

Estudo sobre adição de molas ao concreto estrutural

Leandro Machado Rocha da Silva

Fatec de Mogi Mirim - Arthur de Azevedo, Mogi Mirim
leandro.silva24@aluno.cps.sp.gov.br

Eliandro Rezende da Silva

Fatec de Mogi Mirim - Arthur de Azevedo, Mogi Mirim
Eliandro.silva@cps.sp.gov.br
ORCID 0000-0003-3978-6912

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo comparativo, desenvolvido na Fatec Mogi Mirim, sobre a incorporação de molas de aço galvanizado e de PET reciclável ao concreto estrutural, com o objetivo de promover o confinamento interno e reduzir a fragilidade do material. Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos, submetidos ao ensaio de compressão axial após 15 dias de cura. Os resultados indicaram que o compósito com molas de PET atingiu resistência média de 8,395 MPa, valor 14,3% superior ao obtido pelo compósito com molas de aço galvanizado, que alcançou 7,345 MPa. Além do aumento da capacidade de carga máxima, as molas poliméricas apresentaram melhor desempenho pós-pico, adaptando-se às deformações progressivas e mantendo maior integridade estrutural, enquanto o aço galvanizado demonstrou perda brusca de resistência após a microfissuração. Os resultados evidenciam o potencial do uso de molas como estratégia de reforço para ampliar a ductilidade e a tenacidade do concreto.

Palavras-Chave

Concreto estrutural, Reforço com molas, Confinamento interno, Molas de PET, Desempenho mecânico

1. Introdução

O concreto estrutural é amplamente empregado na construção civil, porém apresenta comportamento mecânico frágil, caracterizado pela baixa capacidade de deformação e pela propagação rápida de fissuras. Como solução para alterar a microestrutura do composto e promover o confinamento interno, destaca-se a inserção de elementos de reforço. Estudos comprovam que a restrição lateral por aço estabiliza o material após a resistência máxima (MOJADDAD; HEMMATI, 2016), enquanto a adição de polímeros recicláveis, como o polietileno tereftalato (PET), contribui significativamente para o aumento da tenacidade, o controle da fissuração e a durabilidade química (FOTI, 2013; SOUZA; DAL MOLIN, 2018). A inovação do estudo reside no emprego desses elementos no formato geométrico de mola.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar comparativamente o comportamento mecânico do concreto estrutural reforçado com molas de aço galvanizado e de PET reciclável. Busca-se mapear as diferenças de ductilidade e absorção de energia no período pós-pico de carga.

2. Metodologia

Para a realização do estudo experimental, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos com dimensões adaptadas de 150 mm de altura por 72 mm de diâmetro, destinados ao ensaio em máquina universal. A mistura cimentícia seguiu o traço em massa de 1:2:2,95 (cimento CPV-ARI: areia peneirada: brita), apresentando relação água/cimento aproximada de 0,67.

A preparação do reforço metálico empregou molas de aço galvanizado (Figura 1), as quais foram cortadas utilizando-se uma cortadora metalográfica (Figura 3). O processo resultou em molas reduzidas com tamanho aproximado de 3 cm cada (Figura 2), permitindo a mistura homogênea e direta com a massa cimentícia. O mesmo procedimento de traço foi adotado com base em ensaios anteriores realizados com molas de Polietileno Tereftalato (PET) reciclável, garantindo a padronização e a comparação das amostras.



Figura 1 Molas de aço galvanizado
Fonte: O autor, 2026



Figura 2 Mola reduzida

Fonte: O autor, 202



Figura 3 Cortadora metalográfica

Fonte: O autor, 2026

A moldagem e o processo de cura de 15 dias seguiram os procedimentos adaptados da norma NBR 5738 (ABNT, 1994a). Ao término do período de cura, totalizaram-se 6 corpos de prova reforçados com molas de aço. As amostras passaram por etapas preliminares de preparação, que envolveram o lixamento de superfície e o nivelamento.

O ensaio de compressão axial foi executado em máquina de ensaio universal equipada com uma célula de carga de 100 kN e operando com velocidade constante de 24 mm/min, baseando-se nas diretrizes da NBR 5739 (ABNT, 1994b). A análise de ruptura e a extração dos dados ocorreram durante o procedimento, viabilizando o monitoramento simultâneo da força aplicada e do deslocamento para a fase comparativa.

3. Resultados e discussão

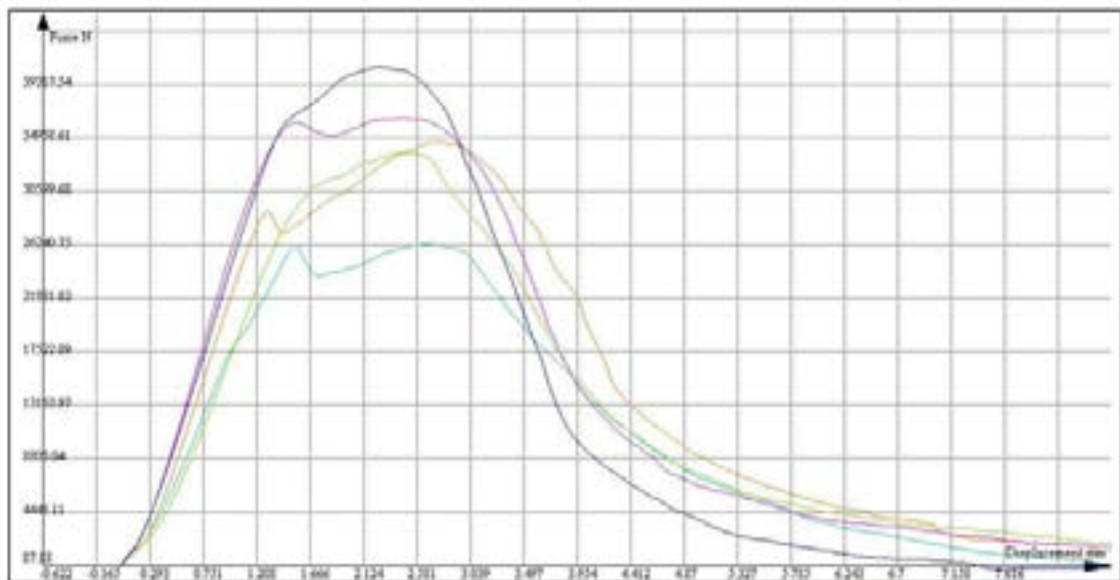


Figura 4 Gráfico força x deslocamento Molas de PET
Fonte: O autor, 2026

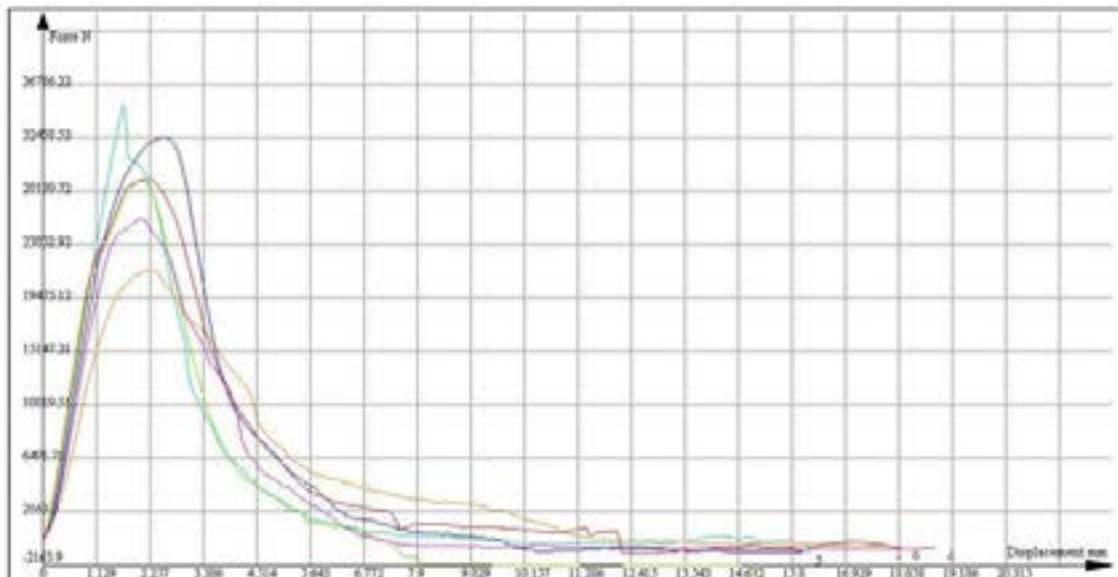


Figura 5 Gráfico força x deslocamento Molas de Aço galvanizado
Fonte: O autor, 2026

Amostra	Concreto + Mola de PET (MPa) (2025)	Concreto + Mola de Aço (MPa) (2026)
1	6,42	8,62
2	6,46	7,33
3	8,29	5,49
4	8,5	6,53
5	8,99	8,2
6	10,01	7,36
Média	8,395	7,345

Tabela 1 Comparativo de resistência à compressão aos 15 dias de cura**Fonte:** O autor, 2026

Após a conclusão do ensaio de compressão axial, foi possível extrair dados e gráficos de força versus deslocamento das molas de aço galvanizado (Figura 5), com a finalidade de compará-los com os testes realizados em 2025 com molas de PET (Figura 4).

A partir da análise comparativa das médias (Tabela 1), observa-se que o compósito utilizando molas de PET obteve uma resistência média à compressão de 8,395 MPa, enquanto o compósito com molas de aço alcançou 7,345 MPa. Isso representa um desempenho 14,3% superior a favor do composto com PET reciclável. Esse resultado quantitativo é altamente positivo, pois comprova que a substituição do elemento metálico pelo polimérico não apenas preservou a integridade estrutural do material na idade de 15 dias, como também promoveu um ganho sutil na capacidade de carga máxima (pico).

Os gráficos de força versus deslocamento revelam distinções fundamentais no comportamento mecânico. Enquanto na fase elástica o composto reforçado com mola de aço apresentou picos de força visivelmente mais agudos e concentrados (Figura 5), refletindo o elevado módulo de elasticidade e rigidez do aço galvanizado (MOJADDAD; HEMMATI, 2016), o gráfico das molas de PET (Figura 4) exibiu curvas com o topo mais arredondado e plano, evidenciando uma transição plástica mais suave promovida pela maior flexibilidade do polímero (SOUZA; DAL MOLIN, 2018).

O comportamento pós-pico, após atingir a ruptura da matriz de concreto composto com mola de aço, demonstra uma queda severa e imediata da capacidade de carga, reduzindo a força de deslocamento. Já o sistema contendo molas de PET sustentou valores de força residual significativamente mais expressivos e estáveis, o que se alinha às observações da literatura quanto ao ganho de tenacidade e ao controle da fissuração por meio de reforços poliméricos (FRATERNALI et al., 2011; FOTI, 2013).

Os resultados confirmam que a geometria em formato de mola atua com sucesso no confinamento interno do material, impedindo a ruptura catastrófica e explosiva típica do concreto simples (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Contudo, para a aplicação interna direta sob compressão, a mola de PET demonstrou superioridade de desempenho pós-pico em relação à de aço galvanizado. Enquanto a alta rigidez do aço causou uma perda brusca de aderência e resistência logo após a primeira macro fissuração da matriz, a mola de PET se adaptou melhor às deformações progressivas, mantendo o corpo de prova íntegro por mais tempo e gerando um patamar de ductilidade e absorção de energia mais eficiente e distribuído.

Para apurar as análises, foi necessário rigor extra para garantir que o mesmo processo de produção das amostras fosse replicado com exatidão, evitando discrepâncias acentuadas entre elas; porém, ainda são visíveis algumas variações decorrentes do material primário.

A investigação do uso de molas como elemento de reforço apresenta caráter inovador para a construção civil, especialmente por explorar a influência da geometria helicoidal no confinamento interno do concreto. Tanto as molas de PET quanto as de aço galvanizado indicam possibilidades de aplicação em situações que demandem maior absorção de energia, controle da fissuração ou desempenho em ambientes sujeitos à corrosão, desde que sejam realizados estudos complementares para validação técnica.

O presente estudo foi submetido à banca de avaliadores da Milset Brasil 2026, em Fortaleza - CE, ganhando o direito de exposição no evento, que ocorreu entre 19 e 23 de maio. O trabalho foi muito bem avaliado por avaliadores credenciados e profissionais visitantes do evento, além de receber sugestões para aperfeiçoamento do projeto, destacando-se dos demais no segmento de engenharia.

4. Considerações finais

O estudo evidenciou que a adição de elementos no formato geométrico de mola altera o comportamento mecânico do concreto estrutural, promovendo o confinamento interno e mitigando a fragilidade característica do material. Em conformidade com os objetivos propostos, a análise comparativa entre os diferentes módulos de elasticidade demonstrou a superioridade do desempenho das molas de Polietileno Tereftalato (PET) reciclável em relação às de aço galvanizado.

Além de atingir uma resistência média à compressão 14,3% superior aos 15 dias de cura (8,395 MPa contra 7,345 MPa), o compósito polimérico garantiu maior ductilidade, estabilidade e capacidade de absorção de energia na fase pós-pico, adaptando-se às deformações sem a perda brusca de aderência observada no elemento metálico. Ambas as soluções demonstraram potencial inovador para a construção civil e o setor industrial, atuando eficazmente no controle da fissuração e na prevenção de rupturas explosivas (MEHTA; MONTEIRO, 2014; SOUZA; DAL MOLIN, 2018).

Conclui-se que as molas de PET apresentam viabilidade técnica para aplicações que demandem tenacidade pós-ruptura, sendo recomendada a realização de ensaios complementares de tração, impacto, resistência ao calor e padronização normativa para viabilizar sua aplicação prática no mercado.

5. Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: concreto: moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- FOTI, D. Use of recycled plastic waste as fiber reinforcement in concrete. **Composite Structures**, v. 96, p. 396-404, 2013.
- FRATERNALI, F. et al. Thermo-mechanical properties of recycled PET fiber-reinforced concrete. **Composite Structures**, v. 93, n. 12, p. 3188-3194, 2011.
- MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto**: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.
- MOJADDAD, Shahab; HEMMATI, Ali. The effect of confinement with steel on seismic behavior of reinforced concrete frames. *In*: INTERNATIONAL CONGRESS ON CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND URBAN DEVELOPMENT, 4., 2016, Tehran. **Anais [...]**. Tehran: Shahid Beheshti University, 2016.
- SOUZA, L.; DAL MOLIN, D. **Avaliação de Concretos com PET Reciclado**. Curitiba: UTFPR, 2018.