



O POTENCIAL DA PESQUISA EXPERIMENTAL NO ENSINO DE ENGENHARIA CIVIL: RELATO DA EXPERIÊNCIA ENVOLVENDO PROTÓTIPOS REDUZIDOS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDOS A CARREGAMENTO CÍCLICO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.4998

Autores: THIAGO FERREIRA COSTA, JOSE MARIA FRANCO DE CARVALHO, GEYSIANE FARIA BARROS MILAGRES, MARCELO FREITAS SOUZA

Resumo: O presente trabalho discorre, com foco no desenvolvimento de competências profissionais no ambiente de ensino, sobre a metodologia utilizada em um trabalho de conclusão de curso sobre avaliação da deterioração de modelos reduzidos de vigas de concreto armado submetidas a cargas cíclicas por ensaios não destrutivos. A pesquisa consiste em utilizar o ensaio de velocidade de pulso ultrassônico e de acelerometria para identificar a progressão dos danos após duas etapas de 1000 ciclos de carregamento cada. Com isso, espera-se enfatizar que o investimento e o incentivo do debate e da pesquisa na área podem contribuir consideravelmente na formação de engenheiros civis e no avanço do uso de ensaios de informação não destrutivos nos principais desafios do país.

Palavras-chave: Concreto, Ensaio de informação não destrutivos, Metodologia, Pesquisa, Educação.

O POTENCIAL DA PESQUISA EXPERIMENTAL NO ENSINO DE ENGENHARIA CIVIL: RELATO DA EXPERIÊNCIA ENVOLVENDO PROTÓTIPOS REDUZIDOS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDOS A CARREGAMENTO CÍCLICO

1 INTRODUÇÃO

No início do século XX o concreto armado emergiu como um material de construção de grande importância no Brasil. Aliado ao crescimento das áreas urbanas e da infraestrutura do país, sua durabilidade, capacidade de ser moldado em várias formas e a ampla disponibilidade de mão de obra e materiais contribuíram para sua grande popularidade (CLÍMACO, 2016). Simultaneamente, uma série de estudos e normas técnicas foram desenvolvidos para compreender seu comportamento e estabelecer diretrizes para uso seguro e eficiente do material. Como resultado, muitos critérios de projeto e metodologias de dimensionamento foram revisados e aprimorados diversas vezes. Segundo o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), por exemplo, muitas obras da década de 60 foram projetadas, detalhadas e construídas sem a devida consideração à fadiga, que atualmente é considerada indispensável e de alto grau de importância.

Diante de um cenário com várias obras mal conservadas, sem projeto ou projetadas com métodos ultrapassados e restritos, torna-se evidente a necessidade de avaliar o grau de deterioração e a capacidade de carga desses ativos. Assim, os métodos de ensaios não destrutivos têm ganhado destaque no estudo de estruturas de concreto armado envelhecidas, sobretudo devido à facilidade de aplicação (LIMA, 2017). Apesar disso, e por demandar altos investimentos em equipamentos específicos e manutenção, estes métodos dificilmente estão disponíveis ou são abordados de maneira experimental no ensino de graduação em Engenharia Civil.

Com base nisso, o presente trabalho discorre, com foco no desenvolvimento de competências profissionais no ambiente de ensino, sobre a metodologia utilizada em um Trabalho de Conclusão de Curso sobre avaliação da deterioração de protótipos reduzidos de vigas de concreto armado submetidas a cargas cíclicas por ensaios não destrutivos. A pesquisa consiste em utilizar o ensaio de velocidade de pulso ultrassônico e de acelerometria para avaliar a progressão dos danos após duas etapas de 1000 ciclos de carregamento cada. O programa, no entanto, envolveu desde o projeto dos protótipos à sua fabricação e teste, passando por várias disciplinas de formação. Com isso, espera-se incentivar o debate a importância da pesquisa no ensino de graduação em áreas que podem contribuir consideravelmente na formação de engenheiros civis aptos a oferecer solução aos principais problemas atuais da construção civil no país.

2 METODOLOGIA

Os modelos experimentais desenvolvidos na realização do trabalho foram vigas de concreto armado em escala reduzida, dimensionadas no domínio 3 de deformação, com intuito de representar a situação de projeto usualmente empregada. Para o desenvolvimento do programa experimental, foram produzidas 4 vigas, nomeadas por "V1",

“V2”, “V3” e “V4”. Abaixo, são indicadas as condições de carregamento às quais cada viga foi sujeita:

- Condição I (V1): carregamento estático, a fim de determinar a carga última (F_u) das vigas;
- Condição II (V2): carregamento cíclico variando entre $0,1 F_u$ e $0,25 F_u$;
- Condição III (V3): carregamento cíclico variando entre $0,1 F_u$ e $0,50 F_u$;
- Condição IV (V4): carregamento cíclico variando entre $0,1 F_u$ e $0,75 F_u$.

Os modelos foram produzidos com dimensões de 8 cm x 12 cm x 110 cm, utilizando cimento CP V-ARI, armadura longitudinal de tração composta por duas barras de aço CA-50 de 8,0 mm, armadura longitudinal porta estribo composta de dois fios de aço CA-60 de 4,2 mm e estribos também compostos por aço CA-60 e armaduras de 4,2 mm. É importante destacar que, devido às dimensões reduzidas, o cobrimento mínimo exigido por norma foi desconsiderado, sendo adotado um cobrimento de 10 mm. Por esse motivo, a dimensão máxima de agregado utilizado foi 9,5 mm. As vigas foram ensaiadas com 18 dias de idade.

Além das vigas, foram moldados 20 corpos de prova com 5 cm x 10 cm. Os corpos de prova foram ensaiados em conjuntos de 3. As idades de ensaio foram 3, 7, 14, 17 e 18 dias. Por fim, tanto as vigas quanto os corpos de prova foram mantidos em cura com tecido de algodão umedecido a cada três dias, a fim de retardar a perda de umidade do sistema, e cobertos por lona plástica.

2.1 Dimensionamento dos protótipos reduzidos

Para a verificação das armaduras longitudinais, partiu-se do uso de duas barras de ϕ 8,0 mm e verificou-se se a mesma atendia à condição das vigas estarem no domínio 3. A verificação foi feita com base na relação entre linha neutra e altura útil, que deve estar entre 0,259 e 0,628, conforme a ABNT NBR 6118:2023. A norma limita, ainda, que a relação não seja maior que 0,450 para garantir a ductibilidade das vigas. Vale ressaltar que não foram minoradas as resistências dos materiais e o fator de correção de 0,85 sobre a resistência do concreto foi desprezado por conta de os carregamentos não serem considerados de longa duração e por se tratar de um ensaio laboratorial em idade determinada, não sendo relevante qualquer ganho de resistência após os ensaios e não havendo distinção entre corpos de prova e estrutura real. Assim, a relação foi determinada com base na Equação 1.

$$x/d = \frac{R_{st}}{0,95 b_w 0,8 d f_{ck}} \quad (1)$$

Em que:

x/d é a relação entre a linha neutra e a altura útil da viga, adimensional;

R_{st} é a força resultante de tração resistida pelas armaduras no Estado Limite Último, em kN.

Já a verificação das armaduras transversais foi feita com base no Item 17.4.2 da ABNT NBR 6118:2023. As mesmas considerações em relação às ponderações na resistência dos materiais se aplicam nesta seção. A força cortante considerada foi obtida a partir do momento resistente da viga, pela Equação 2.

$$V = \frac{2 M_{rd}}{L} \quad (2)$$

em que:

V é o esforço cortante último, considerando uma força aplicada no centro do vão, em kN;

M_{rd} é o momento resistente de cálculo, em kNm, expresso pela Equação 3;

L é o comprimento do vão, em m.

$$M_{rd} = 0,95 b_w 0,8 x f_{ck} (d - 0,4 x) \quad (3)$$

em que:

b_w é a largura da viga, em m;

x é altura da linha neutra, em m;

d é a altura útil da viga, em m;

f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão, em kPa.

2.2 Dosagem do concreto e execução dos protótipos

O estudo da dosagem do concreto foi dividido em três partes: definição da proporção dos materiais, obtenção da relação água cimento e correção do traço. Para determinar o traço do concreto, foi utilizado o modelo matemático teórico de empacotamento de partículas de Andreassen (ou de Alfred), modificado por Funk e Dinger, que consiste em estabelecer uma curva-alvo de proporção entre as partículas que compõem o concreto, expressa pela Equação 4. O método é baseado nos modelos de Andreassen e de Furnas e busca garantir que as partículas de agregado sejam envolvidas pelas de cimento, e que a retenção de água nos vazios seja reduzida, diminuindo, conseqüentemente, a porosidade do concreto. A escolha do método baseou-se na necessidade de obter uma boa consistência e fluidez da massa, diminuindo ao máximo a necessidade de adensamento, já que o modelo reduzido dificulta o uso de vibradores.

$$CPFT(\%) = 100 \times \left(\frac{d^q - d_m^q}{D^q - d_m^q} \right) \quad (4)$$

em que:

$CPFT$ (*Cumulative Percent Finer Than*) é a porcentagem volumétrica acumulada de partículas com diâmetro inferior a d , em %;

d é o diâmetro da partícula, em mm;

d_m é o diâmetro da menor partícula, em mm;

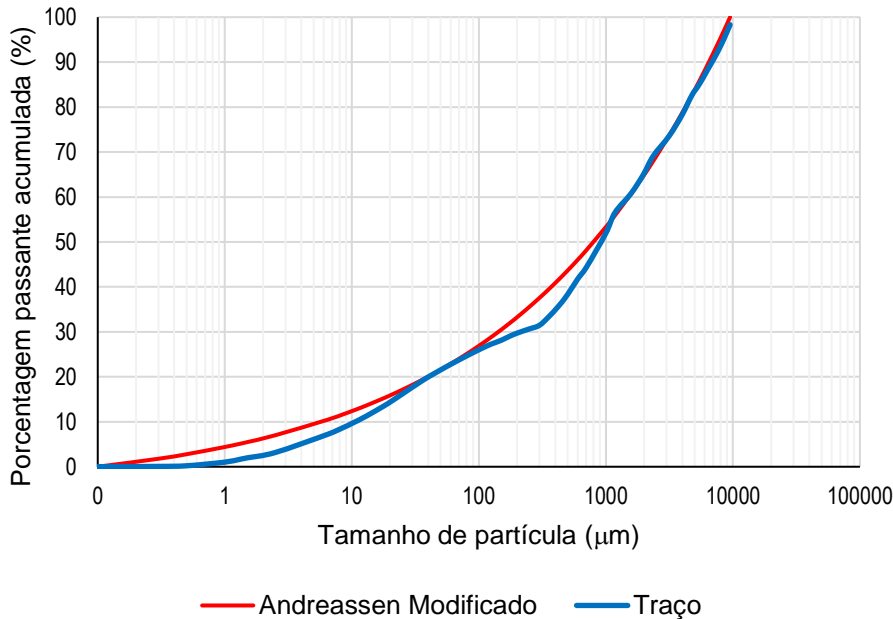
D é o diâmetro da maior partícula, em mm;

q é o coeficiente de distribuição, adimensional.

O coeficiente de distribuição varia conforme as características desejadas ao concreto, sendo a máxima densidade de empacotamento alcançada com valores menores ou iguais a 0,37. Além disso, a redução do parâmetro tem o efeito de aumentar a quantidade de finos, o que influencia na interação entre as partículas e a consistência da massa. Desse modo, para concretos adensados por vibração, são indicados valores próximos a 0,30 e, para concretos autoadensáveis, valores inferiores a 0,25 (Viana, 2019). Com isso, adotou-se o valor de 0,26 de forma a diminuir a necessidade de adensamento por vibração, dadas as dificuldades devidas ao tamanho reduzido das vigas e alta da densidade de armaduras.

Com posse das curvas granulométricas de todos os materiais empregados na mistura, ajustou-se a proporção de cada um até que se obtivesse a melhor aproximação entre a curva calculada e a curva da mistura real, obtida da soma das curvas individuais multiplicadas por suas respectivas proporções. Na Figura 1, é mostrada uma comparação entre as curvas citadas.

Figura 1 - Comparação entre curva de Andreassen Modificado com $q = 0,26$ e curva da mistura.



Fonte: Autor.

A relação água/cimento, um dos principais fatores que influenciam na resistência mecânica do concreto, foi determinada a partir da Lei de Abrams, representada pela Equação 5, que relaciona a resistência à compressão do concreto em uma determinada idade com a relação água cimento.

$$a/c = \frac{\ln k_1 - \ln f_{cj}}{\ln k_2} \quad (5)$$

em que:

a/c é a relação água/cimento;

k_1 e k_2 são constantes determinadas experimentalmente que dependem da resistência à compressão do cimento Portland;

f_{cj} é a resistência média do concreto à compressão a j dias de idade, em MPa.

Para melhorar a fluidez e a trabalhabilidade da massa de concreto, fez-se o uso de aditivo superplastificante. A dosagem empregada foi de 1% sobre o peso de cimento, diluído em água de amassamento. Além disso, para evitar um aumento no consumo de água devido à umidade dos agregados miúdos, fez-se a determinação do teor de umidade no dia da concretagem, sendo o traço apresentado na Tabela 1 já corrigido quanto à quantidade total de água na mistura.

Tabela 1 - Traço final do concreto.

Material	Traço em massa
Cimento	1,000
Areia Artificial	1,873
Areia Natural	0,986
Brita 0	1,566
Água	0,390
Aditivo	0,010

Fonte: Autor.

Por fim, as vigas foram moldadas em fôrmas de madeira compensada, enquanto os corpos de prova em fôrmas metálicas cilíndricas. Foi utilizado material desmoldante em ambos para facilitar o processo de desforma. O procedimento de moldagem, adensamento e cura foram executados conforme a norma ABNT NBR 5738:2015.

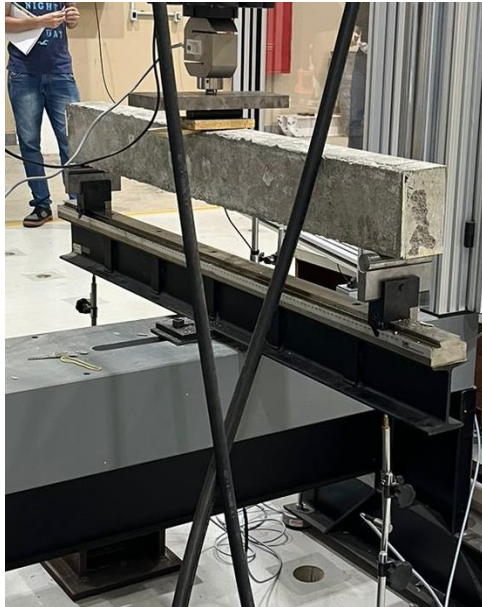
2.3 Ensaios destrutivos

Após a retificação dos corpos de prova, os ensaios de compressão foram realizados nas idades de 3, 7, 14, 17 e 18 dias, sendo 3 o número mínimo de resultados consistentes obtidos em cada dia. O rompimento à compressão foi feito na máquina universal de ensaios do Laboratório de Materiais de Construção (LMC) do Departamento de Engenharia Civil da UFV, após terem suas dimensões lidas com auxílio de um paquímetro. Todas as demais informações sobre os ensaios foram baseadas na ABNT NBR 5739:2018. O ensaio de compressão foi empregado com o intuito de monitoramento do ganho de resistência e da cura do concreto e de validação estatística da força última, obtida no ensaio monotônico de flexão.

O ensaio monotônico de flexão foi executado na viga V1 conforme a ABNT NBR 7680-2:2015 na máquina de ensaios iM750SRV – Intermetric, mesmo equipamento empregado nos ensaios de carregamento cíclico. Durante o ensaio, foram aferidas as dimensões da viga em suas extremidades e nas posições centrais. Para medição dos deslocamentos, foram instalados sensores nos apoios e no centro do vão. A viga foi apoiada sobre dispositivos anexados em uma viga de aço, conforme a Figura 2. Os dados de força e deslocamento foram obtidos por meio dos softwares TESC e Catman, respectivamente. A força exercida pelo equipamento foi transmitida para a viga através de um cilindro de aço apoiado sobre uma placa de MDP.

Por fim, o ensaio cíclico de flexão foi executado de forma análoga ao ensaio monotônico, porém, neste caso, todos os dados de força e deslocamento foram obtidos apenas pelo software TESC. Conforme já citado, as vigas V2, V3 e V4 foram submetidas, cada uma, a duas etapas de 1000 ciclos com carregamentos variando entre, respectivamente, 0,10Fu e 0,25Fu. 0,10Fu e 0,50Fu e 0,10Fu e 0,75Fu, e com uma taxa de incremento de força de 9000 N/s. Entre as etapas, foram executados os ensaios de informação.

Figura 2 – Montagem da viga para ensaio monotônico de flexão.

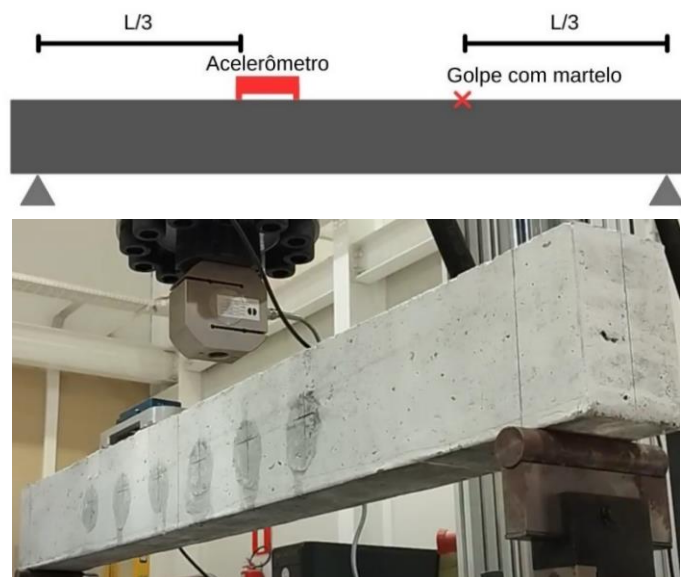


Fonte: Autor.

2.4 Ensaios não destrutivos

O ensaio de acelerometria foi realizado em três momentos: antes de a viga ser ensaiada, após completarem mil ciclos e após completarem dois mil ciclos. O acelerômetro SensR foi instalado a um terço do vão a partir do apoio com auxílio de fita crepe e de supercola, conforme a Figura 3. Com um martelo, a viga foi golpeada na vertical também em de cerca de um terço do vão, ainda na posição que foi ensaiada. O impacto produziu uma vibração, a qual foi captada pelo sensor com o auxílio do programa computacional SensView, que permite destacar e visualizar em gráfico as vibrações principais nas direções x, y e z. Para cada momento da realização do ensaio, foram realizadas três medições.

Figura 3 – Montagem do ensaio de acelerometria nas vigas, sendo L o comprimento do vão.

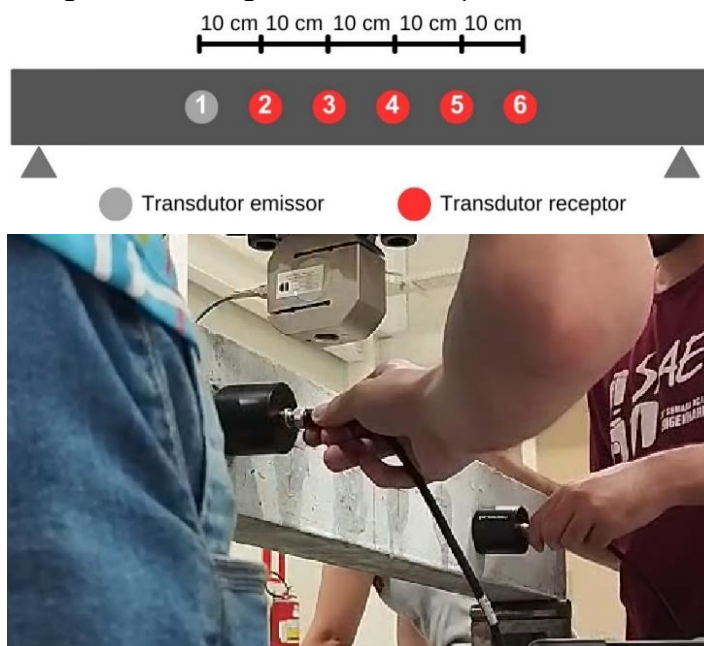


Fonte: Autores.

Com relação ao funcionamento do software SensView, esse tem o intuito de conectar o dispositivo SensR ao computador, de forma a monitorar e gravar os dados durante a realização do ensaio, sendo um gravador de curta duração, exibindo os resultados em termos de aceleração e também a visualização das frequências na forma de histogramas, através da Transformada Rápida de Fourier. Para cada momento da realização do ensaio, foram realizadas três medições e após a finalização, os dados eram gravados.

O ensaio de velocidade de pulso ultrassônico também foi realizado nos três momentos citados. A velocidade foi medida com seis pontos espaçados em 10 cm, de forma centralizada à viga. Foram realizadas marcações nas vigas a fim de identificar a posição de metade da altura, bem como as posições na horizontal onde seriam realizadas as medições. Na Figura 4, é apresentada a medição entre os pontos mais distantes. A determinação da velocidade ocorreu de modo indireto. Com o auxílio de gel, foram posicionados o transdutor emissor e o transdutor receptor. O pulso foi transmitido pelo transdutor emissor, o qual permaneceu fixo, e recebido pelo transdutor receptor, cuja posição variou nas marcações feitas. Com a distância entre os transdutores e o tempo necessário para o pulso mais rápido percorrer dois pontos, a velocidade da onda foi medida com um equipamento PROCEQ PUNDIT LAB.

Figura 4 – Montagem do ensaio de pulso ultrassônico.



Fonte: Autores.

3 RESULTADOS

A seguir, são apresentadas as considerações sobre parte do aprendizado obtido com as etapas mencionadas e as percepções sobre a importância dos assuntos abordados.

3.1 Dimensionamento dos protótipos reduzidos

O dimensionamento de elementos estruturais para experimentação possibilita ampliar a visão sobre a verificação do concreto à ruptura, sendo necessário estudar a fundo o comportamento do material. Os procedimentos e recomendações das normas visam modelar aspectos do concreto a fim de garantir a segurança das edificações. Em ensaios

laboratoriais, entretanto, faz-se necessária uma visão mais aprofundada de cada parâmetro e característica dos métodos.

O fator de correção de 0,85 aplicado sobre a resistência do concreto, por exemplo, geralmente é relacionado com o efeito Rusch, que descreve a perda de resistência para cargas de longa duração, por volta de 25%, geralmente sendo desprezado em ensaios laboratoriais. Entretanto, para além disso, o fator também está relacionado com a diferença entre a cura de corpos de prova e elementos reais, aproximadamente 5%, e com o ganho de resistência após a idade de cálculo do concreto, cerca de 20%. Desse modo, para garantir bons resultados, faz-se necessário entender e aplicar corretamente todas as condições de contorno do experimento. Esse processo é importante para garantir que os engenheiros civis sejam profissionais ainda mais críticos e com capacidade de analisar as situações de forma eficiente e realista.

Outro aspecto interessante é que o objetivo da verificação deixa de ser a necessidade de armadura dos elementos e passa a ser o seu comportamento. Para a pesquisa abordada, por exemplo, a resistência final dos elementos é sobreposta pela necessidade de estarem no domínio 3 de deformação durante sua ruptura, que deve ser por flexão. Além disso, a densidade de armadura também precisa ser controlada, uma vez que a montagem, concretagem e adensamento passam a ser preocupações ainda maiores em modelos reduzidos. Portanto, caso esse comportamento não seja projetado corretamente, o estudo pode ser prejudicado e até deixar de ser representativo. Dessa forma, com a implementação de atividades que abordem diferentes visões da verificação de elementos estruturais, expande-se a possibilidade de aplicação dos conhecimentos do estudante de forma criativa e eficiente nos com problemas obtidos em campo.

3.2 Dosagem do concreto e execução dos protótipos

Apesar de os cursos de engenharia civil apresentarem diversos métodos de dosagem, devido à grande variedade existente e a complexidade envolvida, apenas alguns são debatidos e desenvolvidos de fato. A necessidade de métodos mais sofisticados tem se tornado cada vez maior, sobretudo em alternativas sustentáveis. Desse modo, a pesquisa experimental pode contribuir consideravelmente no conhecimento dos estudantes, apresentando e empregando métodos de dosagem deixados em segundo plano na graduação, sobretudo se incentivados por orientadores e envolvidos. No estudo relatado, devido ao uso de modelos reduzidos, fez-se necessário garantir uma maior fluidez e trabalhabilidade do concreto. Com isso, optou-se por desenvolver a dosagem por meio dos conceitos de empacotamento de partículas, que, além atender às necessidades e introduzir um tema de grande relevância, aliado a montagem das fôrmas, execução da concretagem, controle da cura, dentre outras vantagens, possibilita desenvolver diversos conhecimentos e competências práticas sobre as tecnologias do concreto.

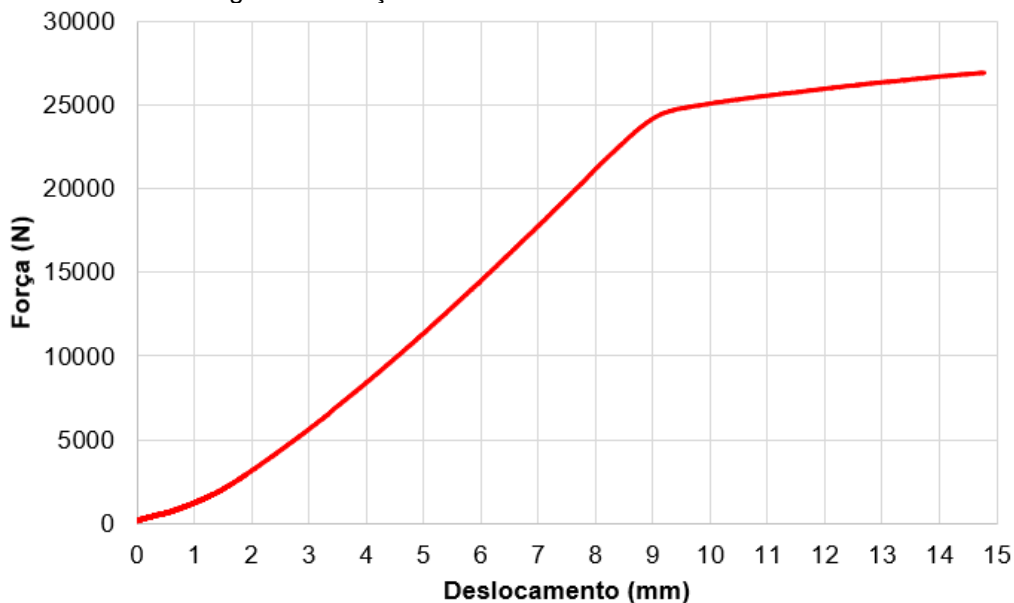
3.3 Ensaios destrutivos

Por meio do ensaio de compressão, foi possível acompanhar o ganho de resistência do concreto e confrontar os dados com a metodologia de estimativa fornecida pela ABNT NBR 6118:2023. Em programas experimentais relativamente robustos, é importante garantir que incertezas sejam minimizadas ao máximo para que esses possam ser executados a tempo e finalizados adequadamente. No trabalho abordado, como as vigas deviam ser projetadas no domínio 3 de deformações, grandes variações na resistência do concreto poderiam invalidar tal exigência e o experimento. Com base nisso, a partir dos resultados do ensaio e do controle adequado da cura do concreto, garantiu-se o andamento

da pesquisa e pôde-se, ainda, observar na prática a importância de garantir a completa e correta hidratação do concreto.

O ensaio monotônico de flexão também é uma ótima oportunidade de observar na prática alguns comportamentos do concreto. Os estádios de deformação, por exemplo, podem ser facilmente identificados por um gráfico que relacione a carga aplicada com a flecha medida, conforme exemplificado na Figura 5. Ou seja, enquanto no estágio I o concreto resiste aos esforços de compressão e tração, no estágio II, com o surgimento das fissuras, a armadura passa a absorver os esforços de tração. Isso representa, portanto, uma mudança na deformabilidade da peça, o que pode ser notado no gráfico, visto que antes o comportamento que dependia apenas do concreto passa a depender da composição entre os dois materiais. De forma análoga, no estágio III, as fissuras aumentam e ocorre a plastificação do concreto, alterando novamente o comportamento do gráfico.

Figura 5 – Força x deslocamento máximo na flexão.



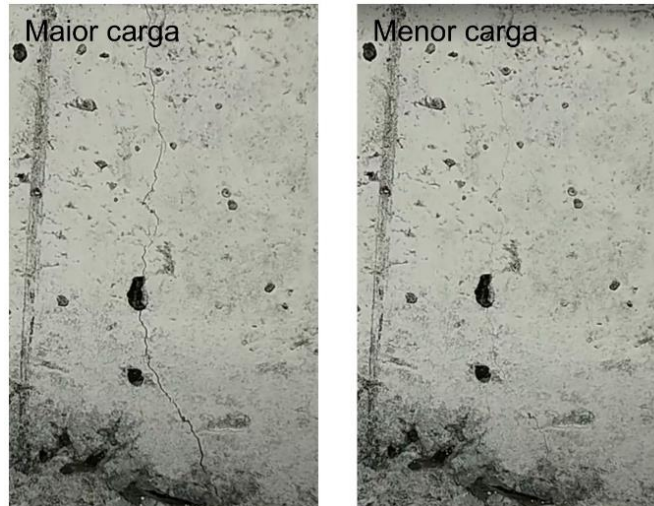
Fonte: Autor.

O ensaio cíclico de flexão reflete a dinâmica real dos carregamentos e permite analisar comportamentos não observados no ensaio monotônico. Apesar de o número de ciclos de carregamento da pesquisa abordada não ser suficiente para introduzir os efeitos da fadiga, notou-se um aumento da flecha conforme a contagem de ciclos aumentava. Mesmo para cargas estáticas, o concreto apresenta uma diferença entre a flecha inicial e a final após um tempo maior de aplicação, mas outro fator que também pode estar relacionado a esse comportamento é a progressão dos danos em pequena escala que alteram a rigidez do elemento tornando-o mais deformável.

Outro aspecto do ensaio cíclico é o estudo das fissuras. Dependendo do estágio de deformação em que a viga é submetida, é possível visualizar as fissuras abrindo e fechando constantemente, como mostrado na Figura 6, demonstrando na prática o comportamento no estado limite de serviço de vigas e simulando o que acontece em estruturas reais, sobretudo de pontes rodoviárias. Desse modo, além de ampliar o debate para diferentes aspectos do comportamento do concreto, esse tipo de ensaio ajuda na formação de um senso analítico nos estudantes sobre os estados limites. Além de desenvolver o

conhecimento, isso pode trazer mais confiança aos profissionais, sobretudo recém-formados, em fazer projetos de grande porte e complexos.

Figura 6 – Variação da abertura da fissura após reduzir a carga aplicada.



Fonte: Autor.

3.4 Ensaios não destrutivos

Os ensaios não destrutivos permitem analisar aspectos do concreto armado de forma não invasiva, sem a necessidade de extração e danificação de amostras ou até da própria estrutura. Diversas características, geralmente deixadas em segundo plano nos cursos de engenharia civil, se relacionam com a rigidez e a resistência dos elementos, bem como outras propriedades. No estudo discutido, por exemplo, o ensaio de velocidade de pulso ultrassônico, é utilizado para relacionar a velocidade da onda no material com o seu módulo de elasticidade dinâmico, que por sua vez se relaciona com a resistência à compressão e com o módulo de elasticidade inicial.

Já a acelerometria é aplicada relacionando a frequência natural e os modos de vibração da estrutura com diversas propriedades do concreto armado, sendo a rigidez uma delas. Desse modo, estudar ensaios de informação não destrutivos não se limita a entender as metodologias e conceitos, como também ajuda a construir uma perspectiva multidisciplinar dos desafios da engenharia civil, possibilitando soluções inovadoras e criativas. Vale ressaltar que, além do uso para análise da progressão de danos, os mesmos conceitos já são amplamente empregados com outros propósitos e possibilitam executar tarefas complexas de forma prática e com menores custos, sendo indispensável ao desenvolvimento do setor da construção civil.

Vale destacar que, sem os equipamentos PROCEQ PUNDIT LAB e SensR, ambos os ensaios não seriam possíveis de executar, visto que parte dos resultados da pesquisa envolviam a investigação do uso de métodos não destrutivos para investigação das propriedades do elemento estrutural estudado, metodologias essas que dependem do uso de equipamentos específicos para serem executadas, tanto para o ultrassom, quanto para a acelerometria. É evidente o potencial desses experimentos em expandir os conhecimentos dos alunos e de gerar resultados relevantes às demandas atuais da construção civil. Destaca-se, portanto, a necessidade de tornar equipamentos como esses acessíveis a projetos experimentais, sobretudo os de graduação.

4 CONCLUSÕES

Com base no que foi discutido, fica claro que a pesquisa experimental é essencial para a construção do conhecimento prático e da visão crítica de engenheiros civis. Ela permite aplicar os conceitos teóricos aprendidos em sala de aula em situações práticas do mundo real, proporcionando uma compreensão mais profunda e tangível desses conceitos. Assim, estudantes que recebem a oportunidade de trabalhar experimentalmente durante o curso têm grande potencial para encontrarem soluções inovadoras para os principais desafios da construção civil e se tornarem profissionais mais completos. Apesar disso, a prática nem sempre é incentivada e os recursos são limitados, sendo necessário mais investimentos e uma perspectiva que não limite a execução de pesquisas à pós-graduação. Por fim, vale ressaltar que os ensaios de informação não destrutivos não podem ser deixados em segundo plano nos cursos de engenharia civil, sendo relevante a introdução de metodologias e equipamentos que dão maior robustez à pesquisa, visto que são métodos não invasivos e que resultam em medições eficientes para variadas formas de análises de resultados e propriedades dos materiais. Atualmente, um dos principais problemas da construção civil no país é adequar, dar manutenção ou até fazer a substituição das infraestruturas e edificações já existentes, sendo essas as ferramentas necessárias e indispensáveis para garantir a correta tomada de decisão dos profissionais da área.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a infraestrutura e equipamentos disponibilizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (TED 703/2020 UFV/DNIT) e o suporte disponibilizado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecimentos também são devidos aos Grupos de Pesquisa SICON-CNPq/UFV e DEC/UFV Estruturas CNPq/UFV pela infraestrutura disponibilidade e suporte técnico.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Procedimentos Para Moldagem E Cura De Corpos De Prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7680-2**: Testemunhos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

CLÍMACO, João. **Estruturas de concreto armado**. 2ª Edição. Brasília: UnB, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). **MANUAL DE INSPEÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS**. E. ed. Rio de Janeiro, 2004.

LIMA, Gustavo Emílio Soares de. **AVALIAÇÃO DINÂMICA DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS À DEGRADAÇÃO DA RIGIDEZ.** 2017. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017. Cap. 3.

THE POTENTIAL OF EXPERIMENTAL RESEARCH IN CIVIL ENGINEERING EDUCATION: REPORT OF THE EXPERIENCE INVOLVING REDUCED PROTOTYPES OF REINFORCED CONCRETE BEAMS SUBJECTED TO CYCLIC LOADING

Abstract: *This work discusses, with a focus on the development of professional skills in the educational environment, the methodology used in a final course work on the evaluation of the deterioration of reduced models of reinforced concrete beams subjected to cyclic loads by non-destructive tests. The research consists of using the ultrasonic pulse velocity test and accelerometry to identify the progression of damage after two stages of 1000 loading cycles each. With this, it is expected to emphasize that investment and encouragement of debate and research in the area can contribute considerably to the training of civil engineers and the advancement of the use of non-destructive information tests in the country's main challenges.*

Keywords: *Concrete, Non-destructive information tests, Methodology, Research, Education.*

