



Aplicação de aditivos compensadores de retração para fabricação de tubos de concreto

Application of shrinkage-compensating admixtures in manufacturing concrete pipes

Renan P. Salvador (1); Ramoel Serafini (2); Dimas A. S. Rambo (3); Alessandra S. Sant'anna (4); Caroline A. Cardoso (5); Cláudio O. Silva (6)

- (1) *Professor Doutor, Universidade São Judas Tadeu*
(2) *Professor Doutor, Universidade São Judas Tadeu*
(3) *Professor Doutor, PROLAB Engenharia de Construção*
(4) *Engenheira, Universidade São Judas Tadeu*
(5) *Mestre, Universidade São Judas Tadeu*
(6) *Mestre, Associação Brasileira de Cimento Portland*

Rua Dias Leme, 323, Mooca, São Paulo, SP - renan.salvador@saojudas.br

Resumo

Tubos de concreto são amplamente utilizados em redes de águas pluviais e esgoto sanitário no Brasil. Esses elementos necessitam cumprir os critérios de resistência mecânica e estanqueidade de acordo com a norma ABNT NBR 8890:2020. Aditivos compensadores de retração são muito difundidos na indústria de pavimentos de concreto no país. Esses produtos, baseados em óxido de cálcio supercalcinado, apresentam expansão volumétrica que compensa as retrações por secagem e autógena, diminuindo possíveis riscos de fissuração. Além disso, por ser um produto expansivo, o aditivo pode preencher os poros da matriz e diminuir sua porosidade e permeabilidade, bem como aumentar sua resistência mecânica e vida útil. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é aplicar aditivos compensadores de retração na fabricação de tubos de concreto, para proporcionar maior estabilidade volumétrica, estanqueidade e resistência mecânica a esses elementos. Os resultados mostram que o aditivo contribui para o aumento do desempenho mecânico dos tubos de concreto.

Palavra-Chave: Tubo de concreto, aditivo compensador de retração, desempenho mecânico.

Abstract

Concrete pipes are widely used in rainwater and sewage networks in Brazil. These elements must meet the criteria of mechanical strength and water tightness according to the standard ABNT NBR 8890:2020. Shrinkage-compensating admixtures are very widespread in the concrete paving industry in the country. These products, based on supercalcinated calcium oxide, present volumetric expansion that compensates for drying and autogenous retractions, reducing risks of cracking. In addition, as it is an expansive product, the admixture can fill the pores of the matrix, decrease its porosity and permeability, and increase its mechanical strength and life span. This research aims to apply shrinkage-compensating admixtures in manufacturing concrete pipes to provide better volumetric stability, water tightness, and mechanical strength. Results show that the admixture improves the mechanical performance of concrete pipes.

Keywords: Concrete pipes, shrinkage-compensating admixture, mechanical performance.



1 Introdução

Elementos produzidos com concreto de consistência seca são amplamente utilizados no Brasil, como tubos de concreto. Esses tubos têm vantagens competitivas para a aplicação em redes de águas pluviais e de esgoto sanitário e podem ser produzidos com diâmetros que variam entre 200 e 2000 mm, segundo requisitos da norma ABNT NBR 8890 (ABNT, 2020). A espessura mínima da parede dos tubos de concreto armado está entre 45 e 180 mm, para o cobrimento ideal da armadura, a fim de atender as cargas mínimas isentas de dano em ensaios de compressão e garantir a estanqueidade do sistema (MONTE, 2015).

É fato que o país necessita de imediato realizar a ampliação desses sistemas, como observado no relatório do Ministério das Cidades (SNIS, 2019) que indica baixos índices de atendimento na distribuição de água e esgoto em diversas regiões do país. Assim, para melhorar o desempenho de tubos de concreto, é necessário reduzir as limitações do concreto de consistência seca, como estabilidade volumétrica e capacidade de resistir a esforços.

Os estudos realizados por Escariz (2011) e Monte (2015) comprovaram ganho de desempenho em tubos de concreto a partir da adição de fibras. Nesse sentido, nota-se que o uso de aditivos e adições podem gerar melhorias para o concreto aplicado em tubos. Entre esses materiais os aditivos compensadores de retração recebem destaque. Aditivos compensadores de retração são amplamente aplicados na fabricação de pisos industriais, entre os quais se destacam os compostos majoritariamente por óxido de cálcio supercalcinado (RUBIO, 2017). Esses aditivos apresentam expansão volumétrica de aproximadamente 100% quando se hidratam (QUARCIONI, 2008). Tal expansão compensa a retração por secagem e a retração autógena da matriz cimentícia, diminuindo possíveis riscos de fissuração relativos a esses fenômenos. Além disso, as fases formadas pela sua hidratação podem preencher os poros da matriz, diminuindo sua porosidade e permeabilidade, contribuindo para melhorar sua resistência mecânica e vida útil (RUBIO, 2017). Esses fatos evidenciam o potencial de uso desses aditivos para matrizes cimentícias de aplicações diversas.

À vista do exposto, o uso de aditivos compensadores de retração pode ser uma alternativa viável para o aumento do desempenho de concretos aplicados em tubos. O objetivo principal é obter uma matriz com maior estabilidade volumétrica, estanqueidade e resistência mecânica. Além disso, pode ser viável a redução da espessura da parede dos tubos produzidos com óxido de cálcio, obtendo-se elementos com a mesma resistência mecânica que os tubos sem aditivos.

O presente estudo é uma referência relevante, contribuindo para a literatura existente em relação à interação do cimento e concreto com aditivos baseados em óxido de cálcio. Por outro lado, estimula a produção de uma série de parâmetros, a partir de trabalhos futuros, que relacionam aditivos compensadores de retração com concretos de consistência seca, sobretudo para tubos de concreto.

2 Objetivos

Os objetivos do trabalho são avaliar o uso de aditivos compensadores de retração baseados em óxido de cálcio supercalcinado para fabricar tubos de concretos e caracterizar as propriedades físicas e mecânicas dos elementos produzidos.



3 Metodologia experimental

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para o estudo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Materiais utilizados no estudo.

Material	Tipo	Fornecedor
Cimento	CP V ARI RS	InterCement Ijací
Agregado miúdo	Areia artificial média	Embu - Mogi
Agregado graúdo	Brita granítica (Pedrisco e Brita 1)	Pau Pedra
Aditivo compensador de retração	Óxido de cálcio supercalcinado (DRY D1)	Chimica Edile do Brasil
Água	Potável	Rede pública de abastecimento

3.2 Dosagem de concreto

Foi utilizada uma dosagem de concreto aplicada para a fabricação de tubos. Esse concreto caracteriza-se por uma consistência seca, pois os tubos são moldados por vibro-compactação e as formas são removidas aproximadamente 5 min após a moldagem. Essa dosagem foi fornecida pela empresa Fermix Tubos e está descrita na Tabela 2.

Tabela 2 – Dosagem de materiais para produção de 1 m³ de concreto.

Material	Dosagem (kg/m ³)	Traço unitário em massa
Cimento	310,0	1,00
Areia artificial média	1131,5	3,65
Pedrisco	226,3	0,73
Brita 1	530,1	1,71
Água	145,7	0,47

O concreto possui relação água/cimento inferior à 0,50, conforme determina a ABNT NBR 8890 (ABNT, 2020) para tubos destinados às redes de água pluvial. Além disso, o traço de concreto possui um teor de argamassa igual a 65,6%. Esse teor é mais elevado que em concretos convencionais para garantir melhor acabamento superficial do tubo e o envolvimento adequado das armaduras utilizadas para reforço do elemento. Os concretos produzidos foram o de referência (sem aditivo) e contendo 3,0% e 5,0% de aditivo baseado em óxido de cálcio supercalcinado sobre a massa de cimento.

3.3 Fabricação dos tubos de concreto

Os tubos de concreto tipo PA2, com 1500 mm de comprimento e 1000 mm de diâmetro, foram produzidos no mesmo dia, seguindo rigorosamente os procedimentos industriais da Fermix Tubos. Em primeiro lugar, a armadura foi previamente montada e fixada no interior do molde do tubo de concreto, como mostra a Figura 1.a. Em seguida, o conjunto (molde e armadura) foi transportado para o interior da máquina de vibro-compressão, com o auxílio do sistema de pontes rolantes apresentado na Figura 1.b.

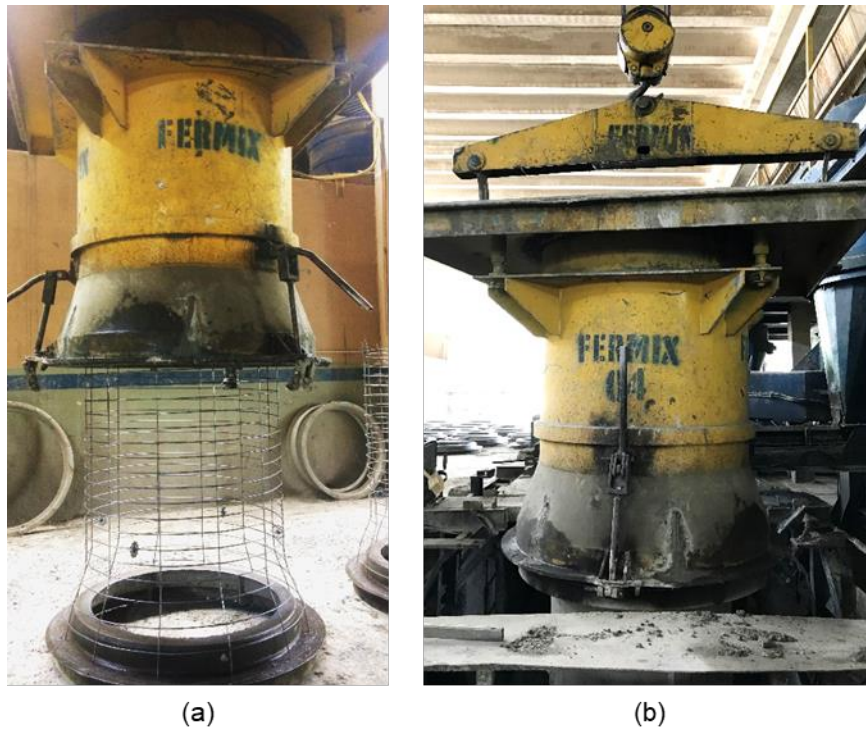


Figura 1 - Montagem do conjunto molde e armadura: (a) fixação da armadura no molde; (b) transporte do conjunto para a máquina de vibro-compressão.

Depois do posicionamento correto do molde, foi iniciada a produção de concreto. Para tal, foi utilizado um misturador planetário de 1 m³ de capacidade, mostrado na Figura 2.a. A primeira etapa do processo de produção do concreto consistiu no lançamento do cimento no misturador. Então, os agregados foram lançados com o uso de esteiras (Figura 2.b). O aditivo compensador de retração foi pesado em balança eletrônica e adicionado manualmente ao misturador (Figura 2.c)

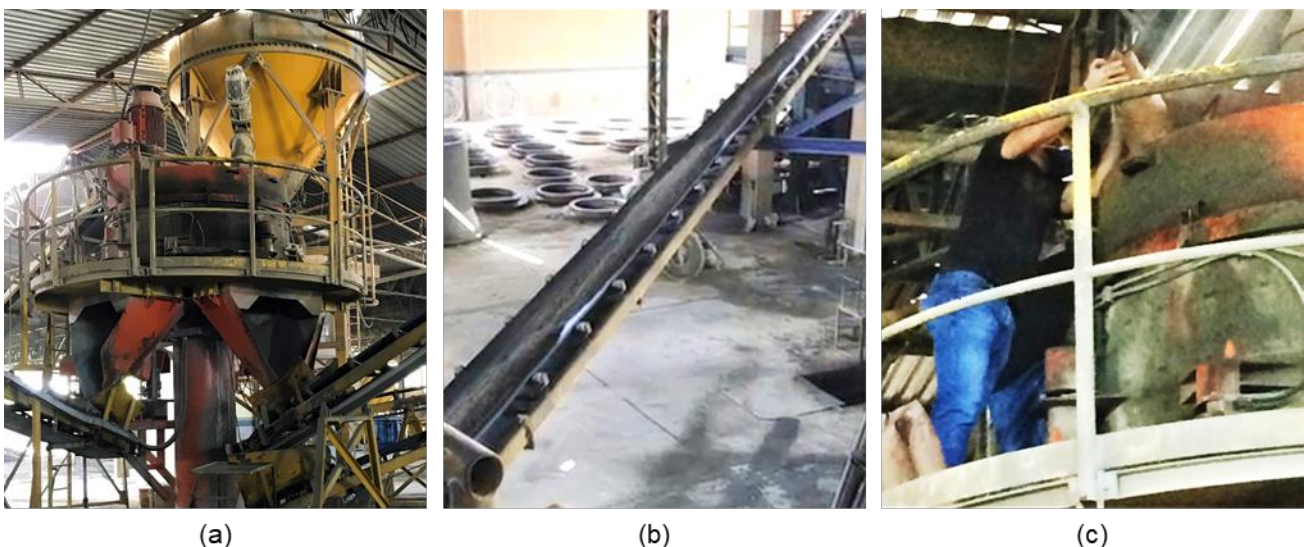


Figura 2 - Fabricação do concreto: (a) Misturador planetário; (b) lançamento dos agregados; (c) adição do aditivo compensador de retração.

Em seguida, o concreto foi lançado diretamente no equipamento de vibro-compressão com de esteiras automáticas, como apresenta a Figura 3.a. Daí, foi realizada a

compactação da ponta do tubo com um anel giratório, após o preenchimento total do molde. O conjunto (tubo de concreto no interior do molde) foi imediatamente transportado para o local de armazenamento, onde foi retirada a forma (Figuras 3.a e 3.b). Após a retirada dos moldes, os tubos receberam acabamento manual com o uso de desempenadeira e cobertos com lona plástica por 2 dias para evitar a perda de água. Os tubos foram mantidos em local coberto e expostos ao ar até a realização dos ensaios.

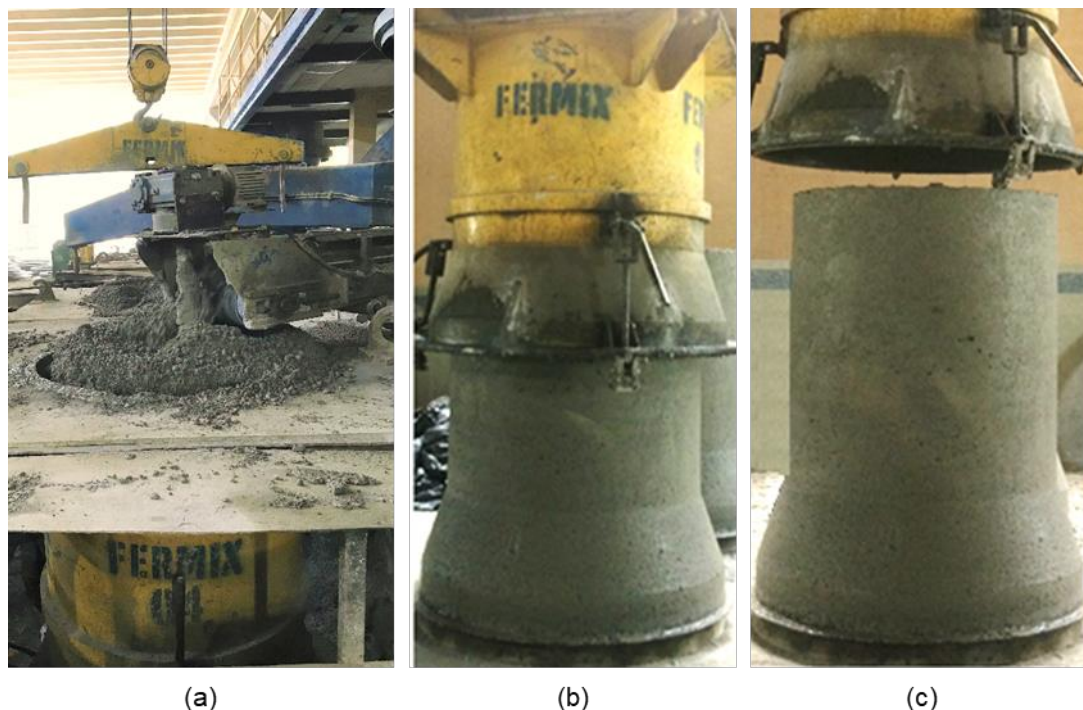


Figura 3 - Processo de moldagem do tubo: (a) lançamento do concreto no molde; (b) e (c) retirada do molde do tubo.

3.4 Ensaios realizados

3.4.1 Compressão diametral

O ensaio de compressão diametral foi realizado na Fermix Tubos a partir do método de três cutelos, de acordo com a ABNT NBR 8890 (ABNT, 2020). O tubo foi apoiado em dois cutelos de madeira inferiores, separados em 20 cm, como mostram as Figuras 4.a e 4.b. A carga foi aplicada por um cutelo de madeira superior centralizado, acoplado ao equipamento articulado. Foram ensaiados 3 tubos por amostra aos 84 dias de idade.



Figura 4 - Ensaio de compressão diametral: (a) tubo posicionado na máquina de ensaio (a); (b) destaque para o apoio de três cutelos.

3.4.2 Determinação da porosidade acessível à água

A influência do aditivo na absorção de água dos tubos de concreto foi determinada conforme a ABNT NBR 9778 (ABNT, 2009). Para tal, foram extraídos 3 testemunhos por tipo de concreto, a partir dos quais foram preparados corpos de prova de aproximadamente 1 kg de massa. Os corpos de prova foram imersos em água por 3 dias e sua massa saturada foi determinada. Então, foram secos a 110 °C por 2 h e sua massa seca foi medida. A porosidade foi calculada pela diferença entre a massa saturada e seca, em valores percentuais em relação à massa seca.

4 Resultados e discussão

4.1 Compressão diametral

As curvas carga-deflexão de cada conjunto de tubos estão apresentadas nas Figura 5, 6 e 7. Para facilitar a comparação, as curvas típicas de cada conjunto de tubos estão apresentadas na Figura 8.

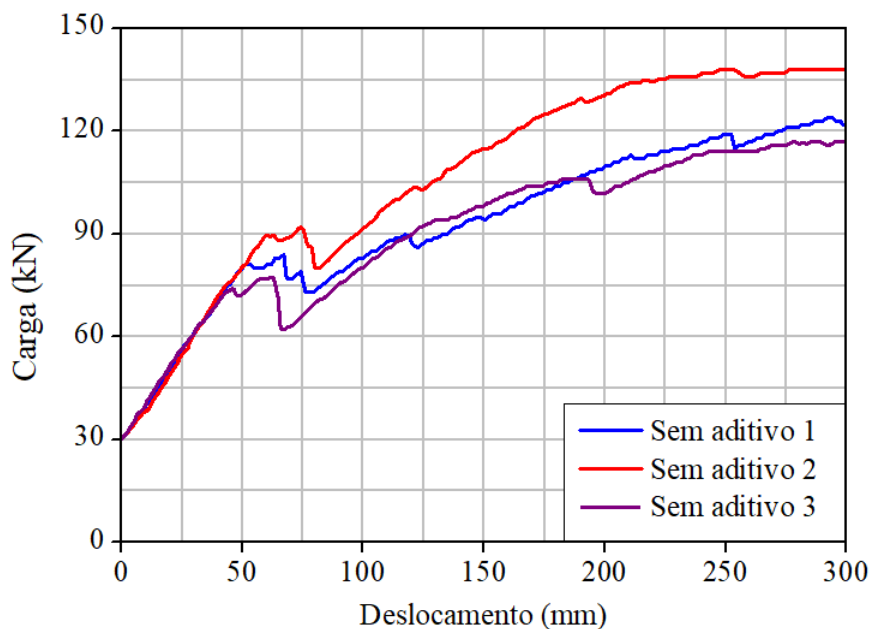


Figura 5 - Curvas carga-deflexão para os tubos referência (sem aditivo).

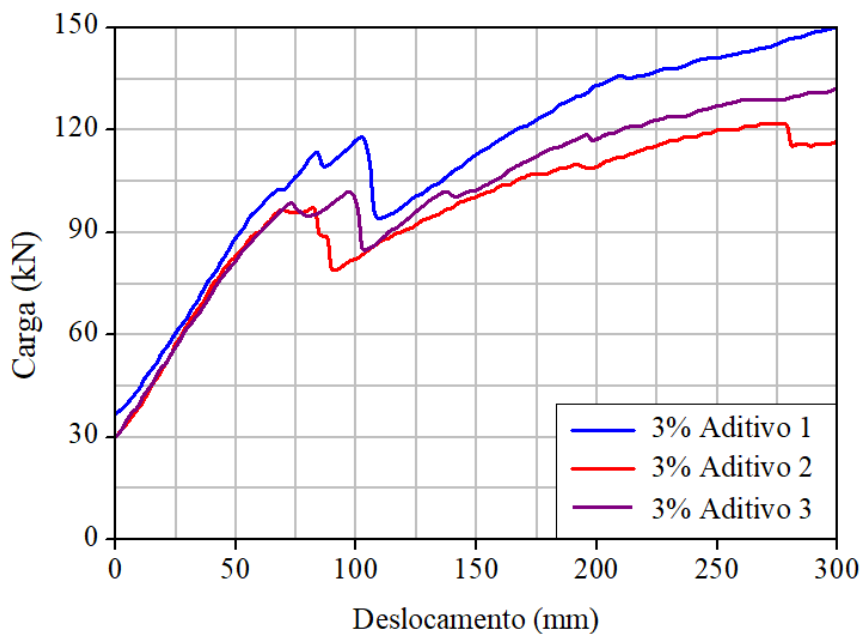


Figura 6 - Curvas carga-deflexão para os tubos com 3% de aditivo.

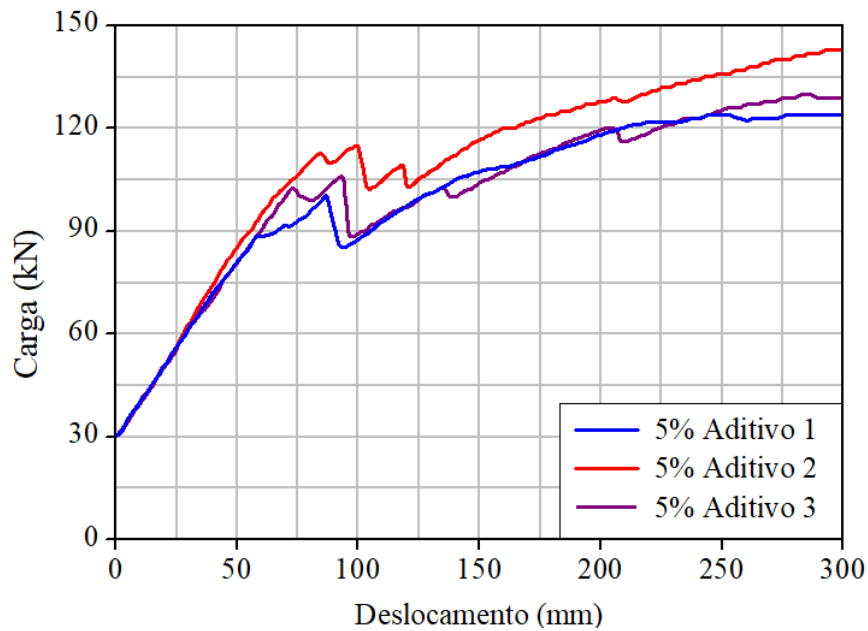


Figura 7 - Curvas carga-deflexão para os tubos com 5% de aditivo.

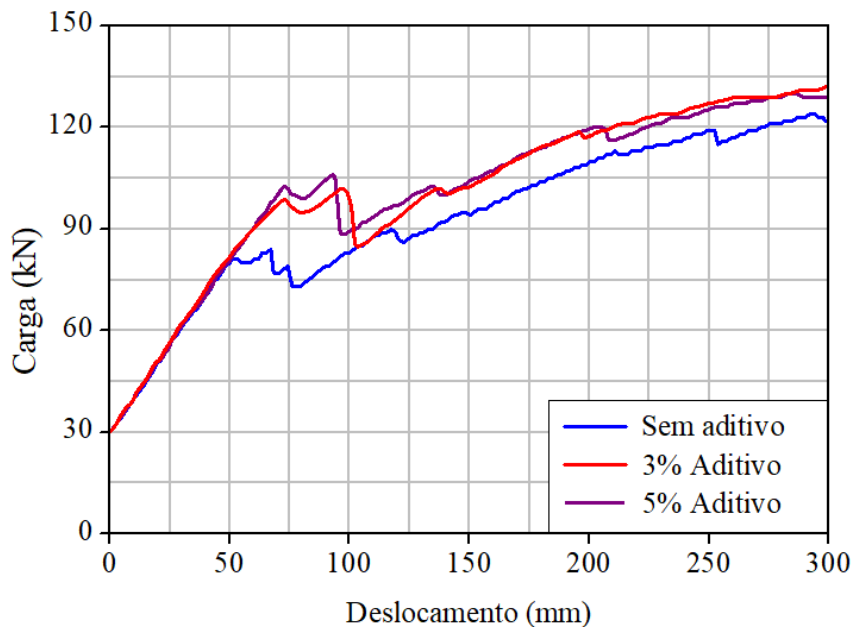


Figura 8 - Comparação das curvas típicas dos tubos sem aditivo, com 3% de aditivo e 5% de aditivo.

A Tabela 3 apresenta os valores de cargas de trinca obtidos a partir do ensaio de compressão diametral para cada concreto. A Tabela 4 mostra os valores de cargas de ruptura obtidos no ensaio de compressão diametral para cada amostra.



Tabela 3 – Resultados de carga de trinca a partir do ensaio de compressão diametral.

Concreto	Tubo	Carga de trinca (kN/m)	Valor médio (kN/m) (Desvio Padrão)	Coefficiente de variação (%)
Sem aditivo	1	54,7	55,1 (4,0)	7,3
	2	51,3		
	3	59,3		
3 % de aditivo	1	76,7	69,6 (6,2)	8,9
	2	66,0		
	3	66,0		
5% de aditivo	1	68,0	70,2 (3,9)	5,5
	2	74,7		
	3	68,0		

Tabela 4 – Resultados de carga de ruptura a partir do ensaio de compressão diametral.

Concreto	Tubo	Carga de ruptura (kN/m)	Valor médio (kN/m) (Desvio Padrão)	Coefficiente de variação (%)
Sem aditivo	1	84,7	85,8 (5,8)	6,7
	2	80,7		
	3	92,0		
3 % de aditivo	1	104,7	91,6 (11,9)	13,0
	2	88,7		
	3	81,3		
5% de aditivo	1	82,7	89,1 (7,5)	8,4
	2	97,3		
	3	87,3		

Os tubos de concreto sem aditivo apresentaram comportamento similar ao longo de todo o ensaio. Além disso, nota-se que após a carga de pico, os tubos apresentaram redução na capacidade de resistência até o deslocamento de 75 mm, aproximadamente. Esse fato ocorre devido ao posicionamento central da armadura metálica em relação à espessura do tubo. Portanto, é necessário que ocorra um nível de abertura inicial de fissura para solicitar a armadura.

Nos tubos com 3% e 5% de aditivo, a capacidade resistente foi mantida até o deslocamento de 100 mm, aproximadamente. Tal resultado foi superior aos tubos sem aditivo, indicando que o DRY D1 contribui para melhorar as propriedades mecânicas dos tubos no trecho elástico.

Os tubos de concreto com aditivo apresentaram valores médios de carga de trinca superiores ao limite mínimo de 60 kN/m estabelecido na ABNT NBR 8890 (ABNT, 2020). Os resultados médios obtidos com os tubos com 3% e 5% de aditivo foram 26,2 e 27,4% superiores ao concreto sem aditivo. Além disso, os tubos de concreto com aditivo apresentaram valores médios de carga de ruptura superiores ao limite mínimo de 90 kN/m estabelecido na ABNT NBR 8890 (ABNT, 2020). Os resultados médios obtidos com os tubos com 3% e 5% de aditivo foram 6,7 e 3,9% superiores ao concreto sem aditivo.

Além disso, nota-se que após a carga de pico, os tubos apresentaram redução na capacidade de resistência até o deslocamento de 75 mm, aproximadamente. Esse fato ocorre devido ao posicionamento central da armadura metálica em relação à espessura do tubo, sendo necessário que ocorra um nível de abertura inicial de fissura para solicitar a armadura (MONTE, 2015).

4.2 Porosidade acessível à água

Os resultados de absorção de água e índice de vazios para corpos de provas preparados a partir de testemunhos extraídos dos tubos de concreto estão apresentados na Figura 9. Todas as amostras estão dentro do limite de absorção de água de 8% determinado pela ABNT NBR 8890 (ABNT, 2020). Concretos produzidos com 3% de aditivo apresentaram valores menores de absorção de água e índice de vazios de 0,7 e 0,8%, respectivamente, em relação ao concreto sem aditivo. Já os concretos com 5% do aditivo apresentaram absorção de água e índice de vazios 8,2 e 7,2% inferiores ao concreto sem aditivo, respectivamente.

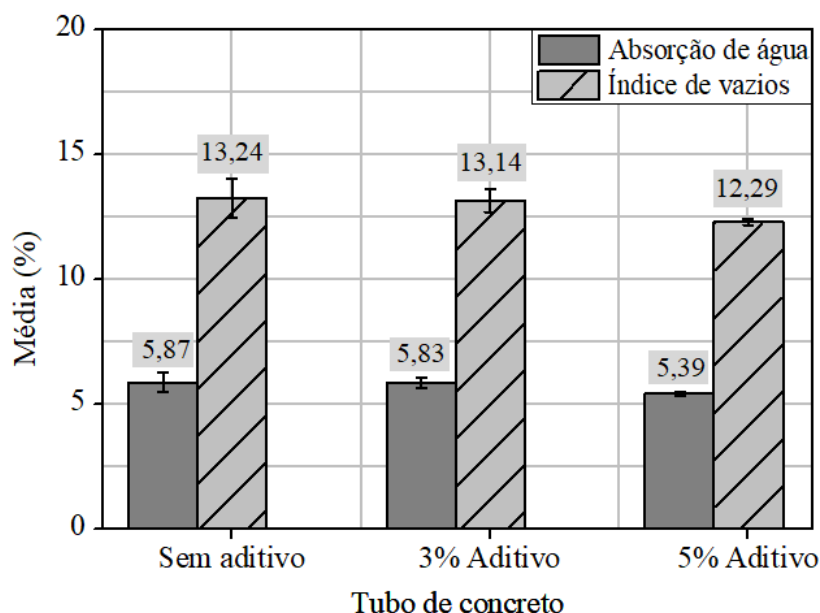


Figura 21 - Resultados médios de absorção de água e índice de vazios de corpos de prova dos tubos de concreto sem aditivo e com aditivo compensador de retração.

5 Conclusões

Os dados experimentais mostraram que o uso do aditivo baseado em óxido de cálcio supercalcinado influenciou as propriedades mecânicas de tubos de concreto, principalmente em relação à carga pós-fissuração no ensaio de compressão diametral. Os tubos de concreto com 3 e 5% de aditivo apresentaram comportamento similar ao longo do ensaio, com valores de carga maiores em relação ao tubo sem aditivo, sobretudo em relação à carga de trinca.

Em relação aos resultados de ensaio de absorção de água e índice de vazios, observa-se que os concretos com aditivo apresentaram menor absorção de água e índice de vazios em relação ao concreto sem aditivo.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **ABNT NBR 8890**: Tubo de concreto de seção circular para água pluvial e esgoto sanitário - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.



ESCARIZ, R. C. **Análise comparativa de desempenho mecânico de tubos de concreto reforçados com macrofibras poliméricas e fibras de aço.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

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.

QUARCIONI, V. A. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland: estudo em pasta.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

RUBIO, C. F. **Desarrollo de materiales con retracción compensada a partir del óxido de calcio (CaO).** 2017. Tese (Doutorado). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **24° Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2018.** Brasília: SNIS/DMF, 2019.