

Efeito da adição de fibras e aditivo compensador de retração nas variações dimensionais do concreto em idades iniciais



Henrique Zin da Silva



Daniela Aparecida Dutra de Lima



Renan Pícolo Salvador



Ramoel Serafini



Dimas Alan Strauss Rambo



Cleber Souza Amaral

1. Introdução

O concreto é o material de construção mais consumido no Brasil e no mundo (Quatroque; Simões; Job, 2023). Tal cenário decorre da facilidade de moldá-lo em formas diversas, de ser possível controlar sua resistência, de possuir relativa alta durabilidade e custo baixo (Zhang et al., 2023). Entretanto, sua reduzida resistência à tração e suscetibilidade à fissuração podem comprometer a vida útil das estruturas, resultando em elevados custos de manutenção (Horta; De Paula; Calixto, 2022).

Em suas diversas aplicações, o concreto manifesta variações dimensionais quando exposto a gradientes de temperatura e umidade, mesmo na ausência de carga externa (Neville, 2016). Dentre tais variações, a retração destaca-se como uma das principais causas de manifestações patológicas em estruturas de concreto, resultando em empenamento, formação de fissuras e descolamentos (Tittarelli; Giosuè; Monosi, 2017; Wen et al., 2023). Neste contexto, o controle da retração é indispensável para mitigar manifestações patológicas, primordialmente em elementos estruturais com grande área de exposição superficial, como pisos industriais (Sharifi et al., 2019; Trujillo; Guerrero, 2019). Atualmente, os efeitos da retração nestes elementos são considerados de forma direta e simples mediante a determinação do espaçamento entre as

juntas. Tais diretrizes fundamentam-se em recomendações técnicas e normativas que visam a compatibilidade entre a abertura das juntas e exigências operacionais (ACI, 2010; Ikumi et al., 2023).

Visto que a maioria das intervenções de manutenção em pisos industriais está associada à degradação das juntas, a redução da densidade de juntas torna-se uma estratégia tecnicamente favorável à preservação deste elemento estrutural. Em contrapartida, aumentar a distância entre juntas implica em aumentar suas aberturas, deixando-as mais suscetíveis ao esborcinamento de borda (Rodrigues, 2019; TR 34, 2016). Assim, uma solução de alto desempenho advém da redução do número de juntas concomitante à mitigação de aberturas excessivas. Neste contexto, o uso dos aditivos compensadores de retração (CR) vem crescendo na indústria.

Atualmente, no Brasil, as medições de variações dimensionais no concreto podem ser realizadas segundo a NBR 16834 (ABNT, 2020a). O procedimento descrito nesta norma prevê que a desmoldagem e as primeiras medições devem ser realizadas (12 ± 3) horas a partir da adição de água ao cimento. Complementarmente, indica que caso não seja possível desmoldar dentro deste critério o período limite a ser considerado é de 20 horas. Desse modo, a metodologia prevista nesta norma apresenta restrições quanto à análise do comportamento dos CR, pois impossibilita a mensuração de sua atividade logo após a moldagem

Paralelamente, observa-se a tendência de substituição das armaduras convencionais por reforço fibroso, uma vez que tal solução confere aos pisos industriais um controle mais eficaz da fissuração em idades iniciais, além de proverem reforço estrutural e pseudo-ductilidade no estado endurecido (Almeida; Parsekian; Carnio, 2022). Além disso, há uma carência de trabalhos que abordem o comportamento conjunto das fibras com os CR. Deste modo, este trabalho visa investigar o comportamento no estado fresco e as variações dimensionais, desde o instante da moldagem, de concretos simples e concretos reforçados com fibras (CRF) em função da presença ou ausência de aditivo compensador de retração (CR).

2. Metodologia

2.1 Materiais utilizados, dosagem e preparo das matrizes cimentícias

Os materiais e a dosagem empregados no estudo estão descritos na Tabela 1. A dosagem do concreto produzido foi baseada em composições empregadas em pisos industriais de forma a atingir resistência característica mínima à compressão de 30 MPa aos 28 dias. O aditivo CR utilizado, a base de óxido de cálcio supercalcinado, foi o DRY D1 NG nas dosagens de 6 kg/m^3 e 10 kg/m^3 . A fibra polimérica estrutural utilizada foi a Macroforte Nervurada nas dosagens de 4 kg/m^3 e 5 kg/m^3 . Também foi produzida uma matriz de referência sem a utilização do CR e das fibras. O processo de mistura consistiu em 3 passos: adição de todos os materiais secos e mistura por 1 minuto; adição da água e mistura por 1 minuto; adição dos dispersantes, das fibras (no caso do CRF) e mistura por 5 minutos.

Tabela 1 – Materiais selecionados para o programa experimental.

Material	Marca	Descrição / tipo	Dosagem (kg/m ³)
Cimento	Nacional	CP VARI RS	355
Agregado miúdo	Pedrasil	Areia natural, 0,075 - 4,75 mm	562
Agregado miúdo	Pedrasil	Pó de pedra	241
Agregado graúdo	Pedrasil	Pedrisco, 4,75 - 9,5 mm	213
Agregado graúdo	Pedrasil	Brita 1, 9,5 - 19,5 mm	853
Água	Rede pública de abastecimento	-	185
Aditivo dispersante	Chryso	Superplastificante, ADVA CAST 525	2,48
Aditivo dispersante	Chryso	Superplastificante, CLARENA CN1	0,71
Macrofibra sintética estrutural	Nova Infra Fibras	Macroforte Nervurada	0 ; 4 ; 5
Aditivo compensador de retração	Chimica Edile do Brasil	DRY D1 NG	0 ; 6 ; 10

2.2 Amostragem, moldagem dos corpos de prova e ensaios realizados

Sete traços foram produzidos neste estudo e suas composições são apresentadas na Tabela 2. A nomenclatura adotada para identificação das misturas segue o formato “XF + YD”, sendo X a dosagem de fibras em kg/m³ e Y a dosagem de CR em kg/m³. A mistura de referência (REF) foi produzida sem reforço fibroso e sem adição de CR.

Tabela 2 – Dosagem das fibras e CR para as matrizes cimentícias analisadas.

Concreto	Dosagem de fibra (kg/m ³)	Dosagem de CR (kg/m ³)
REF	0,0	0,0
4F + 0D	4,0	0,0
5F + 0D	5,0	0,0
4F + 6D	4,0	6,0
0F + 10D	0,0	10,0
4F + 10D	4,0	10,0
5F + 10D	5,0	10,0

Após as misturas, as propriedades do concreto no estado fresco foram caracterizadas. O abatimento foi determinado pelo cone de Abrams conforme a NBR 16889 (ABNT, 2020b) e a massa específica conforme a NBR 9833 (ABNT, 2008). Então, para cada traço, 1 corpo de prova prismático (altura: 70 mm; largura: 100 mm; profundidade: 1005 mm) foi moldado em camada única e consolidado em mesa vibratória por 30 s. Para a avaliação das variações dimensionais do concreto em idades iniciais, foi empregado o método da canaleta, desenvolvido por Dimas A. S. Rambo e Renan P. Salvador no laboratório PROLAB. O equipamento encontra-se registrado sob pedido de depósito de patente nº BR2020240268135 (SALVADOR; RAMBO, 2024) e está esquematizado na Figura 1.

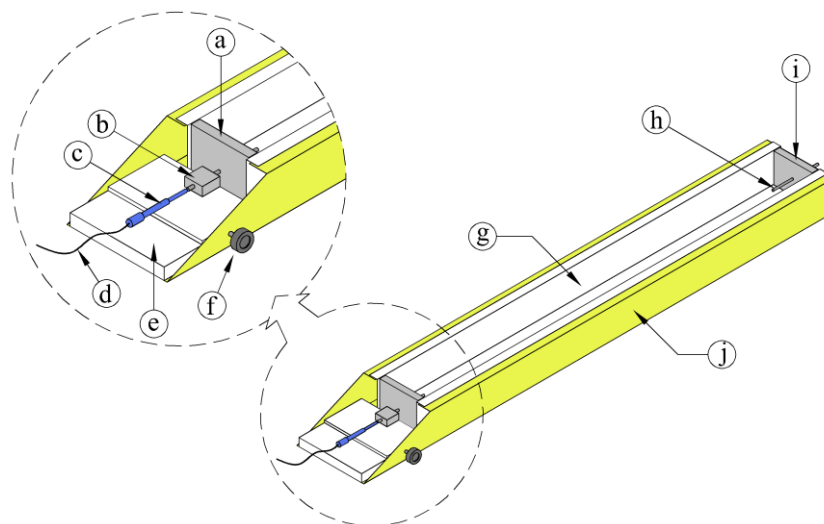


Figura 1 - Esquema tridimensional da canaleta de medição de variação dimensional em curtas idades (Salvador; Rambo, 2024).

Sendo:

- a: chapa metálica de extremidade (móvel). Nesta chapa também é fixa a barra roscada;
- b: dispositivo metálico para apoio da barra metálica da chapa “a”;
- c: transdutor de deslocamento linear (LVDT, precisão: $1,0 \times 10^{-4}$ mm);
- d: cabo de conexão do LVDT ao sistema de medição contínua;
- e: chapa de suporte do sistema de medição;
- f: dispositivo de fixação da base “e”;
- g: chapa dobrada interna que recebe o concreto;
- h: barra roscada com diâmetro de 5 mm, sendo em sua extremidade fixa uma porca e arruela;
- i: chapa metálica de extremidade (fixa);
- j: chapa dobrada externa.

O molde empregado possui dimensões internas de 100 mm de largura, 75 mm de altura e 1005 mm de comprimento. Antes da moldagem, as superfícies internas do molde foram previamente tratadas com óleo vegetal e revestidas com mantas de acetato de vinila impermeáveis, com o objetivo de reduzir o atrito entre o concreto e o molde, assegurando a livre movimentação do material e minimizando restrições externas durante o processo de variação dimensional. Na extremidade oposta do sistema, foi aplicada graxa ao redor da chapa móvel “a”, com a finalidade de garantir seu livre deslocamento ao longo do ensaio. O sistema de aquisição de dados foi previamente configurado para iniciar automaticamente a coleta de dados de variação dimensional após a liberação da extremidade móvel.

Após a moldagem, a superfície das canaletas foi rasada e imediatamente protegida com filme plástico, a fim de minimizar perdas de água para o ambiente. Em seguida, o LVDT foi fixado ao sistema e a aquisição dos dados foi iniciada automaticamente, com frequência de aquisição de dados de 1 Hz (um ponto por segundo). A Figura 2 indica a bancada de ensaio experimental com as canaletas associadas ao sistema PMX.

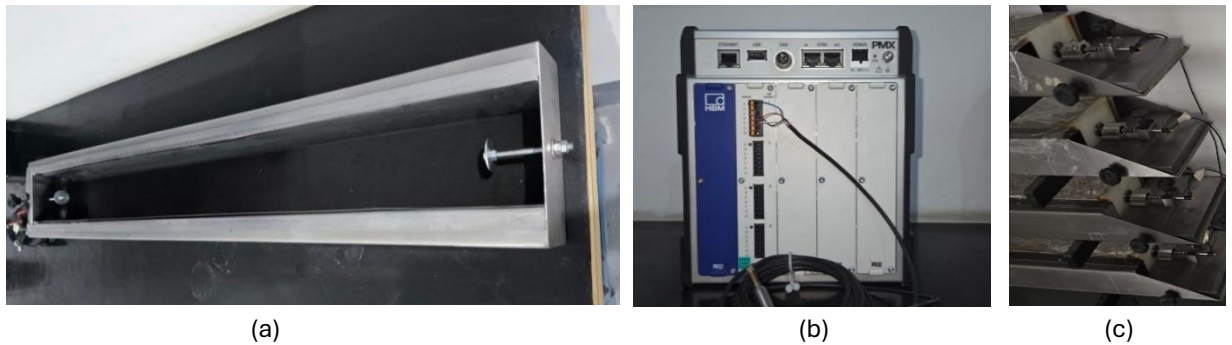


Figura 1 - Aparato utilizado para realização do ensaio de variação dimensional:

(a) Canaletas em aço inox; (b) sistema de aquisição de dados; (c) LVDT instalado na extremidade livre da canaleta.

As medições das variações dimensionais foram realizadas de forma contínua e ininterrupta até a idade de 7 dias. Durante todo o período de monitoramento, as canaletas foram mantidas sob condições ambientais de laboratório, com temperatura aproximada de 23 °C e umidade relativa em torno de 65%. A variação de comprimento de cada leitura foi calculada pela Equação 1.

$$\text{Variação de comprimento} = \Delta l / l_0 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde Δl é a variação dimensional obtida em um dado instante expressa em micrômetros (μm) e l_0 é o comprimento total do corpo de prova expresso em metros (m).

3. Resultados e discussões

3.1 Abatimento no tronco de cone

A Tabela 2 indica os resultados obtidos de abatimento para cada concreto analisado. Observa-se que em todos os traços com fibras houve uma queda de abatimento. Isso se deve ao fato de que as fibras contribuem para uma restrição à mobilidade relativa das partículas, principalmente agregados de maiores dimensões. Além disso, fibras com maior área superficial demandam maior quantidade de água de molhagem, produzindo aumento da coesão e perda de mobilidade da mistura.

Tabela 3 – Valores de abatimento obtidos para as misturas analisadas.

Concreto	Abatimento sem fibras (mm)	Abatimento com fibras (mm)
REF	90	---
4F + 0D	215	80
5F + 0D	230	80
4F + 6D	200	90
0F + 10D	145	---
4F + 10D	220	105
5F + 10D	200	90

3.2 Massa específica

Os valores de massa específica obtidos para cada concreto analisado estão na Tabela 4. Observam-se valores próximos entre os concretos, sem alterações expressivas entre o concreto referência, os com fibras e compensador de retração, evidenciando que não houve alterações significativas no volume de vazios pela incorporação das fibras e do compensador de retração.

Tabela 4 – Valores de massa específica obtidos para as misturas analisadas.

Traço	Massa específica (kg/m ³)
REF	2.315
4F + 0D	2.315
5F + 0D	2.322
4F + 6D	2.332
0F + 10D	2.332
4F + 10D	2.322
5F + 10D	2.315

3.3 Variações dimensionais

Os valores das variações dimensionais (em $\mu\text{m}/\text{m}$) obtidas ao longo dos 7 primeiros dias de idade de cada amostra estão indicados na Figura 3. Na Tabela 5, estão apresentados os valores de variação dimensional obtidos para cada traço analisado ao longo dos primeiros 7 dias. Os valores positivos representam expansão e os negativos retração. Na última coluna da Tabela 5, encontra-se uma comparação entre cada traço e a referência, indicando o decréscimo de retração atingido aos 7 dias.

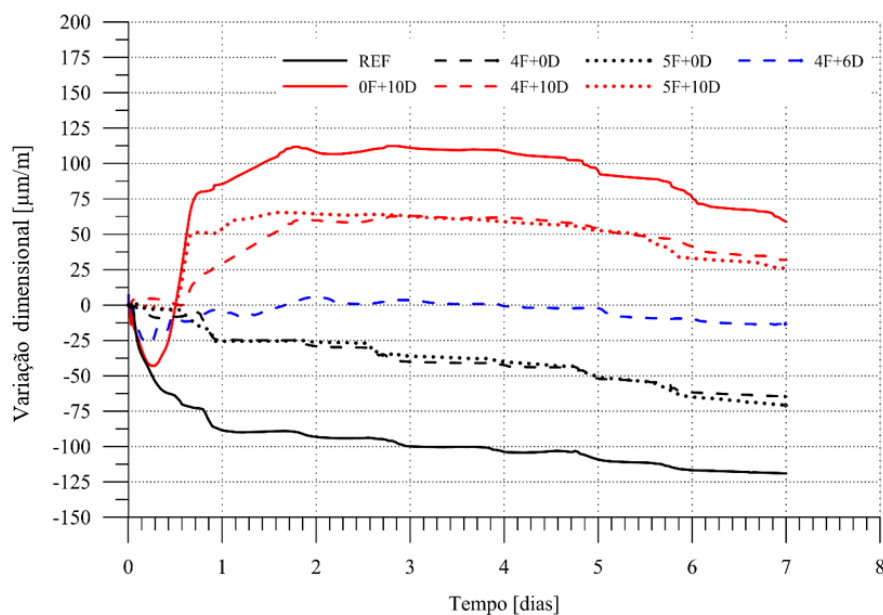


Figura 3 – Variações dimensionais das matrizes produzidas até a idade de 7 dias.

Tabela 4 – Valores de variação dimensional das matrizes produzidas, até a idade de 7 dias.

Concreto	Valor máximo (µm/m)	Valor mínimo (µm/m)	Valor aos 7 dias (µm/m)	Variação em relação à REF (%)
REF	+ 0,2	- 119,0	- 119,0	-----
4F + 0D	+ 0,8	- 64,7	- 64,7	- 46
5F + 0D	+ 1,2	- 70,8	- 70,8	- 40
4F + 6D	+ 8,7	- 27,7	- 13,5	- 89
0F + 10D	+ 112,5	- 43,0	+ 58,9	- 150
4F + 10D	+ 63,0	- 0,7	+ 31,8	- 127
5F + 10D	+ 65,5	- 3,8	+ 25,7	- 122

Observa-se na Figura 3 e na Tabela 5 que o maior valor de retração ao final de 7 dias foi observado no traço de referência (REF), isento de fibras e aditivo compensador de retração. Esse concreto atingiu uma retração total de 119 µm/m, configurando-se como a mistura mais suscetível à variação dimensional dentre as avaliadas. Em contraste, os traços contendo reforço fibroso apresentaram valores inferiores de retração aos 7 dias. A redução da retração constatada nos concretos reforçados com fibras pode ser atribuída à restrição interna imposta pelas fibras, que limita a mobilidade da matriz cimentícia durante o processo de retração. Observa-se que o traço 0F + 10D foi o que apresentou maior expansão até os 2 dias de idade e, conseqüentemente, a menor retração. Já os traços com CR e com fibras também apresentaram expansão, permanecendo com variação dimensional praticamente sem alterações depois dos 2 dias.

Na Figura 4, são apresentados os resultados de variação dimensional das misturas com aditivo compensador de retração (CR), nos quais as variações do corpo de prova do traço de referência foram subtraídas. Esse procedimento foi adotado de modo a isolar o efeito expansivo promovido pelo aditivo e o efeito de restrição às deformações proporcionado pelas fibras. A partir das curvas obtidas, constata-se que a incorporação de fibras resultou

em uma redução da expansão associada ao CR quando comparada aos traços sem fibras. Esse comportamento pode ser atribuído à menor mobilidade da matriz cimentícia decorrente da presença das fibras, que impõe restrições internas ao desenvolvimento das deformações concreto.

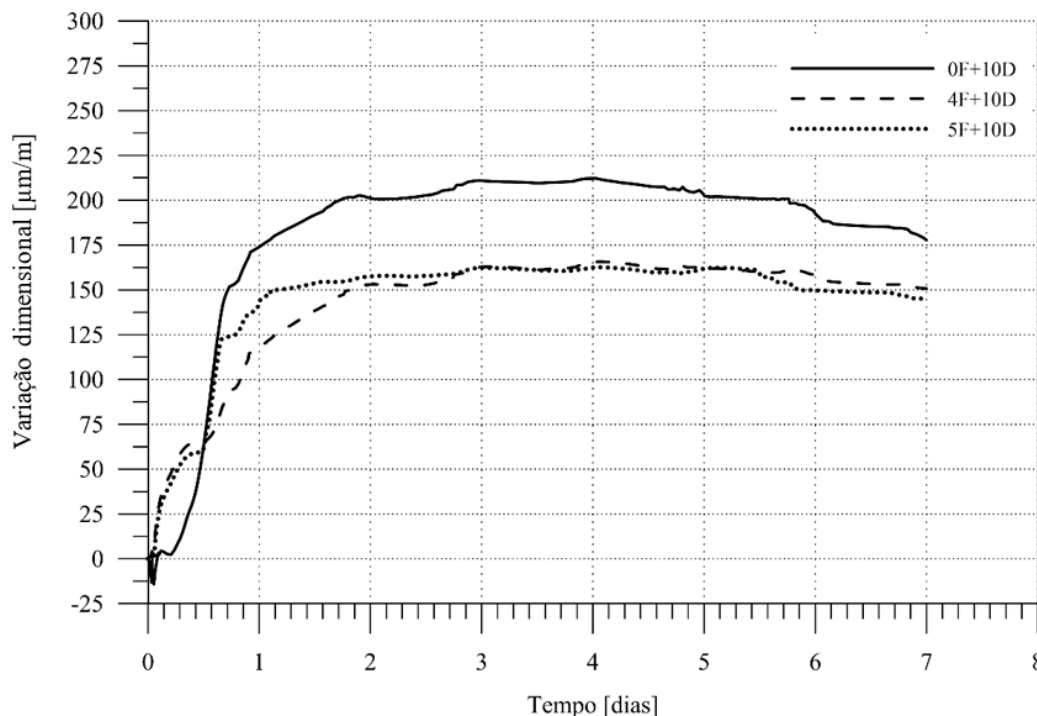


Figura 4 – Efeito expansivo do aditivo compensador de retração após subtração das variações dimensionais do traço de referência (Próprio autor).

A amostra sem adição de fibras se mostrou mais susceptível ao efeito do CR, alcançando um patamar de expansão de 212,4 $\mu\text{m}/\text{m}$. As amostras com 4 kg/m^3 e 5 kg/m^3 de fibras atingiram uma expansão máxima de 165,8 $\mu\text{m}/\text{m}$ e 162,8 $\mu\text{m}/\text{m}$ respectivamente, representando uma redução de 23% em relação à amostra sem fibras. Em todas as amostras o pico de expansão ocorreu aproximadamente 96 horas após a adição da água no concreto, na idade de 4 dias. Percebe-se, ainda, que o maior efeito expansivo ocorreu dentro das primeiras 24 horas, conforme identificado também no estudo de Ikumi et al. (2023).

4. Conclusões

O estudo apresentado possui impacto técnico e prático significativo para a para a construção civil, ao demonstrar, de forma experimental e com monitoramento contínuo desde a moldagem no equipamento desenvolvido, a efetividade do aditivo compensador de retração no controle das variações dimensionais do concreto em idades iniciais.

Os resultados obtidos evidenciam claramente que o uso do aditivo compensador de retração pode reduzir drasticamente a retração, chegando não apenas a mitigá-la, mas também a

compensá-la integralmente quando utilizado em dosagens adequadas. No caso do concreto simples com 10 kg/m^3 de CR, observou-se uma expansão até os 2 dias, que superou a retração observada no concreto de referência, resultando em uma redução de até 150% da retração em relação à mistura sem aditivos.

Esse comportamento é particularmente relevante porque a retração em idades iniciais é uma das principais responsáveis pela fissuração precoce do concreto, sobretudo em elementos com elevada área superficial, como pisos industriais, lajes e pavimentos de concreto. A fissuração decorrente da retração compromete a durabilidade, o desempenho funcional e aumenta significativamente os custos de manutenção ao longo da vida útil da estrutura.

Os resultados também indicam que a incorporação de fibras pode reduzir a variação dimensional do concreto em comparação à mistura de referência. Tal comportamento está associado à restrição interna imposta pelas fibras à mobilidade da matriz cimentícia. No entanto, observa-se que esse efeito é secundário quando comparado à atuação do aditivo compensador de retração. Enquanto as fibras proporcionam reduções baixas da retração, o uso do aditivo mostrou-se o principal responsável pela mitigação e, em alguns casos, pela compensação integral da retração, evidenciando que o mecanismo dominante de controle das variações dimensionais é governado pelo aditivo, sendo as fibras um complemento que contribui para o comportamento global do compósito, especialmente no controle da fissuração.

4. Referências

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9833:2008 - Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738:2015 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16834:2020 - Concreto - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020a.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889:2020 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020b.

ACI, AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 360R-10: Guide do Design of Slabs-on-Ground**. Reported by ACI Committee 360, , 2010.

ALMEIDA, Ricardo L. J. De; PARSEKIAN, Guilherme; CARNIO, Marco Antonio. Concreto reforçado com fibras: projeto de fibras no ELU. **CONCRETO & Construções**, v. XLIX, n. 105, p. 90–97, 2022.

HORTA, Ricardo Augusto Dos Santos; DE PAULA, Júnia Nunes; CALIXTO, José Márcio Fonseca. Avaliação das propriedades mecânicas na fratura de pastas de cimento com adição de óxido de grafeno. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 27, n. 3, p. e20220142, 2022.

IKUMI, T. *et al.* Design-oriented method for concrete pavements with volumetric stability admixtures: An integrated experimental and analytical approach. **Case Studies in Construction Materials**, v. 19, p. e02583, dez. 2023.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
QUATROQUE, Vitor Hugo Santana da Silva; SIMÕES, Rebeca Delatore; JOB, Aldo Eloizo. Concreto no Brasil: Breve história, desafios atuais e propostas para um futuro sustentável. v. 19, n. 4, 2023.

RODRIGUES, Públio Pena Firme. **Pisos industriais com concreto de retração compensada**. São Paulo: J.J. Carol Editora, 2019.

SALVADOR, R.P.; RAMBO, D.A.S. **Sistema para medição de variação dimensional de concreto em idades iniciais**. Número do registro: BR2020240268135. INPI, 2024.

SHARIFI, Naser P. *et al.* A review on the best practices in concrete pavement design and materials in wet-freeze climates similar to Michigan. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, v. 6, n. 3, p. 245–255, jun. 2019.

TITTARELLI, Francesca; GIOSUÈ, Chiara; MONOSI, Saveria. Combined Use of Shrinkage Reducing Admixture and CaO in Cement Based Materials. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 245, p. 022093, out. 2017.

TR 34. **TR 34: Concrete Industrial Ground Floors**. Fourth edition [with revisions] ed. Blackwater, Camberley, Surrey: The Concrete Society, 2016.

TRUJILLO, P. B.; GUERRERO, M. A. S. Effect of temperature gradients on the behaviour of jointed plain concrete pavements. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 12, n. 2, p. 398–407, abr. 2019.

WEN, Chuyuan *et al.* Relationship between internal relative humidity and autogenous shrinkage of early-age concrete containing prewetted lightweight aggregates. **Structural Concrete**, v. 24, n. 3, p. 4110–4125, jun. 2023.

ZHANG, Peng *et al.* A review on fracture properties of steel fiber reinforced concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 67, p. 105975, 15 maio 2023.

O conteúdo desse artigo reflete a opinião dos autores.

Por Henrique Zin da Silva (1); Daniela Aparecida Dutra de Lima (2); Renan Pícolo Salvador (3,4); Ramoel Serafini (3); Dimas Alan Strauss Rambo (3,4); Cleber Souza Amaral (2,4)

(1) Estudante de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade São Judas Tadeu

(2) Mestre em Engenharia Civil, Universidade São Judas Tadeu

(3) Professor Doutor, Universidade São Judas Tadeu

(4) Prolab Engenharia de Construção