



## CORRELAÇÃO ENTRE TÉCNICAS NÃO-DESTRUTIVAS PARA AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DA INTEGRIDADE EM CONCRETOS ESTRUTURAIS EM SALVADOR

**CARVALHO, Igor Magalhães Antônio (1); SILVA, Moisés Ferreira Eleutério  
(2); PÉREZ, Cristina Toca (3); VIEIRA, Luara Batalha (4)**

(1) SENAI CIMATEC, [igor\\_antonio\\_3@hotmail.com](mailto:igor_antonio_3@hotmail.com)

(2) SENAI CIMATEC, [eng\\_mfes@yahoo.com.br](mailto:eng_mfes@yahoo.com.br)

(3) SENAI CIMATEC, [cristina.perez@fieb.org.br](mailto:cristina.perez@fieb.org.br)

(4) SENAI CIMATEC, [luara.batalha@fieb.org.br](mailto:luara.batalha@fieb.org.br)

### RESUMO

O concreto armado é amplamente utilizado em variados projetos de engenharia e arquitetura, desde habitações mais simples até estruturas especiais e de grande porte, como pontes e viadutos. Nesse contexto, o controle e análise das propriedades do concreto torna-se indispensável na prevenção de manifestações patológicas, que costumam depreciar a edificação e limitar o desempenho e vida útil dos componentes e sistemas. O diagnóstico do concreto é possibilitado pela aplicação de métodos práticos, econômicos e simplificados para avaliação de não conformidades, como é o caso dos ensaios não destrutivos. Tais procedimentos surgem como alternativas ágeis para obtenção de parâmetros importantes para qualificar o desempenho das estruturas, sobretudo no que se refere ao comportamento estrutural e a durabilidade. No entanto, os resultados dos ensaios não destrutivos ainda consistem em uma interpretação isolada das propriedades, sem uma associação direta do comportamento e integridade da estrutura. Portanto, o presente trabalho visa correlacionar dois ensaios não destrutivos (sendo estes, ultrassom e esclerometria) para compreender melhor a qualidade dos elementos, principalmente no que tange à vida útil e deterioração em função das condições ambientais de exposição. Para tal, foi realizado um estudo de caso em um empreendimento residencial na cidade de Salvador, Bahia. Este edifício foi escolhido por se encontrar numa área classificada como de classe de agressividade forte e grande risco de deterioração da estrutura, apresentando potencial elevado de ataque por cloretos. A partir dos resultados obtidos foi possível obter uma boa correlação entre os ensaios realizados. O pilar mais exposto ao ambiente agressivo apresentou redução em até 34% da capacidade resistente e até 50% na velocidade de propagação das ondas, indicando qualidade como insatisfatória/regular ou ruim. Portanto, uma análise complementar entre ensaios não destrutivos e a relação com o ambiente de exposição pode auxiliar um diagnóstico mais assertivo da integridade estrutural do concreto.

**Palavras-chave:** Estruturas de concreto armado, Patologias das Construções, Ensaos não destrutivos, Ultrassom, Esclerometria.

### ABSTRACT

*Reinforced concrete is widely used in a variety of engineering and architecture projects, from the simplest dwellings to special and large structures such as bridges and viaducts. In this context, the control and analysis of concrete properties becomes indispensable in the prevention of pathological manifestations, which tend to depreciate the building and limit the performance and useful life of components and systems. The diagnosis of concrete is sometimes made possible by the application of practical, economical and simplified methods to evaluate nonconformities, such as non destructive tests. Such procedures appear as agile alternatives to obtain important parameters to qualify the structures performance, especially regarding the structural behavior and durability. However, the*

results of non-destructive tests still consist of an isolated interpretation of the properties, without a direct association of behavior and integrity of the structure. Therefore, the present work aims to correlate two non-destructive tests (ultrasound and sclerometry) to better understand the quality of the elements, especially regarding the useful life and deterioration due to the environmental exposure conditions. To this end, a case study was conducted in a residential development in the city of Salvador, Bahia. This building was chosen because it is in an area classified as a class of aggressiveness and great risk of deterioration of the structure, presenting high potential for chloride attack. From the obtained results it was possible to obtain a good correlation between the performed tests. The pillar most exposed to the harsh environment showed a reduction of up to 34% of the resistant capacity and up to 50% in the wave propagation speed, indicating quality as unsatisfactory / fair or poor. Therefore, a complementary analysis between non-destructive tests and the relationship with the exposure environment can assist a more assertive diagnosis of the structural integrity of the concrete.

**Keywords:** Reinforced Concrete Structures, Building Pathologies, Non Destructive Testing, Ultrasound, Sclerometry.

## 1 INTRODUÇÃO

A recorrência no surgimento de manifestações patológicas em edificações tem preocupado os agentes intervenientes no processo de construção, principalmente e mais recentemente a sociedade civil. É possível elencar diversas inconformidade ou anomalias oriundas de problemas congênitos, executivos ou adquiridos, como no caso das fissuras, trincas, rachaduras, corrosão eletroquímica, infiltração e recalque. Os danos causados as estruturas resultam em altos custos de reparos, que podem ser evitados através de uma avaliação periódica de profissionais habilitados, aliados a um plano de manutenção de todos os sistemas das edificações.

As construções em concreto armado apresentam níveis de deterioração distintos e que são dependentes da condição e ambiente para o qual foi projetado e exposto. A corrosão das armaduras, por exemplo, é desencadeada pela interação e reações entre o meio externo e interno. A força motriz que incita o processo, como umidade, temperatura e oxigênio aliados à diferença de potencial das barras de aço, estimula a formação de uma pilha ou célula de corrosão. Quando a alcalinidade do concreto é reduzida, a armadura perde a película passivadora de proteção, e passa a ser alvo de processos de oxi-redução, geralmente causada pela carbonatação, a qual é iniciado a partir da superfície e avança progressivamente para dentro do concreto, devido a facilidade de difusão do CO<sub>2</sub>.

A estrutura de concreto armado deverá ser dimensionada com capacidade de resistir as cargas e esforços previstos em cálculo, além de ser atribuída uma distância assertiva referente ao seu cobrimento que será prevista pela NBR 6118, de acordo com a classe de agressividade ambiental do referido local a ser construído, como também demais cuidados referentes a fatores externos ou intempéries. Assim, a durabilidade de uma estrutura está relacionada a sua capacidade de

resistir às ações de agentes químicos, físicos e biológicos do meio a ser construído. Devem ser seguidas as orientações NBR 15575 a fim de se obter a vida útil de projeto (VUP) mínima de 50 anos.

Uma série de soluções de ensaios não destrutivos podem ser aplicadas para inspeção e análise de componentes e sistemas sem causar danos significativos à estrutura dos concretos. Além disso, tais técnicas representam uma das principais ferramentas de controle e qualidade, garantindo economicidade e praticidade no diagnóstico preventivo das patologias. As principais são: Ultrassom, emissão acústica, ensaio visual, resistividade, radiografia, esclerometria, partículas magnéticas e outros, sendo utilizados nos mais diversos setores industriais, químicos, aeroespaciais e outros.

No campo da Engenharia Civil são frequentemente realizados ensaios não destrutivos para análise da qualidade das estruturas das edificações. Adamatti (2013) afirma que a aplicação dos ensaios não destrutivos representa uma interessante estratégia permitindo monitorar de uma forma mais precisa, o estado das estruturas de concreto armado, especialmente quando acontecem falhas em projetos, problemas nas misturas, erros de dosagem, transporte ou lançamento do concreto.

Ferreira (2011) aponta que existem muitos estudos na literatura que abordam questões relativas aos fatores de interferência nos resultados dos ensaios não destrutivos do concreto, como nas características e composição dos materiais (composição, resistência, dureza superficial, porosidade/compacidade, relação água/cimento, dimensão máxima dos agregados), experiência do profissional que irá realizar os ensaios, e do ambiente a ser monitorado, com destaque às variáveis intervenientes como temperatura e umidade.

Portanto, compreender melhor a qualidade do concreto armado por meio de técnicas menos danosas às estruturas constitui-se um desafio para manutenção da vida útil e durabilidade das edificações. Nesse contexto, o objetivo do trabalho visa a utilização de duas técnicas não destrutivas complementares para aferir a qualidade dos pilares em uma edificação situada na região litorânea de Salvador.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Caracterização da edificação**

O estudo foi realizado em um empreendimento residencial situado no bairro da Barra, região litorânea da cidade de Salvador/BA localizada geograficamente nas coordenadas 13°00'03.1''S e 38°31'45.0''W, situada a 80 metros do mar. O prédio em estudo foi construído há cerca de 40 anos e possui cinco pavimentos, sendo um pavimento garagem, térreo e três pavimentos superiores.

**Figura 1 – Imagem da localização e fachada da edificação de estudo**



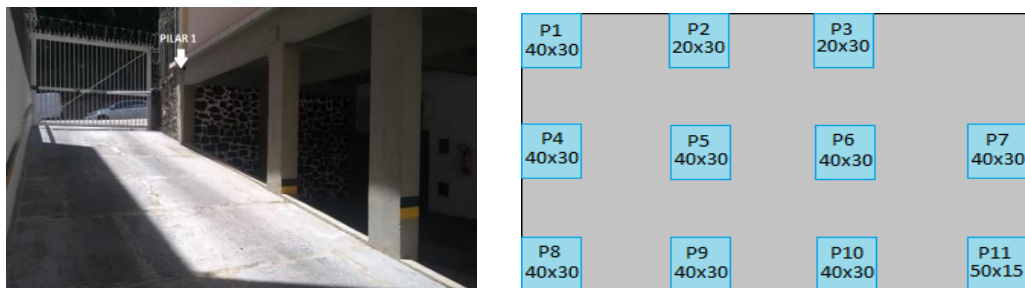
Fonte: Google maps

A cidade de Salvador possui regiões que podem ser enquadradas em diferentes classes ambientais de agressividade, de acordo com a proximidade ao mar e deposição de cloretos. Albuquerque (2016) propôs um estudo no qual classificou a agressividade ambiental e os riscos de deterioração das estruturas presentes na cidade de Salvador, utilizando como referência a deposição de cloretos e distância relativa para o mar de cada bairro da cidade de Salvador. O bairro da Barra, onde o empreendimento estudado se encontra, foi classificada como de classe de agressividade forte e grande risco de deterioração da estrutura, apresentando potencial elevado de ataque por cloretos.

## 2.2 Ensaio dos Elementos Estruturais em Concreto Armado

Na edificação foram realizados ensaio de ultrassom e esclerometria nos pilares do estacionamento, em função da maior potencialidade de danos aos elementos e, devido ao acabamento de pintura ser simples e da mesma coloração do concreto, não provocando deformações superficiais visíveis. A Figura 2 ilustra a disposição dos pilares do estacionamento da edificação e suas respectivas geometrias.

**Figura 2 – Representação esquemática da posição dos pilares da garagem**



Fonte: Autor 2019

### **2.2.1. Ensaio de esclerometria**

O ensaio de esclerometria foi realizado com o equipamento esclerômetro, modelo MTK- 1015 com energia de impacto de 2,207 N.m, testado e calibrado de acordo com as exigências da norma ABNT NBR 7584:2012. Após o preparo da superfície dos pilares mediante polimento e remoção da poeira superficial, foi delimitada uma área uniforme para a realização do ensaio em duas faces opostas dos pilares 1, 2, 4, 5, 6, 8 e 9. O critério de seleção dos pilares deu-se a partir dos elementos com maior proximidade ao ambiente agressivo.

A malha foi sinalizada com o auxílio de fita crepe e área de ensaio teve uma distância de 8 (oito) centímetros dos cantos dos pilares, considerando também a espessura da fita de marcação. O ensaio seguiu as diretrizes da NBR 7584, mediante realização de 16 (dezesseis) leituras com o equipamento na área destinada ao ensaio, onde a distância de centro entre dois pontos de impacto registrada foi de 3 cm, tanto na posição horizontal como na vertical. Todas as medições foram realizadas com a angulação 0° com a superfície, ou seja, ortogonal a área de ensaio.

Os valores obtidos pelo esclerômetro foram tratados estatisticamente, desconsiderando os valores de dispersão (10% para mais ou para menos) em relação à média aritmética.

### **2.2.2. Ensaio de ultrassom**

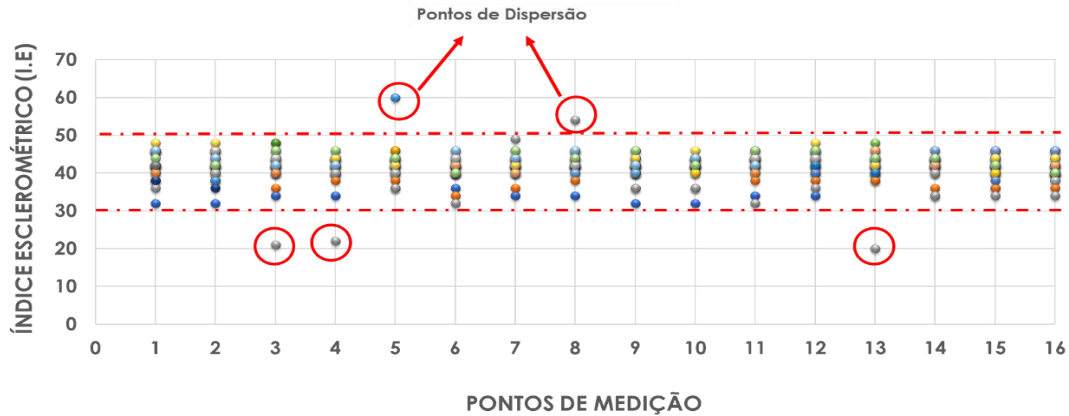
O ensaio de ultrassom foi realizado pelo método de transmissão direta nos pilares do estacionamento da edificação, através do equipamento da PROCEQ modelo PUNDIT LAB de frequência nominal do transdutor 54 kHz. Utilizou-se o bloco de calibração Proceq – 25,4 µs, Part No. 71010028. O procedimento seguiu as diretrizes estabelecidas pela NBR 8802/2013 e manual técnico do fabricante.

A técnica foi aplicada em pontos centrais dos pilares entre as alturas (1,2 m e 1,5 m) com cerca de 7 pontos de monitoramento a cada 5 cm, com exceção do pilar 1, que devido a sua exposição só pôde ser iniciado a uma altura de 1,25 m. A escolha pela metodologia de transmissão direta é mais recomendada pelos fabricantes em função da minimização das perdas provenientes da emissão e captura de ondas.

## **3. RESULTADOS**

A partir do Gráfico 1 e Tabela 1, é possível observar os resultados dos índices esclerometricos (I.E) nos pilares 1, 2, 4, 5, 6, 8 e 9. Cabe ressaltar que em função da limitação de aplicação da técnica, algumas faces dos pilares de canto não puderam ser ensaiadas.

**Gráfico 1** – Resultados do ensaio de esclerometria em diferentes pontos de medição



Fonte: Próprio autor 2019

**Tabela 1** – Resultado dos ensaios de esclerometria das estruturas do concreto

	PILAR 1		PILAR 2		PILAR 4	
	FACE 1	FACE 3	FACE 1	FACE 3	FACE 1	FACE 3
IDADE (Dias)	> 28	> 28	> 28	> 28	> 28	> 28
MÉDIA	34,4	34,4	42,6	43,4	41,5	40,8
K	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
IE <sub>6</sub> =K.IE	34	35	43	43	42	41
RES. CORRELACIONADA (MPa)	<b>32,0</b>	<b>34,0</b>	<b>49,0</b>	<b>49,0</b>	<b>47,0</b>	<b>45,0</b>
ERRO (MPa)	6,6	6,7	7,45	7,45	7,35	7,25

	PILAR 5		PILAR 6		PILAR 8		PILAR 9	
	FACE 1	FACE 3	FACE 1	FACE 3	FACE 1	FACE 3	FACE 1	FACE 3
IDADE (Dias)	> 28	> 28	> 28	> 28	> 28	> 28	> 28	> 28
MÉDIA	41,1	40,8	42,1	38,9	43,6	44,1	43,6	44,1
K	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
IE <sub>6</sub> =K.IE	41	41	42	39	44	44	44	44
RES. CORRELACIONADA (MPa)	<b>45,0</b>	<b>45,0</b>	<b>47,0</b>	<b>41,9</b>	<b>51,0</b>	<b>51,0</b>	<b>51,0</b>	<b>51,0</b>
ERRO (MPa)	7,25	7,25	7,35	7,09	7,52	7,52	7,52	7,52

\*F – Faces dos pilares – F1 e F3 – faces opostas.

\* I.E obtido a partir da curva de correlação para 0°.

Fonte: Próprio autor 2019

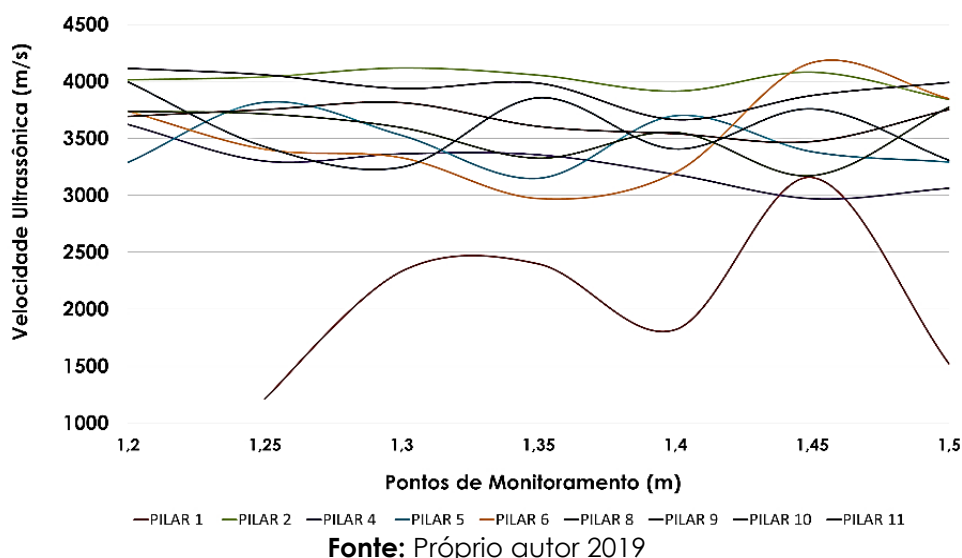
Do total de 224 pontos monitorados em diferentes faces dos pilares, apenas cinco pontos apresentaram divergências e condições de dispersão, e, não se enquadraram no intervalo observado de 30 a 50 para

o I.E. Os resultados da resistência correlacionadas foi obtida a partir do cruzamento do ábaco do fabricante, na angulação à 0°, com média dos valores de IE, multiplicado por um coeficiente de correlação (K). Como resultado, observou-se que os valores convertidos se encontram na faixa entre 32 a 51 MPa, o que permite inferir, em média, uma boa qualidade das estruturas avaliadas.

O erro ou desvio padrão apresentado na Tabela acima foi obtido a partir da média dos valores do IE, e indicaram uma divergência para mais ou para menos de 6,6 a 7,5 MPa.

O Gráfico 2 e a Tabela 2 apresentam os resultados de ultrassom entre diferentes pilares e pontos de monitoramento.

**Gráfico 2** – Resultados do ensaio de ultrassom em diferentes pontos de medição



**Tabela 2** – Resultados do ensaio de ultrassom – Medição direta

LOCAL ENSAIADO (F1 e F3)	PILAR 1	PILAR 2	PILAR 4	PILAR 5	PILAR 6	PILAR 8	PILAR 9
IDADE (Dias)	> 28	> 28	> 28	> 28	> 28	> 28	> 28
LARGURA DO PILAR (cm)	30,2	31,3	29,7	29,7	30,4	29,7	30,2
MÉDIA (m/s)	2073	4008,3	3265,3	3451,1	3174,4	3571,1	3660,6
Desv. Padrão	555,6	98,1	216,6	240,7	412,8	295,0	125,5

\*F – Faces dos pilares – F1 e F3 – faces opostas

Fonte: Próprio autor 2019

Nota-se no gráfico 2 o comportamento das curvas representativas das medições de ultrassom aos pilares selecionados. Percebe-se claramente que apenas o pilar 1 obteve resultados inferiores e com grande dispersão na captação das ondas. Os valores permeiam na ordem de 2.000 m/s ,

além do alto desvio padrão, o que pode inferir danos interfaciais e dificuldades na propagação das ondas, interferindo na captação entre os transdutores. Em contrapartida, os demais elementos estruturais apresentaram resultados mais consistentes e com menor desvio padrão (200 a 400 m/s) variando entre 3.000 e 4.000 m/s. Comparando-se as estruturas em termos percentuais, percebe-se que o pilar 1 obteve uma redução considerável entre 30 a 50%.

É importante ressaltar que como a NBR 8802/2019 sugere evitar pontos onde exista grande concentração de armadura, devido a velocidade de propagação ser maior no aço do que no concreto, os resultados podem ter sofrido alguma alteração. Essa correção não pôde ser calculada com precisão, pois seria necessário um ensaio de pacometria para determinação da presença e posição das barras de aço na estrutura.

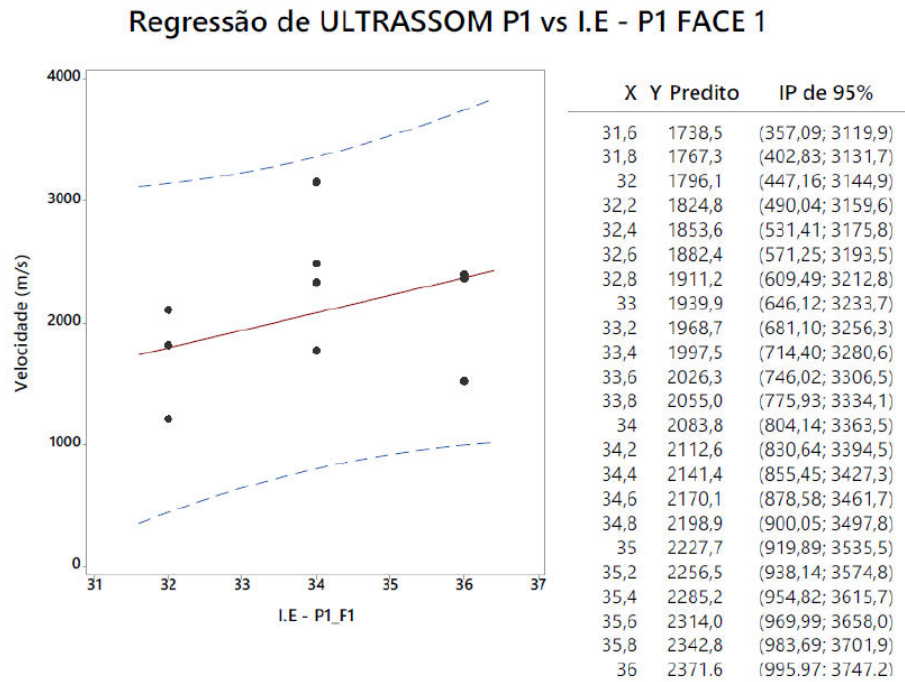
Com base em Adamatti apud Whitehurst (1966) e Rincon *et al* (1998), a qualidade da integridade das estruturas de concreto pode ser aferida pela velocidade de propagação das ondas, sendo  $V > 4500$  – Excelente;  $3.500 < V < 4.500$  - Ótimo;  $3.000 < V < 3.500$  - Bom;  $2.000 < V < 3.000$  - Regular;  $2.000 < V$  – Ruim.

Desta forma, o pilar 1 enquadra-se em um grau significativo de deterioração, indicando uma qualidade regular à ruim, enquanto os demais elementos analisados com qualidade bom à ótimo. Cabe ressaltar que a qualidade ruim não implica em uma resposta absoluta ou direta com a baixa resistência ou durabilidade comprometida dos elementos. A captação das ondas pode ser um grande aliado na interpretação da microestrutura e a interface dos concretos, mas devido a sua característica heterogênea, torna-se necessário análises complementares ou associação entre técnicas não destrutivas.

A partir disso, foi realizado uma análise estatística por meio do programa MINILAB aplicando-se o método de regressão linear entre as variáveis de velocidade (m/s) e I.E para o pilar 1 obtidos para as faces 1 e 3 (opostas).

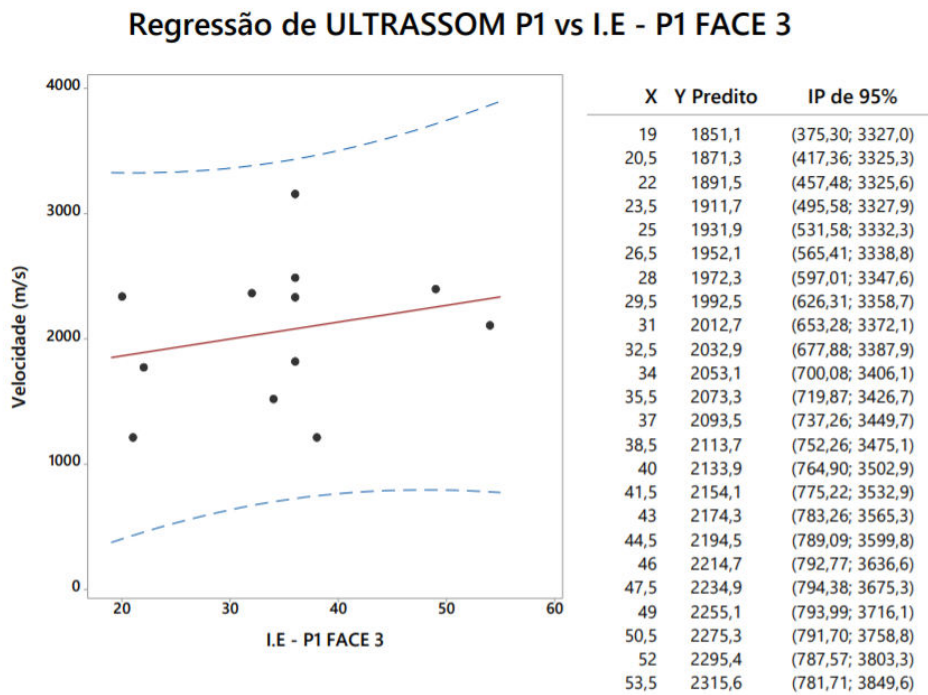


**Gráfico 3** – Correlação entre a velocidade de ultrassom (m/s) e I.E para o pilar 1 na face 1



Fonte: Próprio autor 2019

**Gráfico 4** – Correlação entre a velocidade de ultrassom (m/s) e I.E para o pilar 1 na face 3



Fonte: Próprio autor 2019

Os resultados estatísticos representam uma análise do intervalo de predição de 95% para o pilar na face 1 e 3. Percebe-se que os valores se encontram dentro do intervalo provável de velocidade de propagação

de ondas, entre 1700 a 2300 m/s quando associado ao Índice Esclerométrico. Nesse sentido, entende-se que existe um nível de confiabilidade significativo em que o intervalo monitorado apresenta um comportamento mais próximo e real da estrutura. Os valores encontrados justificam o baixo desempenho do pilar 1 com níveis de deterioração acentuada, apresentando armaduras expostas e fissuras aparentes. Comparando-se com outros pilares, o desempenho mecânico do pilar 1 reduziu cerca de 34% a resistência à compressão e até 50% na propagação de ondas sonoras sobre a interface. As demais estruturas (Pilares 2, 4, 5, 7, 8, e 9) apresentaram bons índices de classificação qualitativa da integridade estrutural, entre bom e ótimo.

Sabe-se que o efeito da carbonatação e migração por cloretos é uma variável contributiva em função da posição de uma das faces para o mar, e a outra para o fundo do estacionamento. Nesse sentido, o pavimento garagem é um ambiente que o ar é rico em gás carbônico, devido a combustão dos veículos presentes no local. Esse gás reage com o concreto ocasionando a carbonatação, que despassiva o aço reduzindo a durabilidade da estrutura. Segundo Freitas (2013), o resultado da corrosão das armaduras, intensificada pela carbonatação do concreto, provoca um aumento de volume de três a dez vezes superior na armadura e o aumento de tensões internas, resultando em microfissuras na direção paralela da armadura corroída.

A corrosão das armaduras acontece também devido ao ataque de cloretos na estrutura, porque a edificação localiza-se no bairro da Barra, região muito próxima do mar, que apresenta agressividade ambiental de classe três, considerada forte e ambiente marinho, com alto risco de deterioração da integridade estrutural do concreto armado. Meira (2017), afirma que as condições de umidade influem na quantidade de água presente nos poros do concreto e, conseqüentemente, no transporte de agentes agressivos e como também nas reações químicas relacionadas.

**Figura 3 – Corrosão do aço no Pilar 1**



Fonte: Próprio autor 2019

#### 4. CONCLUSÕES

Os ensaios não destrutivos são práticos e fornecem importantes dados a respeito da integridade estrutural. Através da correlação das informações obtidas em seus ensaios, é possível classificar o estado de conservação da sua edificação, por meio de indicadores de qualidade para se obter um maior controle e prevenção a ações patológicas futuras que possam comprometer ainda mais a edificação.

O presente trabalho apresentou os resultados obtidos durante a realização de um estudo de caso em um empreendimento residencial de 40 anos situado numa área classificada de agressividade forte e grande risco de deterioração da estrutura na cidade de Salvador, Bahia.

Portanto, conclui-se que ensaios não destrutivos de esclerometria e ultrassom podem, de forma complementar, permitir um melhor diagnóstico da integridade em níveis quali-quantitativos dos elementos estruturais. Adoção de modelos matemáticos envolvendo a correlação entre estas e outras variáveis associadas à durabilidade e resistência mecânica, em função de diferentes classes de agressividade, torna-se um importante indicador do diagnóstico preventivo e de manutenção das edificações. Ressalta-se ainda a importância do ambiente de exposição como condição indispensável para qualquer avaliação de estruturas, sobretudo no impacto da exposição aos cloretos e níveis de carbonatação, processos estes que aceleram a deterioração e depreciação do concreto.

#### REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 15575:2013. **DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS.**
- ABNT NBR 7584:2012. **CONCRETO ENDURECIDO – AVALIAÇÃO DA DUREZA SUPERFICIAL PELO ESCLERÔMETRO DE REFLEXÃO – MÉTODO DE ENSAIO.**
- ABNT NBR 8802/2019. **CONCRETO ENDURECIDO – DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA ULTRASSÔNICA.**
- ABNT NBR 6118:2014. **PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO – PROCEDIMENTO.**
- ADAMATTI, Deise Santos. **PROPAGAÇÃO DA VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO NA ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE PARÂMETROS TECNOLÓGICOS INTERVENIENTES.** Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Rio Grande do Sul, 2013.
- CORROSÃO E DEGRADAÇÃO DOS MATERIAIS.** Escola politécnica da universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.
- FERREIRA, Gercindo. **ESTUDO SOBRE FATORES INFLUENTES NOS RESULTADOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM CONCRETO ENDURECIDO.** 2011. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

MEIRA, Gibson Rocha. **CORROSÃO DE ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO.**  
João Pessoa, 2017.