

AValiação DAS ESTRUTURAS EXISTENTES NO SítIO DE AMPLIAÇÃO DE UMA UNIDADE FABRIL ATRAVÉS DA APLICAÇÃO COMBINADA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E SEMIDESTRUTIVOS¹

Rafael Burin Fávero

Mestrando em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

E-mail: <faveror_rafael@yahoo.com.br>.

Alexandre Lorenzi

Mestre em Engenharia Civil – 2000 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria.

Doutor em Engenharia Civil – 2009 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

Pós-doutor – 2012 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

Pós-doutorando – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

Pesquisador do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da UFRGS.

Membro Fundador da Associação Brasileira de Patologia das Construções.

Diretor Financeiro da Associação Brasileira de Patologia da Construção - Biênio 2014-2016.

E-mail: <alexandre.lorenzi@ufrgs.br>.

Lucas Alexandre Reginato

Mestre em Engenharia Civil – 2014 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

E-mail: <lukas0910@gmail.com>.

Josué Argenta Chies

Mestre em Engenharia Civil – 2014 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

E-mail: <josuchies@hotmail.com>.

Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Professor Associado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

Mestre em Engenharia Civil – 1994 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

PhD em Civil Engineering/Bridge Maintenance – 1998 – Leeds University/UK.

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – 2009-2012.

Líder dos Grupos de Pesquisa LEME (Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais)
e GRID (Gestão de Riscos em Desastres).

Presidente de Honra da Asociación Latinoamericana de Control de Calidad,
Patología y Recuperación (ALCONPAT Internacional).

Diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – 2012-2016.

E-mail: <lcarlos66@gmail.com>.

¹ O presente artigo foi publicado nos anais do 1º Congresso Brasileiro de Patologia em 2014 em Foz do Iguaçu, promovido pela ALCONPAT-BRASIL.

RESUMO

O concreto é um material amplamente utilizado para execução de elementos estruturais na construção civil. Em virtude disso, tem-se uma preocupação cada vez maior quanto ao conhecimento de seu estado de deterioração e segurança estrutural, o que estimula a busca por métodos que permitam avaliar estruturas acabadas e em uso de forma rápida, segura e confiável. Muitas das construções em concreto armado, que formam uma parcela vital da infraestrutura civil de diversos países, estão se aproximando do final de sua vida útil de projeto e a avaliação através de métodos de ensaios não destrutivos (END) e semidestruídos torna-se uma estratégia de investigação bastante atraente e viável. Experiências acumuladas pelo Grupo de Pesquisa LEME, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, indicam que a aplicação de END, combinada a ensaios semidestruídos, pode contribuir sobremaneira para a avaliação e o controle da deterioração e da qualidade de estruturas de concreto. O presente artigo apresenta um caso real do emprego de uma combinação destes ensaios na avaliação das estruturas de concreto armado que seriam utilizadas nas obras de ampliação de uma unidade fabril. Os resultados mostraram que os métodos utilizados foram eficazes para determinar a segurança estrutural dos elementos avaliados e liberá-los para o uso.

Palavras-chave: END. Estruturas de concreto. Avaliação de estruturas.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o CEB-FIP Model Code (1993), uma estrutura de concreto deve ser projetada, construída e operada de tal forma que, sob as condições ambientais esperadas, ela mantenha sua segurança, funcionalidade e aparência, durante um período de tempo, implícito ou explícito, sem a necessidade de elevados custos de manutenção e reparo.

A durabilidade das estruturas de concreto é uma questão fundamental na engenharia civil. As estruturas de concreto estão sujeitas a ataques agressivos que podem minimizar a sua durabilidade. Medições precisas, assim como a interpretação dos dados que afetam a durabilidade de estruturas são tarefas complexas, devido à inerente heterogeneidade do concreto, como salientam Chekroun et al. (2009).

Os ensaios não destrutivos (END) foram desenvolvidos de maneira a auxiliar na obtenção de informações acerca das propriedades efetivas dos materiais usados numa estrutura real. A obtenção de estimativas de resistência através de técnicas de END se constitui numa possibilidade alternativa de controle bastante interessante. Dessa forma, a avaliação através de END de materiais cimentícios é uma área fundamental da investigação de manifestações patológicas, visto que permite a obtenção de informações sobre a qualidade e o estado de degradação dos materiais de construção (MOLERO ARMENTA et al., 2009).

De acordo com Bungey e Millard (1996), muitos esforços e despesas podem ser desperdi-

çados em ensaios se não definir-se claramente, e desde a fase preliminar, quais serão os objetivos da investigação. Este fator irá afetar a escolha do método de ensaio, a extensão e a localização dos ensaios, bem como, qual será a forma com que os resultados obtidos serão manipulados e interpretados. Os mesmos autores ainda citam que a plena consciência de toda a gama de testes disponíveis, suas limitações de aplicação e os possíveis erros que podem advir de sua utilização são parâmetros muito importantes para se tomar uma decisão acerca de qual método utilizar.

Alguns métodos de END parecem ser de aplicação bastante simplificada, mas todos estão sujeitos a determinadas influências e a utilização de operadores qualificados é essencial para o correto andamento do ensaio. Uma característica importante dos END é a de que eles permitem a execução de ensaios repetidos no mesmo local, ou em locais muito próximos, de modo que podem ser acompanhadas variações com o decorrer do tempo (NEVILLE, 1997). Através da utilização sistemática destes ensaios é possível monitorar o estado do concreto durante toda a sua vida útil, gerando informações mais precisas e abrangentes do que aquelas obtidas em ensaios realizados apenas no momento da execução das mesmas.

No atual cenário em que as exigências de qualidade estão se firmando, é de vital importância o desenvolvimento de alternativas que permitam, de forma eficaz, avaliar a qualidade das estruturas de concreto. Danos mal avaliados ou corrigidos de forma deficiente podem acarretar na redução da vida de serviço de uma estrutura.

Breyse e outros (2009) lembram que a avaliação das condições do material de construção é um ponto fundamental quando se quer reavaliar as estruturas existentes, cujo material pode ter resultado em alguma perda de desempenho e alguma deterioração do nível de segurança. Deterioração progressiva do desempenho também induz custos de manutenção importantes, como para evitar a deterioração futura. Os efeitos do END podem ser classificados da seguinte forma:

- a. Para a detecção de um defeito ou uma variação de propriedades;
- b. Para proceder à classificação a respeito de uma determinada propriedade, entre as várias áreas em uma estrutura ou entre várias estruturas;
- c. Para quantificar essas propriedades, comparando-as aos limites permitidos.

Segundo Lorenzi (2009), acompanhando a tendência mundial, a aplicação de END vem crescendo em vários setores no Brasil. A engenharia civil ainda é um campo no qual a utilização dos END pode se desenvolver bastante, vindo a se constituir em uma importante ferramenta para auxiliar os profissionais envolvidos no controle de suas obras.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O presente artigo apresenta os resultados de um exame visual e de um conjunto de ensaios, incluindo métodos não destrutivos (de propagação do pulso ultrassônico, esclerometria, carbonatação e avaliação dimensional de armaduras) e semidestrutivos (extração de corpos de prova) realizados em quatro elementos distintos de concreto, de grandes dimensões, localizados na obra de ampliação de uma indústria, no estado do Rio Grande do Sul.

O objetivo principal consistiu em mapear a homogeneidade e a resistência do concreto dos elementos de interesse, coletando dados que permitissem avaliar comparativamente as características dos mesmos e estimar sua resistência mecânica, assim como coletar informações ligadas à durabilidade, pela medição da profundidade de carbonatação nos pontos de extração de corpos de prova.

As estruturas de concreto fazem parte de um conjunto de elementos estruturais que foram construídos por volta do ano de 2008, quando se planejava iniciar a ampliação da fábrica. Devido

à interrupção dos trabalhos logo após o início da ampliação, esses elementos, parcialmente executados, permaneceram expostos ao ambiente durante o período interveniente e, durante a retomada da ampliação da planta industrial já existente nas proximidades, havia interesse na utilização dos mesmos.

3 ENSAIOS

3.1 ENSAIO ULTRASSÔNICO

No ensaio de velocidade de propagação do pulso ultrassônico (VPU), uma onda de som ultrassônica é projetada no material, sendo medida a velocidade de propagação da mesma, que vai depender da natureza do material, da sua porosidade e da presença de vazios ou de água no sistema de poros, entre outros fatores.

De acordo com Lorenzi (2009), este ensaio pode ser considerado como um dos mais promissores para a avaliação de estruturas de concreto. Através da sua utilização consegue-se realizar um controle das variações da compacidade da estrutura, que pode ser associada a mudanças das suas propriedades.

Segundo a ASTM E 114-95 (1995), o ensaio pode ser utilizado para controle da qualidade, detecção de defeitos, medição de espessuras ou caracterização dos materiais constituintes do concreto. A presença de vazios causa o retardo das ondas, em função da baixa velocidade do som no ar. A interpretação está, portanto, baseada no fato de que o tempo de propagação dos pulsos ultrassônicos pode ser correlacionado com a densidade do material.

Uma das vantagens é que, por ser rápido e não destrutivo, o ensaio de VPU oferece a oportunidade de fazer um controle total dos elementos que compõem a estrutura e os resultados deste tipo de análise podem ser usados para prognóstico da qualidade ou para correção do processo tecnológico.

3.2 ESCLEROMETRIA

Esse é um dos mais antigos métodos END, e se baseia no princípio da reflexão, sendo o grau de recuo de uma massa arremessada por uma mola padrão contra a superfície de concreto tomada

como um indicativo da resistência da camada superficial de concreto. Por ser pontual e de baixa energia, o ensaio é sensível a variações localizadas, tais como a presença de uma partícula grande de agregado logo abaixo do ponto de impacto (IAEA, 2002).

O ensaio é classificado como um ensaio de dureza e está baseado no princípio de que o rebote de uma massa elástica depende da dureza da superfície contra qual a massa é impactada. Segundo a recomendação ACI 228 (ACI, 2007), a energia absorvida pelo concreto pode ser relacionada com a sua resistência, embora essa relação seja afetada por vários parâmetros, tal como a idade do concreto e sua espessura carbonatada.

As correlações entre o índice esclerométrico e as propriedades do concreto são determinadas empiricamente ou experimentalmente, sendo que estimativas da resistência à compressão poderão ser obtidas através de análise de tabelas ou curvas fornecidas pelo fabricante do aparelho.

3.3 AVALIAÇÃO DA CARBONATAÇÃO

A carbonatação do concreto é uma das condições essenciais para o início da corrosão das armaduras, sendo o principal fator de degradação em estruturas de concreto armado em zonas urbanas com atmosferas não marinhas.

Segundo Souza (1998), a carbonatação é um fenômeno que resulta diretamente da ação do dióxido de carbono (CO_2), presente na atmosfera, sobre o cimento hidratado, com a formação de carbonato de cálcio (CaCO_3) e a consequente redução do pH do concreto.

A reação de carbonatação se inicia nas camadas superficiais e avança progressivamente para o interior do concreto, formando a chamada “frente de carbonatação”, limite que separa o concreto com pH elevado da zona onde o pH cai para valores inferiores a 8,5. O filme protetor que recobre o aço, também conhecido como passivação, é considerado estável desde que o pH se mantenha em valores acima de 11,5, e em geral, existe alcalinidade suficiente na massa de concreto para manter o sistema com pH acima de 12 (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Entretanto, quando a frente carbonatada atinge a armadura, a redução do pH estimula a despassivação (perda da camada alcalina protetora) e estabelece as condições necessárias para início de um processo de corrosão. O tempo que essa

reação leva para atingir a armadura depende de vários fatores. Contudo, quanto melhor a qualidade do concreto (menos poroso), mais lenta é esta reação. A espessura de recobrimento é um importante fator para retardar a despassivação causada pela carbonatação. No caso das estruturas em questão, o projeto determinava um recobrimento mínimo das armaduras de 50 mm.

O ensaio de carbonatação é realizado para verificar a profundidade da “frente carbonatada” detectável por um marcador químico indicativo do pH (normalmente uma solução de fenolftaleína). Este ensaio fornece dados importantes para estimar a resposta, em termos de durabilidade, da estrutura à agressividade do meio em que se encontra inserida.

4 AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS

Nesta avaliação foram realizadas quatro verificações distintas, compostas pelos seguintes ensaios e/ou técnicas:

- ♦ ensaios de VPU, com o auxílio de um equipamento emissor de ondas portátil;
- ♦ ensaios de esclerometria, utilizando-se um esclerômetro tipo RN;
- ♦ extração de corpos de prova para verificação de: espessura de carbonatação e de resistência à compressão;
- ♦ inspeção visual dos elementos para verificar possíveis fissuras, juntas de concretagem, afloramentos, corrosão, entre outros.

4.1 ENSAIO DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO PULSO ULTRASSÔNICO

O ensaio de VPU foi realizado de acordo com as recomendações da NBR 8802 (ABNT, 2013). Em função da dificuldade de efetuar medições diretas (pelas grandes dimensões e espessuras dos blocos), todos os ensaios foram efetuados de forma indireta, posicionando os dois transdutores sobre a mesma superfície do elemento.

O ensaio consistiu na realização de inúmeras leituras de determinação da velocidade de propagação dos pulsos ultrassônicos gerados pelo equipamento entre dois pontos localizados num grid de medição criado sobre a superfície das estruturas. Para a realização das medições foram criados grids nas faces dos elementos. O grid preferencial utilizado em todas as leituras foi de 50 x 50 cm.

Na Figura 1 pode-se observar a execução das leituras do tempo de propagação da onda ultrassônica nas estruturas analisadas.



Figura 1: (a) e (b) execução das leituras de VPU.

Os resultados das velocidades de propagação de uma onda ultrassônica podem ser interpretados como indicadores de qualidade do concreto e alguns pesquisadores sugerem categorias para caracterizar a qualidade do concreto em função da velocidade de propagação das ondas ultras-

sônicas. Uma das escalas de categorização mais usadas foi produzida pela IAEA, em 2002, e está reproduzida na Tabela 1.

Tabela 1. Índices estimativos da qualidade do concreto em função da velocidade de propagação da onda ultrassônica.

Velocidade de propagação linear [m/s]	> 4500	3500 a 4500	3000 a 3500	2000 a 3000	< 2000
Qualidade do concreto	excelente	ótimo/bom	bom	regular	ruim

Fonte: International Atomic Energy Agency, 2002.

Tendo em vista que vários fatores podem afetar os valores obtidos em um ensaio de VPU de um determinado concreto, tais como a presença de umidade, essas tabelas genéricas devem ser usadas com cautela. Contudo, as mesmas servem como um referencial útil para analisar comparativamente resultados de ensaios de VPU.

As leituras de tempo obtidas durante os ensaios de VPU foram transformadas em leituras de velocidade através da divisão da distância entre os pontos de medição pelos valores de tempo.

As variações de velocidade foram mapeadas graficamente através da utilização de um software de geração de curvas de nível, facilitando a visualização das variações na homogeneidade, na compacidade e na integridade estrutural de cada elemento analisado.

As Figuras 2 a 5 representam, graficamente, as imagens obtidas após o processamento dos dados coletados para a estrutura P1.

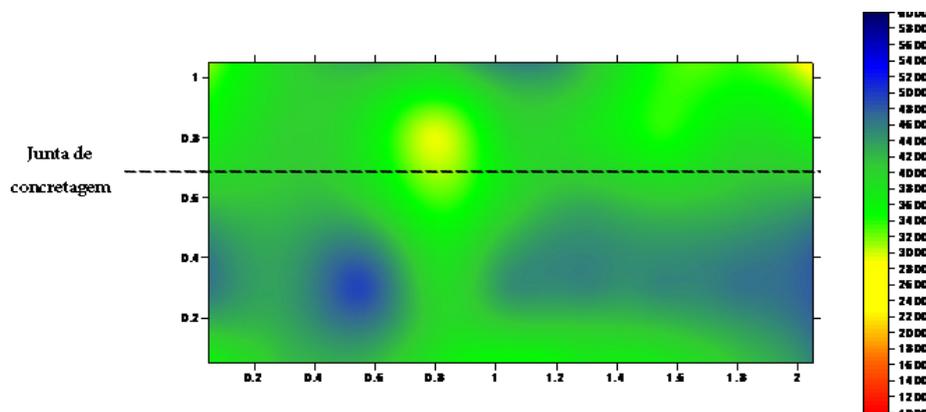


Figura 2: Representação gráfica das leituras de VPU – P1_Face A.

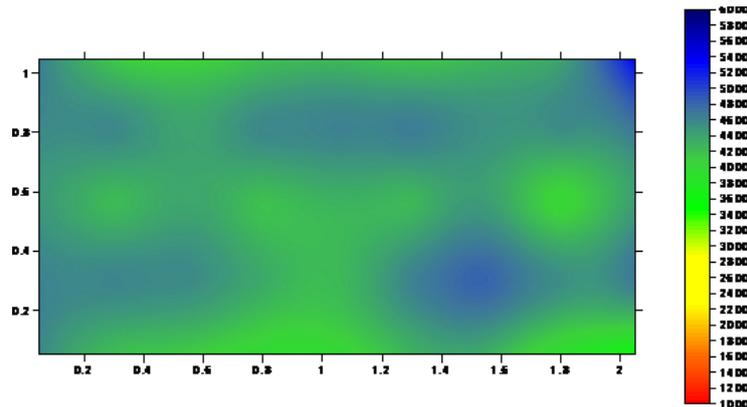


Figura 3: Representação gráfica das leituras de VPU – P1_Face B.

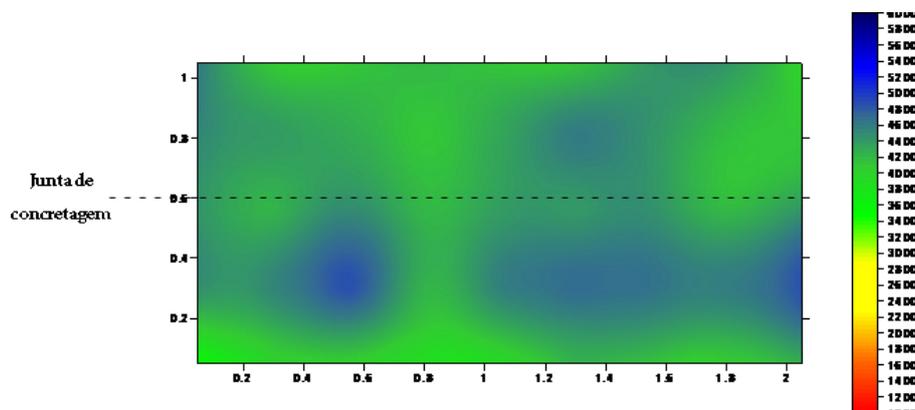


Figura 4: Representação gráfica das leituras de VPU – P1_Face C.

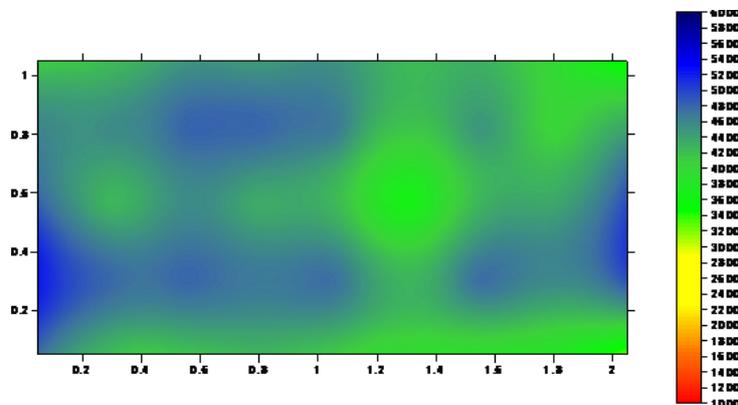


Figura 5: Representação gráfica das leituras de VPU – P1_Face D.

A partir dos ensaios de VPU pode-se concluir que as estruturas apresentaram homogeneidade condizente com concreto de boa qualidade, com pontos localizados de baixa velocidade que podem indicar problemas pontuais de concretagem na junta, mas que não se constituem em uma necessidade de intervenção.

As Figuras 6 a 8 representam, graficamente, as imagens obtidas após o processamento dos dados coletados para a estrutura P2.

A partir da análise dos dados de VPU da Face A (Figura 6), concluiu-se que a estrutura apresentava problemas de homogeneidade na zona acima

da junta de concretagem, com zonas pontuais de concreto mal adensado. Foi sugerida uma pequena intervenção no trecho para melhoria da condição da estrutura.

Na Face C (figura 8) foram detectadas regiões com baixa VPU próximas a uma fissura encontrada no exame visual, mas sem necessidade de intervenção. Em alguns pontos do bloco foram verificados descascamentos do concreto nos pontos onde haviam barras transpassadas no bloco para a fixação das fôrmas, o que gerou pequenos pontos com menor compacidade.

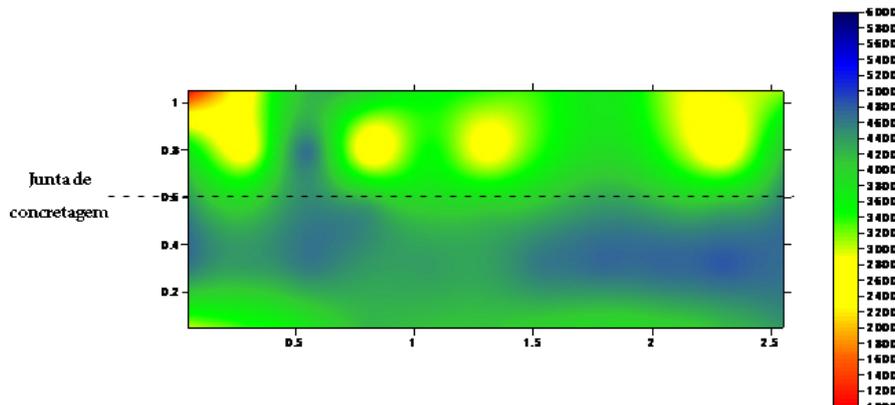


Figura 6: Representação gráfica das leituras de VPU – P2_Face A.

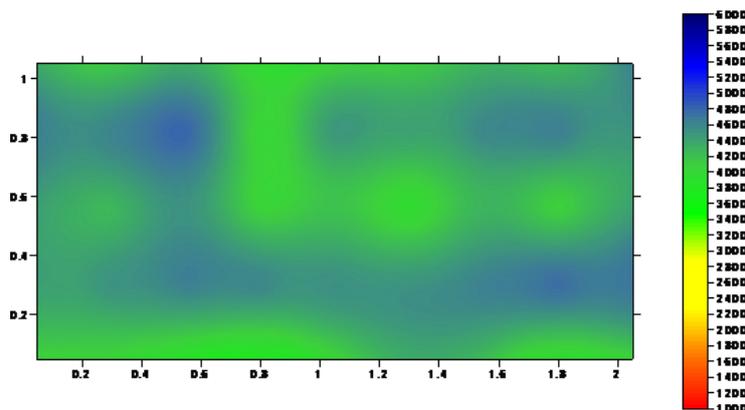


Figura 7: Representação gráfica das leituras de VPU – P2_Face B.

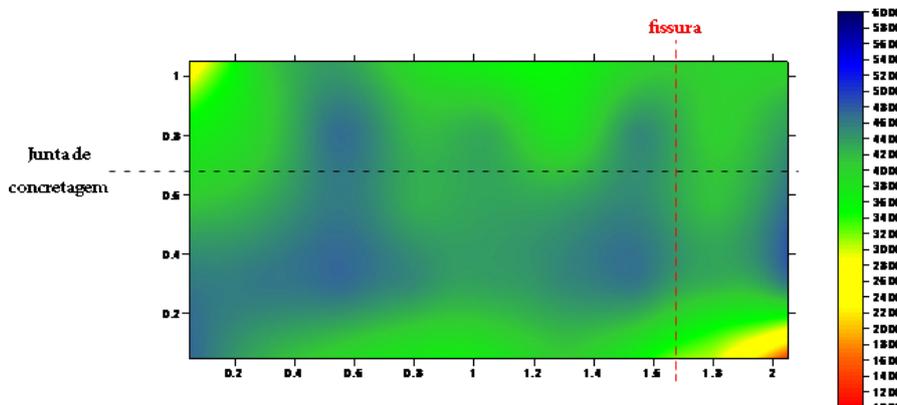


Figura 8: Representação gráfica das leituras de VPU – P2_Face C.

Verificou-se que a maioria das regiões analisadas apresentou leituras de VPU compatíveis com concretos de boa qualidade (verde a azul). As leituras dos blocos P1 e P2 apresentaram valores compatíveis com concreto de boa qualidade.

Algumas regiões apresentaram valores intermediários entre 2400 e 2700 m/s, em zonas próximas de juntas de concretagem e pequenas fissuras, indicando a presença de pequenos defeitos e falhas. Contudo, a análise visual complementar concluiu que estes pontos não justificavam intervenção por parte da construtora.

4.2 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Os ensaios de esclerometria foram realizados de acordo com as recomendações da NBR 7584 (ABNT, 2012), com auxílio de um esclerômetro modelo tipo RN.

Para realização do ensaio foram escolhidas algumas áreas em cada face dos blocos, em regiões onde ocorriam fissuras e onde era perceptível a presença de juntas de concretagem. Além disso, foram efetuadas medições nos pontos onde posteriormente foram realizadas as extrações dos corpos

de prova de concreto. Em cada ponto foi desenhado um pequeno grid para aplicação dos nove impactos recomendados pela norma, conforme pode ser observado na Figura 9. Os ensaios foram efetuados sempre pelo mesmo operador, utilizando o aparelho perpendicular à superfície de concreto.



Figura 9: Detalhe do grid utilizado e da execução do ensaio de esclerometria.

Os valores dos índices esclerométricos encontrados (duas leituras por região) corroboraram os dados obtidos pela análise de ultrassonografia, confirmando a boa compactidade e a homogeneidade do concreto em todas as zonas analisadas neste ensaio.

A Tabela 2 lista os índices esclerométricos efetivos calculados para os pontos avaliados. De acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012), o cálculo do IE efetivo leva em conta as correções de calibração do aparelho e a dispersão dos resultados para cada zona de leitura.

Tabela 2: Índices esclerométricos calculados para os pontos avaliados.

Identificação	IE _{efetivo}
P1-A	44
P1-B	43
P1-C_a	34
P1-C_b	39
P1-D	39
P2-A_a	46
P2-A_b	39
P2-B	46
P2-C_a	40
P2-C_b	42

Verifica-se, analisando a tabela, que os valores dos índices esclerométricos, em todas as regiões analisadas, classificam o concreto das estruturas como de qualidade adequada.

Os resultados foram processados de acordo com as recomendações da norma supracitada, para obtenção dos índices esclerométricos em cada ponto.

4.3 EXTRAÇÃO DE CORPOS DE PROVA

4.3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Em virtude das velocidades de propagação do pulso ultrassônico estarem sujeitas a alterações em função da presença de fissuras e de barras de armadura, foram extraídos corpos de prova em alguns pontos das estruturas.

Foram escolhidos pontos onde ocorria a presença de juntas de concretagem, lotes diferentes de concreto e próximo das zonas de leitura com o ultrassom, de forma a se obterem dados complementares para a avaliação. A figura 10 ilustra a extração dos corpos-de-prova sendo realizada.



Figura 10: Extração de corpos de prova.

Uma vez extraídos, os corpos de prova foram identificados e levados ao laboratório. Após serem serrados e regularizados (para uma relação $h/D = 2$), os corpos de prova extraídos foram submetidos ao ensaio de compressão uniaxial para verificação da resistência à compressão do concreto.

A Figura 11 (a) ilustra alguns dos corpos de prova extraídos e já preparados e a figura 11 (b) ilustra o ensaio de uma das amostras.



Figura 11: (a) corpos de prova extraídos (b) ensaio de compressão uniaxial efetuado em laboratório.

Na Tabela 3 são mostrados os resultados de resistência à compressão obtidos, e já corrigidos segundo a NBR 7680 (ABNT, 2007), para os referidos corpos de prova.

Tabela 3. Resultados de resistência à compressão dos pontos avaliados.

	Identificação	Estrutura	CP extraído (MPa)	$f_{c, \text{projeto}} - 30 \text{ MPa}$
Extração	P1-1 (face B)	BLOCO P1	65,5	+ 118%
	P1-2 (face B)	BLOCO P1	63,7	+ 112%
	P1-3 (face A)	BLOCO P1	48,9	+ 63%
	P1-4 (face A)	BLOCO P1	54,1	+ 80%
	P2-1 (face C)	BLOCO P2	69,2	+ 131%
	P2-2 (superior B)	BLOCO P2	55,7	+ 86%
	P2-3 (superior D)	BLOCO P2	50,6	+ 69%

Analisando os resultados obtidos pode-se afirmar que o concreto das estruturas atende a especificação, uma vez que as resistências à compressão registradas são superiores ao valor de projeto (30 MPa) em 100% dos pontos extraídos.

4.3.2 AVALIAÇÃO DA CARBONATAÇÃO

Aproveitando partes das regiões extraídas, foi realizado o ensaio de carbonatação em canteiro. Tomou-se o cuidado de analisar as amostras extraídas nas zonas que não foram lavadas pela água durante o processo de extração dos corpos de prova. Ademais, as amostras foram partidas, realizando-se o ensaio nas partes internas das mesmas.

A Figura 12 ilustra o ensaio de carbonatação (aspersão de solução indicadora de pH) em uma das amostras de concreto extraída de um dos blocos. A zona onde a cor fica rosada, após a aspersão da solução de 1% de fenolftaleína, é aquela que mantém o seu pH elevado, ao passo que a zona sem alteração de cor é considerada a zona carbonatada.

A espessura carbonatada (sem cor) das amostras extraídas possui, em média, cerca de 3,0 mm, o que permite concluir que o concreto utilizado apresenta boa qualidade, uma vez que, passados aproximadamente cinco anos desde a sua construção, as estruturas atingiram até o momento uma frente carbonatada de aproximadamente 1/20 do recobrimento de projeto. Se for considerado um crescimento linear da frente de carbonatação (projeção pessimista visto que o fenômeno tende a diminuir na medida em que a frente de carbonatação avança), a despassivação das armaduras em zonas não fissuradas pode levar mais de 100 anos para ocorrer.

5 CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios realizados indicam que os elementos estruturais analisados não apresentaram diferenças em termos de homogeneidade e compacidade. De acordo com os resultados dos índices esclerométricos e de resistência



Figura 12: Ensaio de carbonatação de uma das amostras de concreto extraídas.

à compressão dos corpos de prova extraídos, há indícios de que a resistência do concreto supera a resistência de projeto. A investigação a respeito da condição do concreto nas estruturas evidenciou claramente a potencialidade dos referidos ensaios para checar as condições das estruturas de concreto.

Apesar de algumas regiões apresentarem, de acordo com o ensaio de ultrassom, pequenas diferenças de compacidade em relação às outras, essas diferenças, não indicam que haja comprometimento das estruturas e não justificam uma maior intervenção nas mesmas. Já a análise dos resultados da esclerometria, mesmo que apenas indicativa, evidenciou a boa qualidade do concreto em todos os trechos analisados, sem indicar zonas com resistência inferior à de projeto. Os dados obtidos nos ensaios dos corpos de prova extraídos indicaram boa qualidade do material, com 100% dos resultados obtidos estando acima da resistência especificada em projeto, corroborando os dados obtidos na análise de ultrassom e nas leituras de esclerometria nos mesmos pontos.

A avaliação de determinação da espessura de carbonatação não evidenciou nenhum tipo de problema de deterioração avançada do concreto, tão pouco de fenômenos corrosivos acelerados. O nível de carbonatação encontrado nas estruturas avaliadas é condizente com concreto de ótima qualidade (baixa porosidade), o que tem garantido a proteção das armaduras.

A análise conjunta dos diferentes métodos utilizados forneceu informações suficientes sobre o concreto das estruturas analisadas, indicando a posição de falhas e de vazios. Os graus de compacidade encontrados, mesmo que indesejáveis sob o ponto de vista técnico, são aceitáveis e comuns na manufatura do concreto, principalmente em blocos de grandes volumes, como no caso. Por

essa razão, considerando-se os resultados obtidos nos ensaios realizados, pôde-se afirmar que o concreto de todos os elementos analisados apresentou características similares e as estruturas foram consideradas adequadas para a continuação das obras de ampliação.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI 228.1R-03: In-Place Methods to Estimate Concrete Strength*. In: MCP 2007 – ACI Manual of Concrete Practice, ACI Committee 228. Detroit: 2007, 44p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E 114-95: Standard Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight-Beam Examination by the Contact Method*. In: *Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.03: Nondestructive Testing*. West Conshohocken: 1995, 920 p., p. 12-15.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8802: Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica*. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. *NBR 7584: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. *NBR 7680: Concreto - Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto*. Rio de Janeiro, 2007.
- BREYSSE, D.; SOUTSOS, M.; FELICETTI, R.; KRAUSE, M.; LATASTE, J.; MOCZKO, A. How to improve the quality of concrete assessment by combining several NDT measurements. In: *Non-Destructive Testing In Civil Engineering (NDTCE 2009)*, 2009, Nantes. *Proceedings...* Paris: Confédération Française pour les Essais Non Destructifs, 2009.
- BUNGEY, J. H.; MILLARD, S. G. *Testing of Concrete in Structures*. 3. Edição. Glasgow: Chapman & Hall, 1996.

CHEKROUN, M.; LE MARREC, L.; ABRAHAM, O.; VILLAIN, O.; DURAND, O. Analysis of coherent surface wave dispersion and damping for non destructive testing of concrete. In: Non-Destructive Testing In Civil Engineering (NDTCE 2009), 2009, Nantes. *Proceedings...* Paris: Confédération Française pour les Essais Non Destructifs, 2009.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. *CEB-FIP Model Code 1990*. London: Thomas Telford, 1993.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *IAEA-TCS-17: Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures*. Viena: 2002, 231 p.

LORENZI, A. *Aplicação de redes neurais artificiais para estimativa da resistência à compressão do concreto a partir da velocidade de propagação do pulso ultrassônico*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: IBRACON, 2008.

MOLERO ARMENTA, M. A.; SEGURA, I.; HERNÁNDEZ, M.; GARCIA IZQUIERDO, M. A.; ANAYA, J. Ultrasonic characterization of cementitious materials using frequency-dependent velocity and attenuation. In: Non-Destructive Testing In Civil Engineering (NDTCE 2009), 2009, Nantes. *Proceedings...* Paris: Confédération Française pour les Essais Non Destructifs, 2009. 6 p.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do Concreto*. São Paulo: PINI, 1997. 828 p.

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

ABSTRACT

Concrete is a widely used material to build elements in construction. Because of this, it has become a growing concern about the knowledge of its state of deterioration and structural safety, which stimulates the search for methods to evaluate built and in use structures quickly, safely and reliably. Many of the structures, which form a vital part of civil infrastructure of many countries, are approaching the end of their design lives and the evaluation by nondestructive testing (NDT) and semi destructive methods becomes a quite attractive and viable strategy research. Experiences accumulated by LEME Research Group, of Federal University of Rio Grande do Sul – UFRGS/Brazil, indicate that the application of NDT, combined with semi destructive tests, may contribute significantly to the assessment and control of quality of concrete structures. This paper presents a real case of using a combination of these tests on the evaluation of reinforced concrete structures that would be used to expand an industrial plant. The results showed that the methods used were effective to determine the structural safety of the elements assessed and release them for use.

Keywords: NDT. Concrete structures. Structures evaluation.