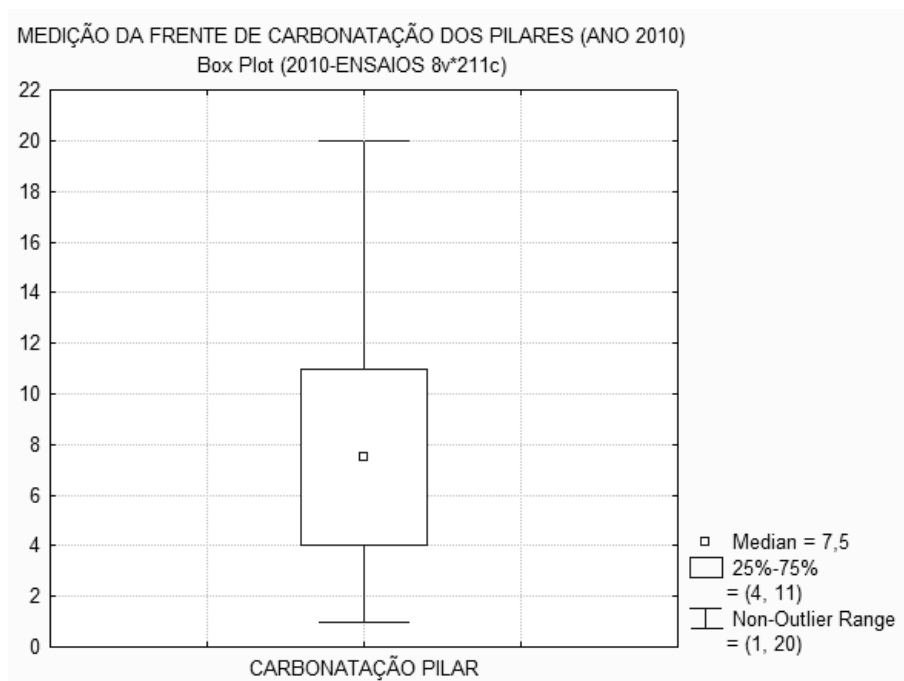


Figura 46: Ensaios de medição da frente de carbonatação nos pilares, realizado no ano de 2010.

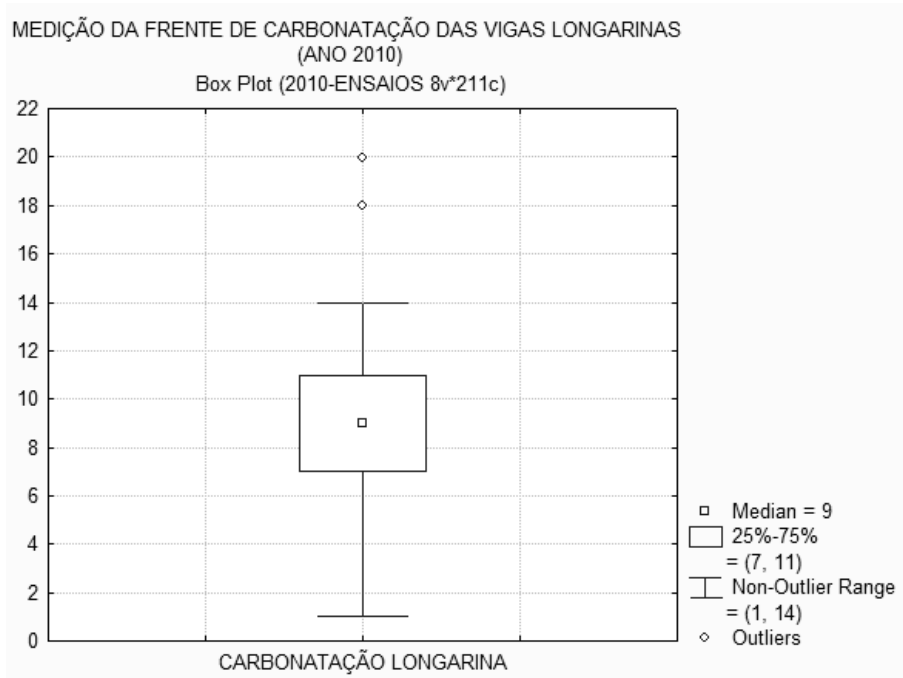


Figura 47: Ensaios de medição da frente de carbonatação nas vigas longarinas, realizado no ano de 2010.

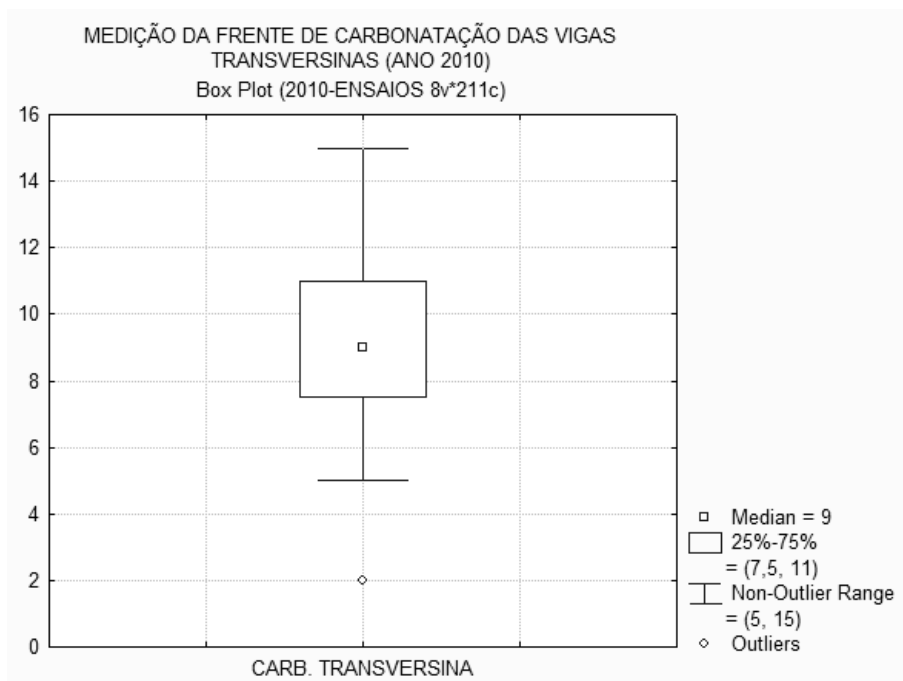


Figura 48: Ensaios de medição da frente de carbonatação nas vigas transversinas, realizado no ano de 2010.

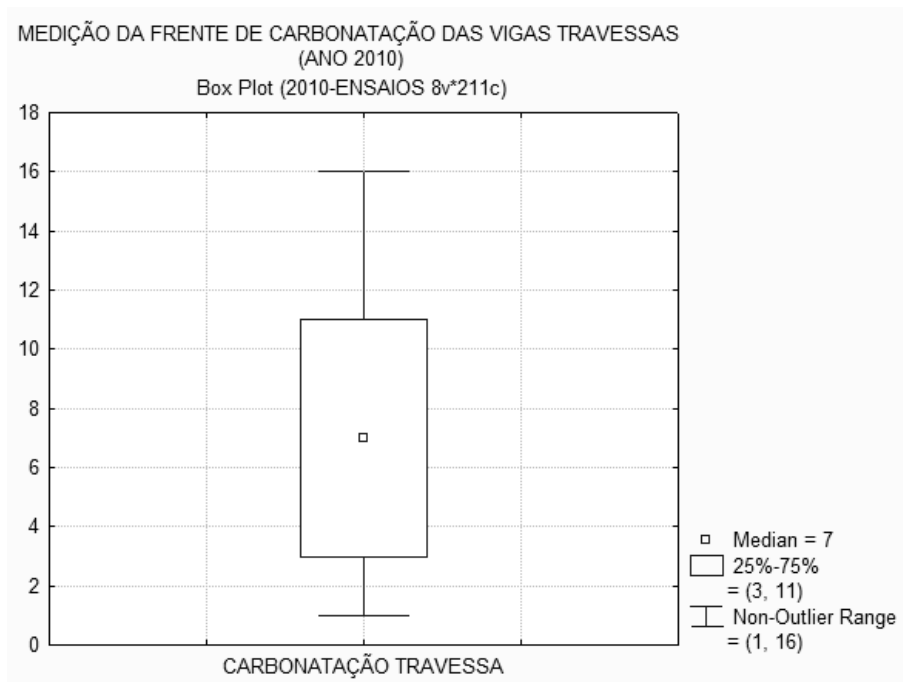


Figura 49: Ensaio de medição da frente de carbonatação nas vigas travessas, realizado no ano de 2010.

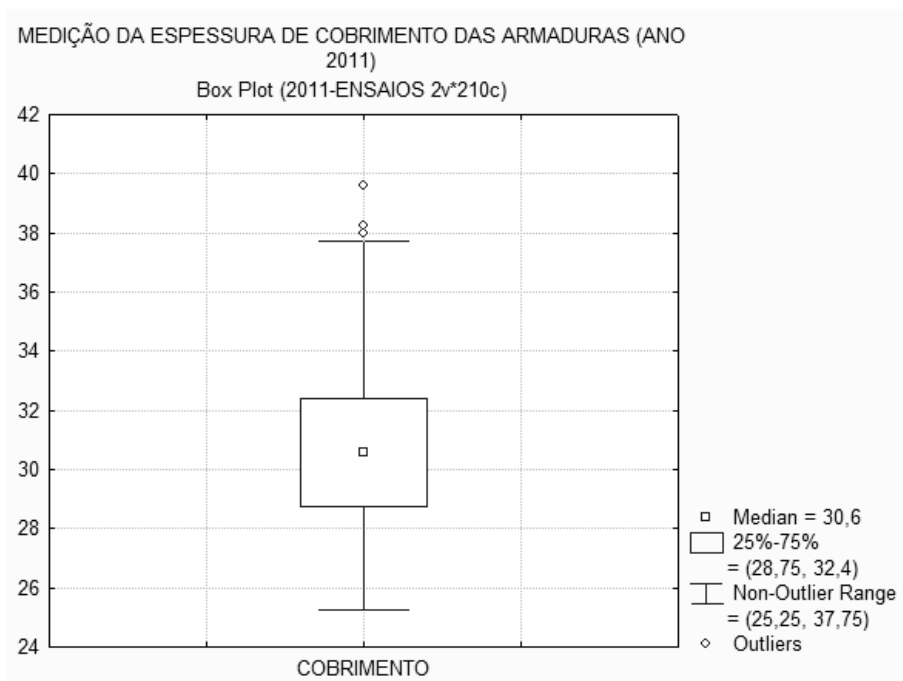


Figura 50: Ensaio de medição da espessura de cobrimento nos pilares, realizado no ano de 2011.

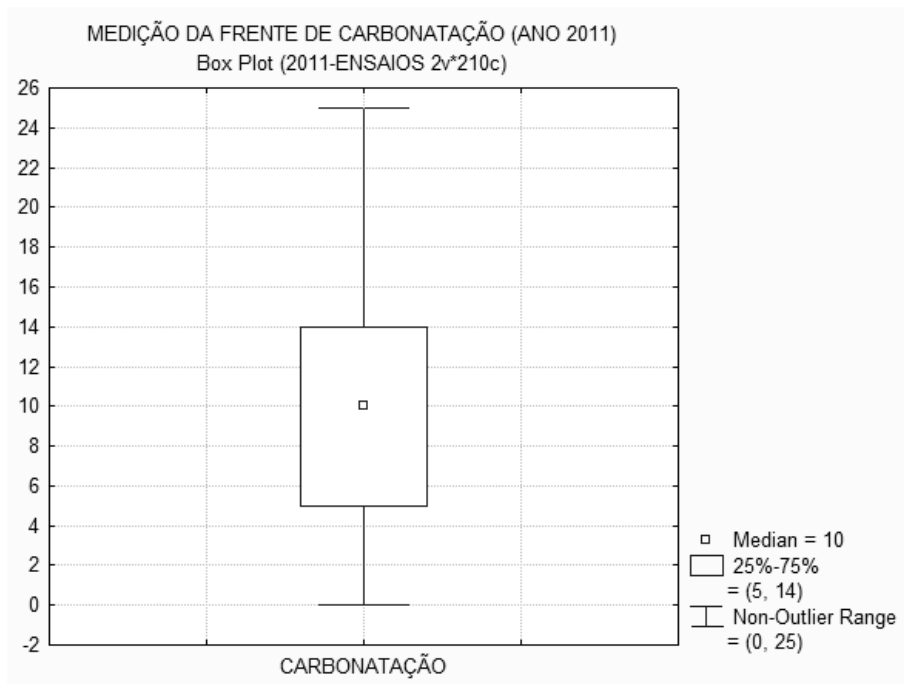


Figura 51: Ensaios de medição da frente de carbonatação nos pilares, realizado no ano de 2011.