

ANÁLISE EXPERIMENTAL DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DINÂMICO E ESTÁTICO DE CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO E REFORÇADOS COM FIBRAS

Giovanna Oliveira Thomaz, Marcela Novischi Kataoka

Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

giovannathomaz@usp.br, kataoka@sc.usp.br

Objetivos

A sustentabilidade na construção civil é crucial devido ao impacto ambiental significativo e à geração de resíduos, o que torna a utilização de agregados reciclados (ARC) no concreto um importante objeto de estudo. Esta pesquisa visa entender como o modelo de Popovics prevê o módulo de elasticidade estático para concretos com agregados reciclados e fibras de aço, produzindo misturas com 1,6% de fibras de aço e avaliando a resistência e a variação dos módulos de elasticidade para diferentes teores de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, a fim de contribuir para práticas mais sustentáveis na construção.

Métodos e Procedimentos

Inicialmente, foi necessário realizar a caracterização dos agregados para determinar as propriedades dos agregados naturais e reciclados de concreto, aplicando os procedimentos apresentados nas normatizações brasileiras.

Assim, a dosagem do concreto foi baseada no estudo realizado por Marques (2022). Desse modo, foram analisados 4 traços compostos por teores de substituição diferentes, sendo estes: o concreto natural sem substituição (NAC), o concreto com 30% de substituição do agregado natural por reciclado (RAC30), o concreto com 50% de substituição (RAC50) e o concreto com 100% de substituição (RAC100). O método de mistura empregado por Marques (2022) consiste em misturar o agregado

natural, miúdo e ARC por 60 segundos, adicionar 50% da água e misturar por mais 60 segundos, incluir o cimento e misturar por 30 segundos, e então adicionar o restante da água e misturar por mais 120 segundos para obter o concreto.

Após a concretagem e os testes de resistência dos corpos de prova, comparou-se o módulo de elasticidade estático obtido por ensaio de compressão com o módulo estimado a partir do módulo de elasticidade dinâmico, conforme os métodos estabelecidos pela ABNT NBR 8522 (2021). A Parte 1 da norma calcula o módulo estático com base no ensaio de compressão, enquanto a Parte 2 utiliza o método das frequências naturais de vibração e a Equação (1) para estimar o módulo estático a partir do dinâmico.

$$E_{ci} = \frac{0,4275}{\rho} \cdot E_{cd}^{1,4} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde, E_{cd} é o Módulo de elasticidade dinâmico (GPa) e ρ o Densidade aparente (g/cm^3).

A comparação dos resultados teve como objetivo avaliar a precisão do modelo de Popovics para concretos com agregados reciclados e fibras de aço.

Resultados

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios da resistência à compressão aos 28 dias dos 3 corpos ensaiados para cada traço. Além disso, são apresentados também os módulos de elasticidade dinâmica e estático.

Na Tabela 2 se observa os valores do módulo de elasticidade estático obtidos pelo método de

Popovics, em conjunto com o erro médio associado a cada traço.

Parâmetro	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade estático (GPa)	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)
NAC	30,44	33,37	37,61
RAC30	29,67	31,06	36,58
RAC50	29,06	29,41	34,89
RAC100	27,40	29,48	32,80

Tabela 1 - Resultados obtidos nos ensaios de compressão axial.

Parâmetro	7 dias	14 dias	28 dias	Erro médio (%)
NAC	25,38	26,31	28,61	-8,80%
RAC30	25,64	26,38	27,88	-9,40%
RAC50	24,04	26,03	26,57	-9,81%
RAC100	22,71	23,59	25,15	-10,66%

Tabela 2 - Resultados obtidos para o módulo de elasticidade estático via Popovics.

Assim, os valores obtidos dos módulos de elasticidade estático foram plotados e estão apresentados na Figura 1.

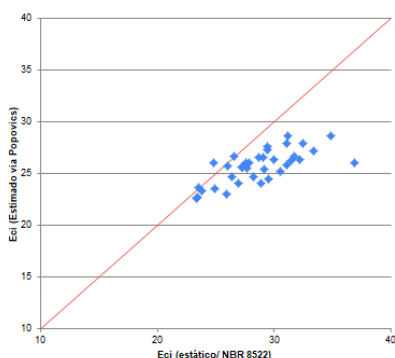


Figura 1: Eci medido pelo método estático versus Eci estimado pelo modelo de Popovics.

Conclusões

A pesquisa analisou os módulos de elasticidade estático e dinâmico de concreto com agregados reciclados e fibras metálicas, constatando um aumento na resistência à compressão ao longo dos 28 dias. Os corpos de prova com maior substituição mostraram um menor crescimento e resistência final. O modelo de Popovics previu valores inferiores aos experimentais, embora os resultados sejam satisfatórios devido à pequena margem de erro. Por fim, as fibras de aço proporcionaram resistência residual adicional, o que resultou em decaimento gradual, em vez de abrupto, após a tensão máxima na curva de tensão versus deformação.

Agradecimentos

Ao Programa Unificado de Bolsas da Pró-Reitoria de Inclusão e Pertencimento da USP.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522-1**: Concreto endurecido — Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 1: Módulos estáticos à compressão. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522-2**: Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 2: Módulo de elasticidade dinâmico pelas frequências naturais de vibração. Rio de Janeiro, 2021.

MARQUES, B. B. **Estudo experimental e numérico de pilares mistos parcialmente revestidos com concreto de resíduos reciclados de concreto e fibras de aço**. 2022. 221 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Engenharia de Civil (Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.