

Tendências para o uso de fibras no reforço estrutural de tubos de concreto

RENATA MONTE - DOUTORA (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3555-4655>) (renata.monte@usp.br)

ANTONIO D. DE FIGUEIREDO - PROFESSOR (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4658-3355>)

EPUSP

RESUMO

OS TUBOS DE CONCRETO COM FIBRAS TÊM VANTAGENS TECNOLÓGICAS, COMO O GANHO DE PRODUTIVIDADE, E, DO PONTO DE VISTA DE DESEMPENHO ESTRUTURAL, O REFORÇO DISTRIBUÍDO EM TODA ESPESURA QUE RESULTA MAIOR CONTROLE DA FISSURAÇÃO NAS CONDIÇÕES DE SERVIÇO. NESTE CONTEXTO, ESTE TRABALHO TEM COMO OBJETIVO DISCUTIR O IMPACTO DA REVISÃO DA ABNT NBR 8890:2020 E DA PUBLICAÇÃO DE NORMAS BRASILEIRAS PARA FIBRAS NÃO METÁLICAS NO DESENVOLVIMENTO DO MERCADO DE TUBOS DE CONCRETO COM FIBRAS. A ABNT 8890:2020 AUMENTOU O RIGOR NA EXECUÇÃO DO ENSAIO DE COMpressão DIAMETRAL. ATUALMENTE, INDEPENDENTEMENTE DO TIPO DE REFORÇO, O TUBO NÃO PODE APRESENTAR FISSURAS NO NÍVEL DE CARREGAMENTO ASSOCIADO ÀS CONDIÇÕES DE SERVIÇO, AMPLIANDO O POTENCIAL DE DURABILIDADE DESSES COMPONENTES E TORNANDO O REFORÇO DE FIBRAS MAIS COMPETITIVO. APESAR DE A NORMA AINDA RECOMENDAR APENAS FIBRAS METÁLICAS, A RECENTE NORMALIZAÇÃO NO BRASIL DA FIBRA POLIMÉRICA E DE VIDRO AR DEVE FOMENTAR NOVOS ESTUDOS E A INTRODUÇÃO DE FIBRAS NÃO METÁLICAS NA NORMA DE TUBOS DE CONCRETO EM UMA FUTURA REVISÃO. O ENSAIO DE DUPLO PUNÇONAMENTO, NORMALIZADO NO BRASIL PARA O CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO COM FIBRAS, É FACTÍVEL PARA O CONTROLE DO CONCRETO SECO COM FIBRAS TÍPICAMENTE UTILIZADO NA PRODUÇÃO DOS TUBOS, DESDE QUE SEJAM GARANTIDOS OS CUIDADOS NA COMPACTAÇÃO. ASSIM, ESTE ENSAIO PODE SER UTILIZADO COMO UMA FERRAMENTA DE CONTROLE CONTÍNUO DE PRODUÇÃO E UM INSTRUMENTO AUXILIAR PARA PARÂMETROS DE PROJETO DESSES COMPONENTES OU COMO ANÁLISE PRELIMINAR DE VIABILIDADE.

PALAVRAS-CHAVE: TUBOS DE CONCRETO, CONCRETO COM FIBRAS, CONCRETO SECO, CONTROLE TECNOLÓGICO, NORMALIZAÇÃO.

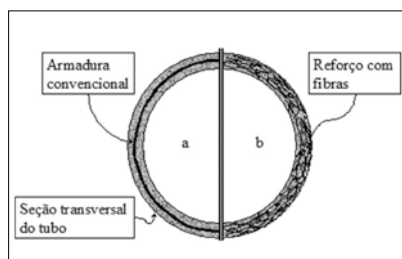
1. INTRODUÇÃO

O Brasil precisa de profundo investimento tanto em infraestrutura como em sanea-

mento, transporte, energia e telecomunicação. Essa carência dificulta o crescimento do país, a atração de investimentos, a competitividade das empresas e a geração de novos empregos. O investimento em infraestrutura adequada é essencial para a redução da desigualdade social (JOSA, AGUADO, 2019). No que se refere ao saneamento, o problema é ainda mais crítico por abarcar um problema de saúde pública. O Instituto Trata Brasil e GO Associados publicaram em março de 2022 a 14ª edição do Ranking do Saneamento com o foco nos 100 maiores municípios brasileiros, analisando os indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2020. O documento evidencia que a falta de acesso à água tratada atinge quase 35 milhões de pessoas e um número ainda mais alarmante diz respeito ao acesso a coleta de esgoto. No Brasil, segundo o Instituto, mais de 100 milhões de brasileiros não têm coleta de esgoto e apenas 50,8% do esgoto gerado é tratado. Isto representa o despejo diário na natureza de mais de 5,3 mil piscinas olímpicas de esgoto sem o devi-

do tratamento. Para suprir essa demanda são necessários milhares de quilômetros de tubulações, distribuídas em um país de dimensões continentais, demandando um investimento de grande vulto e longo prazo. O Marco Legal do Saneamento Básico (lei nº 14.026/2020) aprovado em 2020, estabelece ao país metas a para universalizar o acesso a água e ao atendimento à coleta e tratamento de esgoto para a população brasileira. Segundo a lei, o país deve até 2033 atender 99% da população com abastecimento de água tratada e 90% da população com coleta dos esgotos.

A utilização dos tubos de concreto enterrados neste tipo de obra apresenta uma série de vantagens. Entre elas, estão a relação custo-benefício, o domínio técnico das propriedades do concreto, a flexibilidade dos diâmetros que podem ser produzidos, entre outras vantagens técnicas e de sustentabilidade em relação aos tubos flexíveis (VIÑOLAS, 2011). Porém, o concreto tem limitada capacidade de resistir a esforços de tração associada à baixa capacidade de deformação e à ruptura frágil. Por isso, o uso de tubos de



A



B

FIGURA 1

DISTRIBUIÇÃO DE REFORÇOS NA SEÇÃO TRANSVERSAL DOS TUBOS: A) DE ARMADURA CONVENCIONAL OU FIBRAS; B) TESTEMUNHO EXTRAÍDO MOSTRANDO A POSIÇÃO CENTRAL DA ARMADURA CONVENCIONAL NO TUBO

FONTE: A) FIGUEIREDO ET AL (2010); B) MONTE (2015)

concreto simples é limitado a diâmetros inferiores a 600 mm. Para diâmetros maiores, que receberão esforços mais intensos, se faz necessário o uso do concreto com reforços com fios, telas ou fibras.

Do ponto de vista da produção dos tubos, o uso de fibras traz como vantagem a eliminação da etapa de preparação da armadura, que resulta na aceleração do processo produtivo, com ganho de produtividade, menor gasto de energia e menor desgaste do equipamento. Em relação ao desempenho do componente, a distribuição aleatória das fibras por todo o volume do componente possibilita um reforço nas bordas, reduzindo o risco de quebra e perdas de peças. Além disso, por reforçar toda a espessura do tubo (Figura 1a), as fibras contribuem para maior capacidade de reforço para baixos níveis de deformação e fissuração, aumentando a segurança em serviço. Nos tubos armados, o posicionamento da armadura tende a ser aproximadamente no centro da espessura do tubo (Figura 1b) para garantia do cobrimento mínimo, especialmente para tubos de menor espessura, necessitando que ocorra certa abertura de fissura até que a armadura seja mobilizada.

A eficiência das fibras no reforço dos tubos a baixos níveis de deformação, quando comparadas ao reforço convencional, pode ser percebida na Figura 2. Nesta Figura, são apresentados os resultados médios de tubos de concreto de 600 mm de diâmetro no ensaio de compressão diametral segundo a ABNT NBR 8890:2020, com reforço de fibras de aço ou polipropileno com baixos teores, em comparação com a armadura de tela metálica.

Nota-se, na Figura 2, que, mesmo utilizando baixos teores de fibras, inferiores a 20 kg/m³ de aço e 4,6 kg/m³ de polipropileno, as curvas dos tubos com fibras foram superiores em relação à curva média do tubo armado com tela metálica até deslocamentos da ordem de 0,4%. Assim, pode-se afirmar que os tubos com fibras apresentam melhor desempenho para a condição de serviço. Porém, para maiores deslocamentos, a armadura é mobilizada e a carga resistente segue aumento do deslocamento diametral dos tubos.

Apesar das vantagens apresentadas, os tubos de concreto com fibras não se tornaram uma prática consolidada, especialmente devido às condições comerciais menos favoráveis que elevaram o preço das fibras, cujos

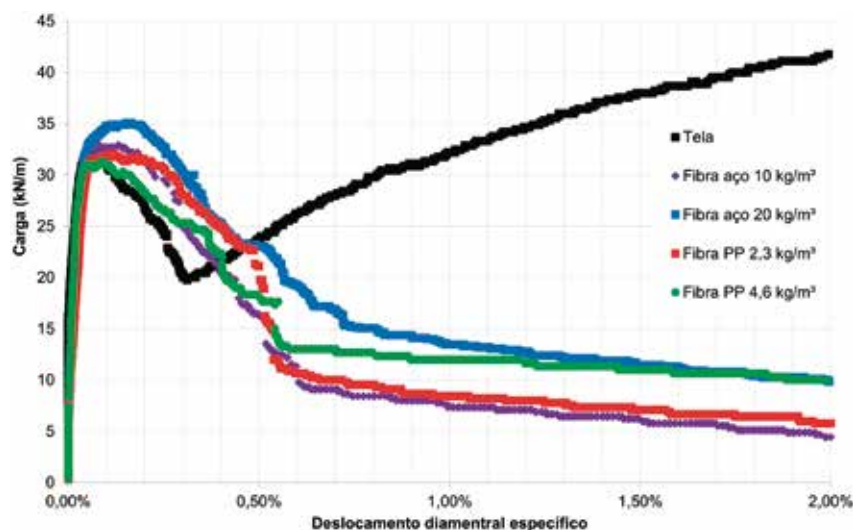


FIGURA 2

CURVAS MÉDIAS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL DOS TUBOS COM DIFERENTES REFORÇOS

FONTE: ADAPTADO DE MONTE (2015)

fabricantes têm menor competitividade, dificultando essa disseminação.

Diante deste cenário, o presente artigo pretende discutir as perspectivas futuras para a utilização de fibras em tubos de concreto considerando os avanços normativos já realizados e os obstáculos para essa consolidação.

2. ATUALIZAÇÃO DA NORMA BRASILEIRA DE TUBOS DE CONCRETO

Desde 2007, a norma brasileira de tubos de concreto, a ABNT NBR 8890, contempla o uso de fibras de aço como reforço do concreto. Porém, os procedimentos de ensaio previstos nessa norma para os tubos convencionalmente armados ou reforçados com fibras eram distintos, bem como os critérios de verificação de conformidade. O problema é que havia um desequilíbrio de exigência que era complacente em relação ao uso de reforço convencional. Isto porque no reforço com fibras era exigido que o tubo quando ensaiado à compressão diametral resistisse a uma determinada carga, denominada carga mínima isenta de dano, sem a ocorrência de qualquer fissura visível. Já, os tubos convencionalmente armados, para o mesmo nível de carga, neste caso denominada carga de fissura, era permitido que apresentassem uma fissura com abertura de 0,25 mm em um comprimento de 300 mm, medida com uma lâmina-padrão. Dessa forma, tornava os tubos com armadura convencional mais susceptíveis a problemas de durabilidade.

A norma ABNT NBR 8890 sofreu uma importante revisão em 2020 (ABNT, 2020). Um dos aspectos modificados foi incluir os tubos com reforço híbrido de armadura e fibras. Ainda que nesse caso a fibra seja denominada um reforço secundário, a inclusão dessa possibilidade abre caminho para avançar na busca por alternativas de reforço otimizados. Figueiredo e Escariz (2011) mostraram o potencial do uso do reforço híbrido de fibras para obter um desempenho mecânico aprimorado tanto para baixos quanto altos níveis de deslocamento dos tubos. Outra alteração significativa na norma é no procedimento de controle do comportamento mecânico dos tubos, o ensaio de compressão diametral. O novo procedimento exige requisitos únicos independentemente do tipo de reforço, a força mínima isenta de fissura e a força mínima de ruptura. Assim, não é mais tolerado certo nível de fissuração aos tubos armados durante a realização do ensaio, o que eleva a expectativa de durabilidade dos sistemas, tornando-os mais sustentáveis. No caso de tubos de concreto armados e armados com reforço secundário de fibras, o procedimento de carregamento segue o esquema apresentado na Figura 3. Já, no caso de tubos de concreto reforçados exclusivamente com fibras de aço, o procedimento de carregamento segue o esquema apresentado na Figura 4.

Para melhorar a qualidade do controle nos ensaios de compressão diametral, a norma ABNT NBR 8890:2020 passou a exigir a

do seu comportamento mecânico, o ensaio de flexão em três pontos com entalhe e o ensaio de duplo puncionamento.

Para a produção de tubos, utiliza-se o concreto com consistência seca e, por isso, a moldagem de corpos de prova prismáticos para ensaios de flexão, usualmente adotados na caracterização do comportamento mecânico do CRF, não é uma tarefa simples. No entanto, a pesquisa de MONTE (2015) mostrou que o ensaio de duplo puncionamento (também denominado ensaio Barcelona) pode ser considerado como alternativa para avaliação e parametrização do comportamento mecânico do concreto com fibras utilizado para produção de tubos. Porém, a característica seca do concreto dos tubos demanda maior energia no processo de moldagem dos corpos de prova. Isto pode ser alcançado com o uso conjugado de uma mesa vibratória e um soquete, conforme o ilustrado na Figura 5a. O puncionamento é feito através de discos de carga, produzidos em aço inoxidável, cujas dimensões dependem do diâmetro e altura do corpo de prova utilizado. A Figura 5b mostra o ensaio de duplo puncionamento sendo realizado em cilindros produzidos na fábrica de tubos durante a produção dos tubos de concreto com fibras. Dessa forma, realiza-se uma reprodução das condições de moldagem dos tubos, especialmente no caso dos vibro-prensados, garantindo-se a qualidade de produção dos corpos de prova, bem como sua representatividade.

No ensaio de duplo puncionamento, agora normalizado pela ABNT NBR 16939:2021, são determinadas a resistência à tração (calculada a partir da carga de fissuração, P_f) e as resistências residuais para diferentes níveis de fissuração (calculadas a partir das cargas residuais P_i , com deslocamentos i iguais a 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm e 3,5 mm), conforme ilustra a Figura 6.

O ensaio de duplo puncionamento pode ser utilizado tanto para o controle regular do concreto utilizado na produção dos tubos, como também como base para a obtenção de parâmetros que verifiquem o potencial de reforço que a fibra pode garantir para os elementos (MONTE, 2015). É uma ferramenta de controle possível de ser implementada em laboratórios de canteiros de obras de infraestrutura, como ficou demonstrado na Nova Serra da Tamoios com o controle do concreto

projetado com fibras (NOVA SERRA DA TAMOIOS - UMA OBRA DE DESAFIOS E CONQUISTAS, 2022). No caso das fábricas de tubos, o uso de corpos de prova cilíndricos na rotina de controle tecnológico do concreto simples já existe, o que facilita a implantação do ensaio de duplo puncionamento para o concreto com fibras. Além disso, este ensaio pode ser utilizado como ferramenta auxiliar na análise preliminar de viabilidade do reforço de fibras, seja ele feito de maneira isolada ou como sistema complementar de reforço para atendimento das exigências associadas à força mínima isenta de fissura.

4. COMENTÁRIOS FINAIS

A revisão da ABNT NBR 8890:2020 trouxe importante evolução para o controle de produção dos tubos de concreto para obras de saneamento. Aumentou o rigor na execução do ensaio de compressão diametral, principal mecanismo para validação do desempenho estrutural do componente. A nova proposta de ensaio uniformizou as exigências para tubos com reforço de armadura convencional ou fibras, permitindo igualar as exigências associadas à condição de serviço. Atualmente, inde-

pendentemente do tipo de reforço, o tubo não pode apresentar fissuras no nível de carregamento associado à classificação da categoria do tubo. Isto trouxe a grande vantagem geral de ampliar o potencial de durabilidade desses componentes independentemente do tipo de reforço. Essa mudança trouxe também a exigência de sistemas de ensaio com célula de carga ou outro dispositivo, o que possibilita maior acurácia na determinação das cargas de fissuração e máxima dos tubos. Introduziu a possibilidade do uso de reforço híbrido de armadura e fibras, que permite a produção de componentes com desempenho mecânico maximizado em condições de serviço, onde a fibra tem maior contribuição, e mesmo para o estado limite último, onde os vergalhões apresentam melhores resultados.

O cenário atual de normalização para o concreto com fibras é favorável e pode ajudar a alavancar seu uso na produção de tubos. Isto porque, além da fibra de aço, o Brasil agora tem a fibra polimérica e de vidro AR normalizadas, permitindo que essas sejam introduzidas com segurança em uma futura revisão da ABNT NBR 8890:2020. No entanto, é fundamental que essa introdução seja



A



B

FIGURA 5

ENSAIO DE DUPLO PUNCIONAMENTO DO CONCRETO COM FIBRAS PARA TUBOS.

A) MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA CILÍNDRICO COM MESA VIBRATÓRIA E SOQUETE DE COMPACTAÇÃO; B) ENSAIO DE DUPLO PUNCIONAMENTO EM ANDAMENTO

FONTE: MONTE *et al.* (2016)

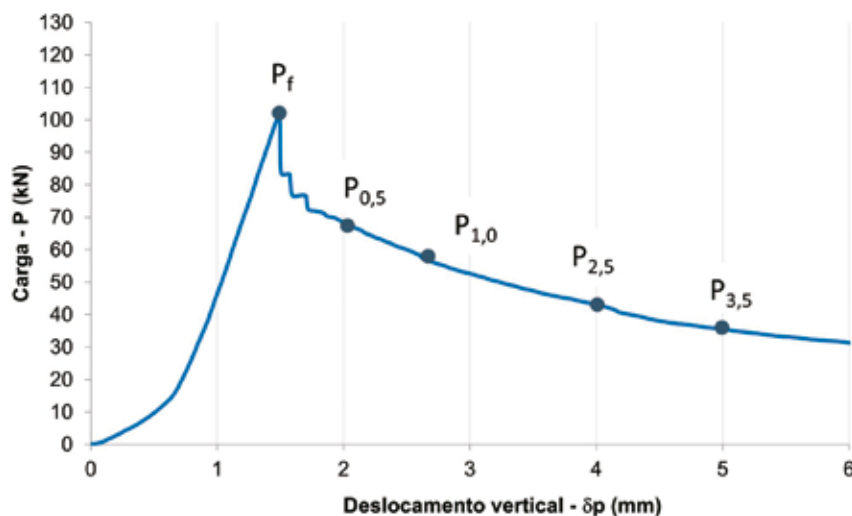


FIGURA 6

EXEMPLO DE DIAGRAMA OBTIDO NO ENSAIO DE DUPLO PUNCIONAMENTO COM DESTAQUE PARA OS PONTOS DE CARGA NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DE INTERESSE

Fonte: ABNT NBR 16939:2021

validada por meio de campanhas experimentais que demonstrem a efetiva contribuição desses outros tipos de fibras.

As perspectivas para o controle do concreto com fibras também foram renovadas com a publicação de uma norma específica

no tema e com duas normas de método de ensaio para caracterização do comportamento mecânico. Um desses métodos de ensaio é o duplo puncionamento que se mostrou factível para o concreto seco utilizado nos tubos quando os cuidados específicos na

moldagem dos mesmos são observados. Isto porque a moldagem de corpos de prova cilíndricos é capaz de reproduzir minimamente a condição de compactação do material, ao contrário do que acontecia com os prismas em pesquisas anteriores. Essa moldagem já é prática nas fábricas de tubos para o controle da resistência à compressão do concreto, o que permite uma disseminação mais rápida da tecnologia. O ensaio de duplo puncionamento pode ser uma ferramenta de controle contínuo durante a produção, como também um instrumento auxiliar para o fornecimento de parâmetros que serão utilizados no projeto desses componentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio da FAPESP recebido através do projeto de auxílio à pesquisa 2013/03260-3 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo projeto 437143/2018-0 (Renata Monte) e 305055/2019-4 (Antonio D. de Figueiredo). ©

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8890: tubo de concreto de seção circular para água pluvial e esgoto sanitário - requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2020. 35p.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16939: Concreto reforçado com fibras - Determinação das resistências à fissuração e residuais à tração por duplo puncionamento - Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT. 2021.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16941: Fibras de vidro álcali-resistentes (AR) para concreto e argamassa - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT. 2021.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16942: Fibras poliméricas para concreto - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT. 2021
- [5] de la FUENTE, A. et al. Design of macro-synthetic fibre reinforced concrete pipes. Construction & Building Materials, v. 43, p. 523-532, 2013.
- [6] di Prisco, M., Plizzari, G. & Vandewalle, L. Fibre reinforced concrete: new design perspectives. Mater Struct 42, 1261-1281, 2009.
- [7] FIGUEIREDO, A. D. et al. Análise de Viabilidade do Uso de Fibras Metálicas em Tubos de Concreto. Parte 1: Campanha Experimental. In: 52o Congresso Brasileiro do Concreto, 2010, Fortaleza. Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2010.
- [8] FIGUEIREDO, A. D.; ESCARIZ, R. C. Drainage concrete pipes with hybrid reinforcement. In: Second RILEM International Conference on Strain Hardening Cementitious Composites, 2011, Rio de Janeiro. Strain Hardening Cementitious Composites (SHCC2-Rio). Babneux: RILEM Publications S.A.R.L., 2011. p. 391-398.
- [9] YOUNIS, A-A; RAMADAN, A.S.; WONG, L.S.; NEHDI, M.L. New rational test for reinforced-concrete pipe eliminating subjective crack-width criteria. Structures, Volume 28, 2020.
- [10] JOSA, I.; AGUADO, A. Infrastructure, innovation, and industry as solutions for breaking inequality vicious cycles. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume 297, Issue 1, 2 September 2019, Sustainable Built Environment Conference, SBE 2019; Helsinki; Finland; 22 May 2019 through 24 May 2019.
- [11] MONTE, R. Caracterização e controle do comportamento mecânico do concreto reforçado com fibras para tubos. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- [12] MONTE, R. et al. Barcelona Test as an Alternative Method to Control and Design Fiber-Reinforced Concrete Pipes. ACI Structural Journal. Nov./Dec. 2016.
- [13] NOVA SERRA DA TAMOIOS - UMA OBRA DE DESAFIOS E CONQUISTAS - ÁLYA CONSTRUTORA S.A. 1. ed. Santo André, SP: Ipsi, 2022
- [14] VIÑOLAS B. Applications and advances of the MIVES methodology in multicriteria decision analysis. PhD thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, Barcelona (Spain), 2011.