

**USO DE MACROFIBRAS SINTÉTICAS EM PISOS INDUSTRIAIS: DESEMPENHO
ESTRUTURAL, EXECUÇÃO E VIABILIDADE TÉCNICA**

**SYNTHETIC MACRO-FIBER REINFORCED INDUSTRIAL FLOORING: STRUCTURAL
PERFORMANCE, EXECUTION, AND TECHNICAL VIABILITY**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.033-006>

João Paulo de Almeida Figueiredo

Mestrado profissional em andamento em Materiais-RJ
Centro Universitário de Volta Redonda, UniFOA, Brasil.

E-mail: eng.jpaf@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0822793648407303>

Diego Sebastian Carvalho de Souza

Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental, PUC-RJ
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

E-mail: dscs.gp@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-3440-8302>

Thiago Sebastian Carvalho de Souza

Graduado em Administração, Universidade Veiga de Almeida
Universidade Federal Fluminense

E-mail: tsebastian@id.uff.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4825-227X>

Danielle Marçal Vilameá de Souza

Graduado em Arquitetura, Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

E-mail: danielle.marcal.souza@uerj.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-4288-760X>

RESUMO

Este estudo avalia o desempenho de pisos de concreto reforçados com macrofibra sintética, considerando aspectos mecânicos, microestruturais e de compatibilidade físico-química. Foram produzidos concretos com resistências características de 25 MPa e 40 MPa, incorporando macrofibra sintética nos teores de 0,0; 2,25; 4,0 e 6,25 kg·m⁻³. A resistência à compressão axial foi determinada aos 7 e 28 dias, sendo observados, aos 7 dias, incrementos de resistência no concreto de 25 MPa com o aumento do teor de macrofibra, alcançando valores médios próximos a 19 MPa. Aos 28 dias, os concretos mantiveram resistências médias entre 25,4 e 27,3 MPa para o Fck 25 MPa e entre 35,3 e 36,7 MPa para o Fck 40 MPa, indicando que a incorporação da macrofibra não compromete o desempenho mecânico do piso. A análise do coeficiente de variação revelou aumento da dispersão dos resultados em teores elevados de macrofibra, associado à dificuldade de homogeneização. As análises por microscopia eletrônica de varredura evidenciaram melhor

distribuição da macrofibra nas dosagens intermediárias, enquanto teores mais altos apresentaram indícios de segregação. As análises por difração de raios X e o ensaio de expansibilidade não indicaram alterações mineralógicas ou expansões acima dos limites normativos. Conclui-se que a macrofibra sintética é tecnicamente viável para aplicação em pisos de concreto, desde que empregada em dosagens controladas.

Palavras-chave: Pavimentos de concreto; Concreto reforçado com fibras; Microestrutura do concreto.

ABSTRACT

This study evaluates the performance of concrete floors reinforced with synthetic macrofibers, considering mechanical, microstructural, and physicochemical compatibility aspects. Concretes with characteristic strengths F_{ck} of 25 MPa and 40 MPa were produced, incorporating synthetic macrofibers at dosages of 0.0, 2.25, 4.0, and 6.25 kg/m³. Axial compressive strength was determined at 7 and 28 days. At 7 days, resistance increments were observed in the 25 MPa concrete as macrofiber content increased, reaching average values near 19 MPa. At 28 days, average strengths remained between 25.4–27.3 MPa for F_{ck} 25 and 35.3–36.7 MPa for F_{ck} 40, indicating that macrofiber incorporation does not compromise the floor's mechanical performance. Coefficient of variation analysis revealed increased result dispersion at high dosages due to homogenization difficulties. Scanning Electron Microscopy (SEM) evidenced better fiber distribution at intermediate dosages, while higher contents showed signs of segregation. X-ray Diffraction (XRD) and expansibility tests indicated no mineralogical changes or expansions exceeding normative limits. It is concluded that synthetic macrofibers are technically viable for concrete floors when used in controlled dosages.

Keywords: Concrete floors; Fiber-reinforced concrete; Concrete microstructure.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação prática do concreto reforçado com macrofibra sintética em pisos industriais, analisando desempenho mecânico, trabalhabilidade, execução e potencial de substituição parcial das armaduras convencionais.

Os dados experimentais utilizados neste capítulo são provenientes da dissertação de mestrado de João Paulo de Almeida Figueiredo (2022), sendo reapresentados com autorização e participação do próprio autor, que integra o conjunto de autores desta obra.

No Brasil, por volta de 1980 surgiram as primeiras empresas especializadas na produção de pisos industriais que adotavam novos processos executivos e equipamentos modernos e específicos para a atividade. A produção de pisos industriais no mercado brasileiro vem crescendo em grande proporção,

apresentando bons resultados tanto do ponto de vista econômico como da sustentabilidade pela utilização de menor quantidade de insumos para a obtenção de resultados satisfatório.

Devido à heterogeneidade da matriz cementícia, as estruturas de concreto tendem a manifestar fissuras de forma inevitável. Entretanto, conforme aponta Santos (2020), essa condição pode evoluir para patologias graves caso a abertura das fissuras facilite a entrada de agentes agressivos, colocando em risco a vida útil e a estabilidade da edificação diante das condições de exposição.

Segundo Wendland (2022) a concepção de pisos industriais impõe desafios singulares à engenharia de estruturas devido à sua geometria desfavorável, caracterizada por uma elevada relação entre a área superficial e a reduzida espessura da placa. Essa configuração torna o elemento extremamente suscetível a tensões de tração e variações térmicas, o que justifica a necessidade de estudos rigorosos para evitar a ocorrência de manifestações patológicas severas.

No cenário das principais incidências patológicas que comprometem essas superfícies, destaca-se o surgimento de fissuras por retração plástica e secagem, que atuam como portas de entrada para agentes agressivos. Somam-se a isso a baixa resistência à abrasão e o desgaste superficial contínuo, decorrentes do tráfego intenso de empilhadeiras e maquinários pesados.

Um ponto crítico reside no fraturamento do concreto junto às bordas e juntas de dilatação. Nestas regiões, a concentração de tensões é maior, e a ausência de um reforço adequado resulta em esborcinamento, o que prejudica severamente não apenas o valor estético, mas, sobretudo, a funcionalidade operacional. A integridade do piso é vital para a segurança logística; portanto, a introdução de macrofibras sintéticas surge como uma solução estratégica para aumentar a tenacidade do material e garantir o controle efetivo da fissuração desde as primeiras idades do concreto.

Conforme preconizado por Figueiredo (2011), a incorporação de fibras ao concreto atua diretamente na integridade da matriz cementícia, promovendo uma durabilidade superior frente a agentes degradantes. Ao controlar a abertura de fissuras e permitir uma distribuição de cargas mais homogênea, o reforço fibroso minimiza falhas patológicas recorrentes. Daí a necessidade de estudar a aplicação da macrofibra no concreto e melhor sua capacidade de resposta ao desafio de manter a qualidade dos pisos industriais.

2 METODOLOGIA

A escolha pelo reforço com macrofibras sintéticas nesta metodologia fundamenta-se nas vantagens técnicas observadas em aplicações de pisos industriais. Conforme apontam Costa (2015) e Rodrigues e Montardo (2002), estas fibras desempenham papel análogo ao da malha soldada, garantindo a integridade da matriz de concreto mesmo após episódios de fissuração intensa.

Sob a ótica executiva, o uso de fibras mitiga erros críticos de canteiro, como o posicionamento incorreto da armadura por ausência de espaçadores ou o amassamento do aço devido ao tráfego de operários. Por estarem distribuídas homogeneamente em toda a seção da laje, as macrofibras minimizam a probabilidade de falhas localizadas.

Complementarmente, Pedroso (2025) enfatiza que a adição de fibras é uma estratégia eficaz para o controle patológico, uma vez que altera propriedades fundamentais da matriz, tais como trabalhabilidade, tenacidade, resistência aos diversos esforços (compressão, tração e impacto) e, primordialmente, a inibição da propagação de fissuras.

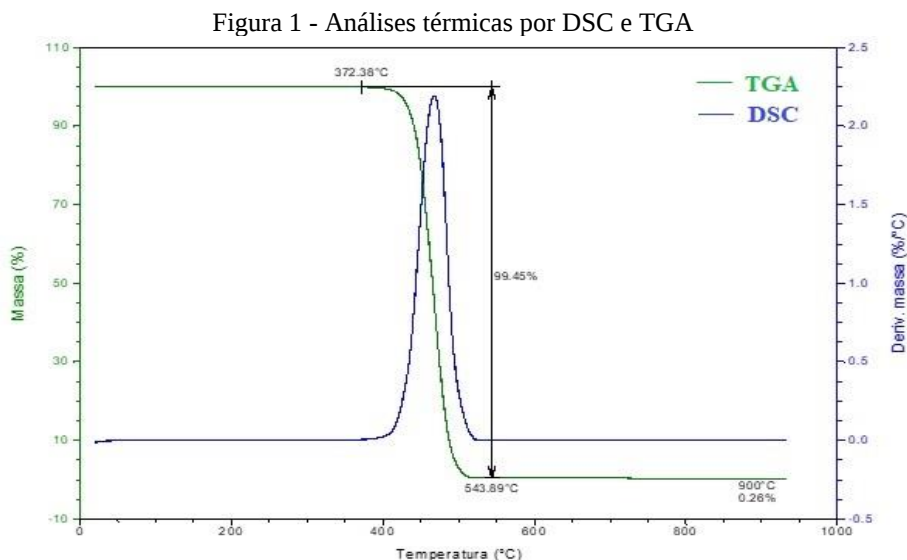
O estudo foi desenvolvido a partir da caracterização da macrofibra sintética e da avaliação do desempenho mecânico e microestrutural de concretos com diferentes teores de incorporação da fibra, visando sua aplicação em pisos de concreto. Inicialmente, a macrofibra sintética foi caracterizada por análises térmicas de calorimetria exploratória diferencial (DSC) e análise termogravimétrica (TGA), realizadas em atmosfera de nitrogênio, com taxa de aquecimento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ e faixa de temperatura entre $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $950\text{ }^{\circ}\text{C}$, com o objetivo de avaliar sua estabilidade térmica. A morfologia da macrofibra foi investigada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), com ampliações de $200\times$.

Para a caracterização do compósito, foram produzidos concretos com resistências características de 25 MPa e 40 MPa, incorporando macrofibra sintética nos teores de 0,0; 2,25; 4,0 e 6,25 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. A consistência dos concretos no estado fresco foi avaliada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme a ABNT NBR 16889:2020. Corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100 mm $\times$ 200 mm foram moldados, adensados manualmente e curados por imersão em água à temperatura controlada, sendo ensaiados à compressão axial aos 7 e 28 dias, conforme a ABNT NBR 5739.

Após os ensaios de compressão axial, realizados em 80 corpos de prova cilíndricos moldados para oito traços distintos, foram selecionados fragmentos de um corpo de prova rompido aos 28 dias de cada traço, totalizando oito corpos de prova analisados, para as análises microestruturais e mineralógicas. Essas análises foram conduzidas no Laboratório da UniFOA (unidade de Três Poços) por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios X (DRX), com o objetivo de avaliar a microestrutura, a homogeneidade da matriz cimentícia e possíveis alterações mineralógicas associadas à incorporação da macrofibra sintética. Adicionalmente, a compatibilidade entre a macrofibra sintética e o cimento Portland foi verificada por meio do ensaio de expansibilidade pelo método de Le Chatelier, conforme a ABNT NBR 11582, utilizando amostras do cimento empregado no estudo associadas à macrofibra nas mesmas proporções adotadas nos traços de concreto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

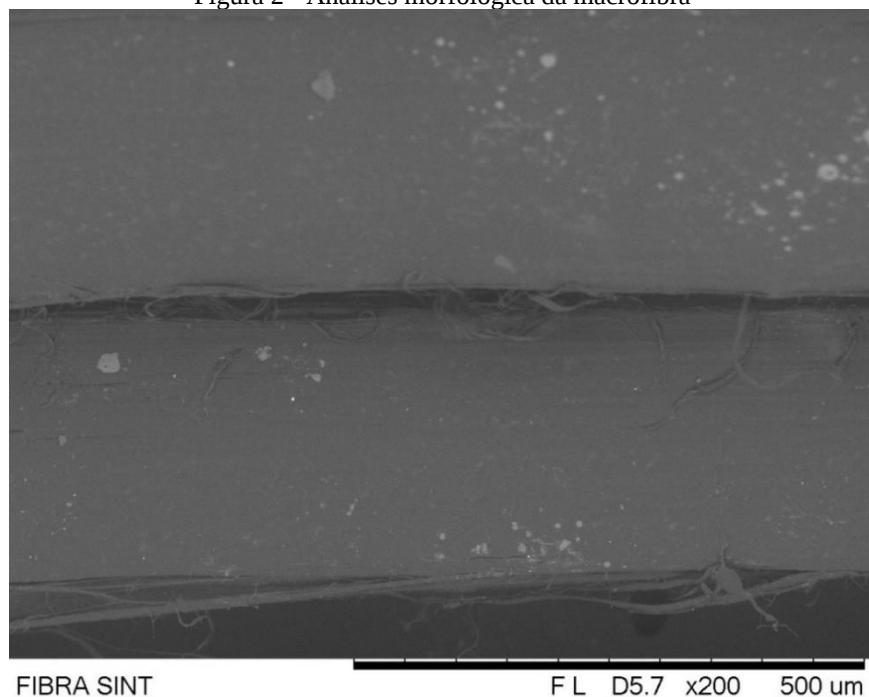
Os resultados obtidos demonstram que a macrofibra sintética apresenta comportamento compatível com sua aplicação em pisos de concreto, tanto do ponto de vista físico-químico quanto mecânico. As análises térmicas por DSC e TGA evidenciaram que a macrofibra possui elevada estabilidade térmica, mantendo-se íntegra até temperaturas superiores a 300 °C, com ocorrência de um único evento de degradação, conforme observado na Figura 1.



Fonte: Dados experimentais obtidos em Figueiredo (2022)

Esse comportamento confirma que a fibra não sofre alterações durante os processos de mistura, lançamento e cura do concreto, condições típicas da execução de pisos. A análise morfológica da macrofibra, apresentada na Figura 2, revelou superfície contínua e geometria regular, características que favorecem a interação física com a matriz cimentícia e contribuem para o controle da abertura de fissuras, aspecto fundamental em pisos sujeitos a retração e variações térmicas.

Figura 2 - Análises morfológica da macrofibra



Fonte: Dados experimentais obtidos em Figueiredo (2022)

No que se refere ao desempenho mecânico, os resultados de resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias, apresentados nas Tabelas 1 e 2, indicam que a incorporação de macrofibra sintética não compromete a resistência do concreto destinado a pisos.

Tabela 1 - Compressão axial dos CP's, Fck 25 e 40 MPa aos 7 dias

Fck (MPa)	Identificação: kg/m ³ de Macrofibra Sintética no Concreto	Média (MPa)	Coefficiente de Variação(%)
25	0,0	16,53	4,85
	2,25	17,13	4,04
	4,0	18,94	2,86
	6,25	18,96	2,60
40	0,0	20,49	7,83
	2,25	25,47	14,54
	4,0	22,10	12,65
	6,25	22,90	10,89

Fonte: Dados experimentais obtidos em Figueiredo (2022)

Tabela 2 - rompimentos dos CP's, Fck 25 e 40 MPa aos 28 dias

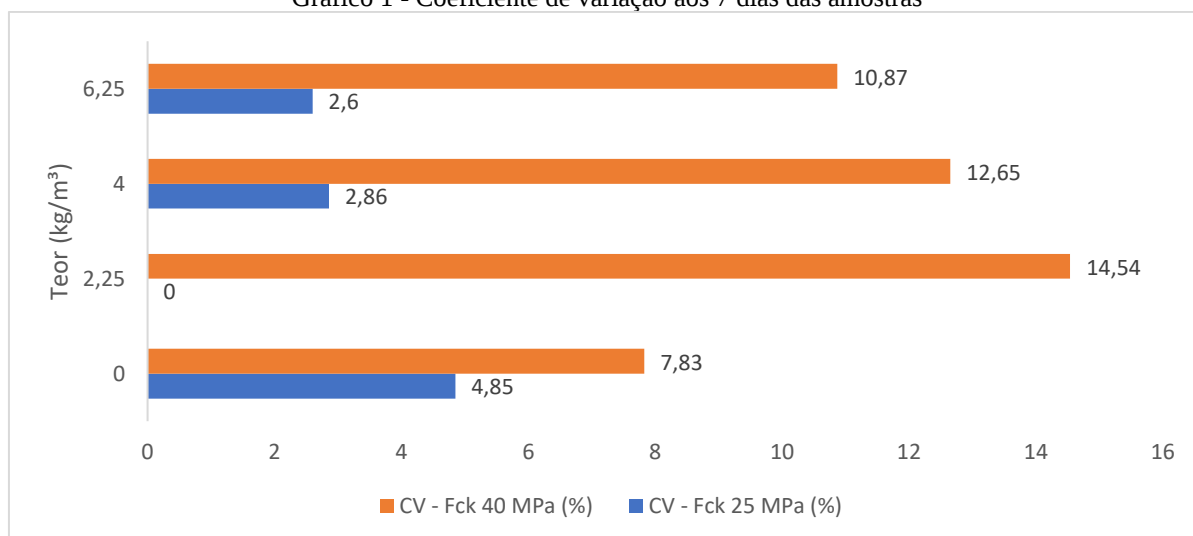
Fck (MPa)	Identificação: kg/m ³ de Marcofibra Sintética no Concreto	Média (MPa)	Coeficiente de Variação(%)
25	0,0	27,29	4,95
	2,25	26,41	5,76
	4,0	25,41	6,49
	6,25	25,56	9,72
40	0,0	35,86	2,40
	2,25	36,45	6,02
	4,0	35,31	8,93
	6,25	36,74	10,29

Fonte: Dados experimentais obtidos em Figueiredo (2022)

Para o concreto com resistência característica de 25 MPa, observou-se, aos 7 dias, tendência de incremento da resistência média com o aumento do teor de macrofibra, especialmente nas dosagens de 4,0 e 6,25 kg·m⁻³, sugerindo atuação da fibra no controle de microfissuras iniciais. Aos 28 dias, os valores de resistência permaneceram próximos ao concreto de referência, evidenciando que a presença da macrofibra não interfere negativamente na capacidade resistente final do material. Comportamento semelhante foi observado para o concreto de 40 MPa, cujos valores médios se mantiveram dentro da faixa esperada para aplicações em pisos, ainda que com variações atribuídas às condições de mistura e distribuição da fibra.

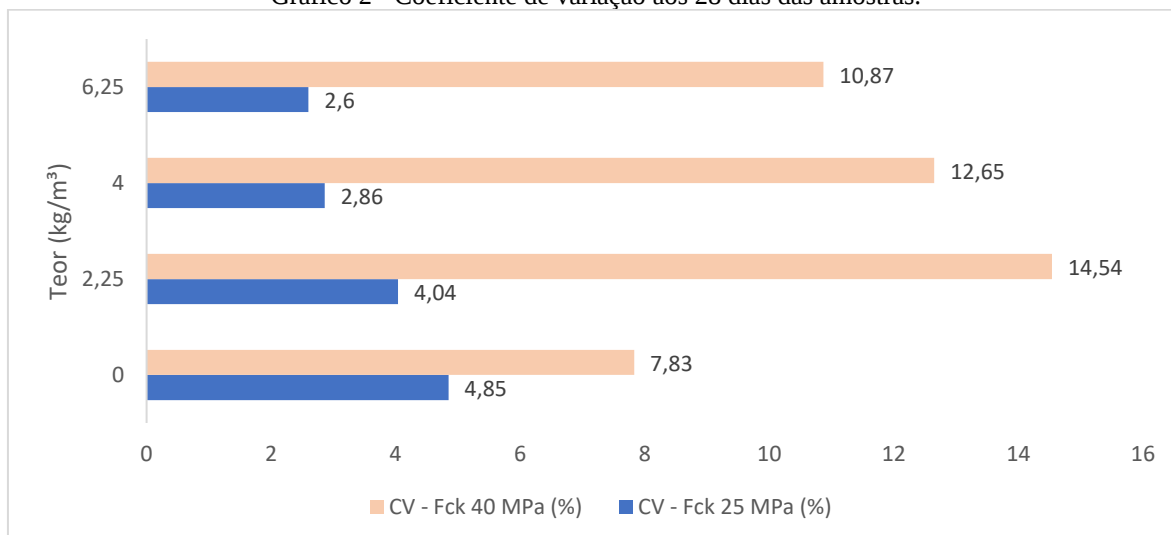
A análise do coeficiente de variação dos resultados, apresentada nos Gráficos 1 e 2, evidenciou aumento da dispersão dos valores à medida que se elevou o teor de macrofibra sintética, sobretudo nas maiores dosagens. Em pisos de concreto, essa variabilidade é um aspecto crítico, pois influencia a uniformidade do desempenho mecânico ao longo da placa.

Gráfico 1 - Coeficiente de variação aos 7 dias das amostras



Fonte: Dados experimentais obtidos em Figueiredo (2022)

Gráfico 2 - Coeficiente de variação aos 28 dias das amostras.



Fonte: Dados experimentais obtidos em Figueiredo (2022)

Os maiores coeficientes de variação observados estão associados, principalmente, à dificuldade de homogeneização da fibra quando a mistura não é realizada em caminhão betoneira, reforçando a necessidade de controle rigoroso do processo executivo para garantir desempenho uniforme do piso.

As análises microestruturais por microscopia eletrônica de varredura, realizadas em fragmentos dos corpos de prova rompidos aos 28 dias, permitiram avaliar a distribuição da macrofibra na matriz cimentícia. Conforme observado nas Figura 3 (a) (b) e (c), as dosagens de 2,25 e 4,0 kg·m⁻³ apresentaram distribuição mais homogênea da macrofibra, condição desejável para pisos de concreto, uma vez que favorece a redistribuição de tensões e o controle da fissuração.

Figura 3 – Análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV): (a) morfologia da macrofibra sintética; (b) distribuição homogênea da macrofibra na matriz cimentícia; (c) aglomeração e segregação da macrofibra em altas dosagens

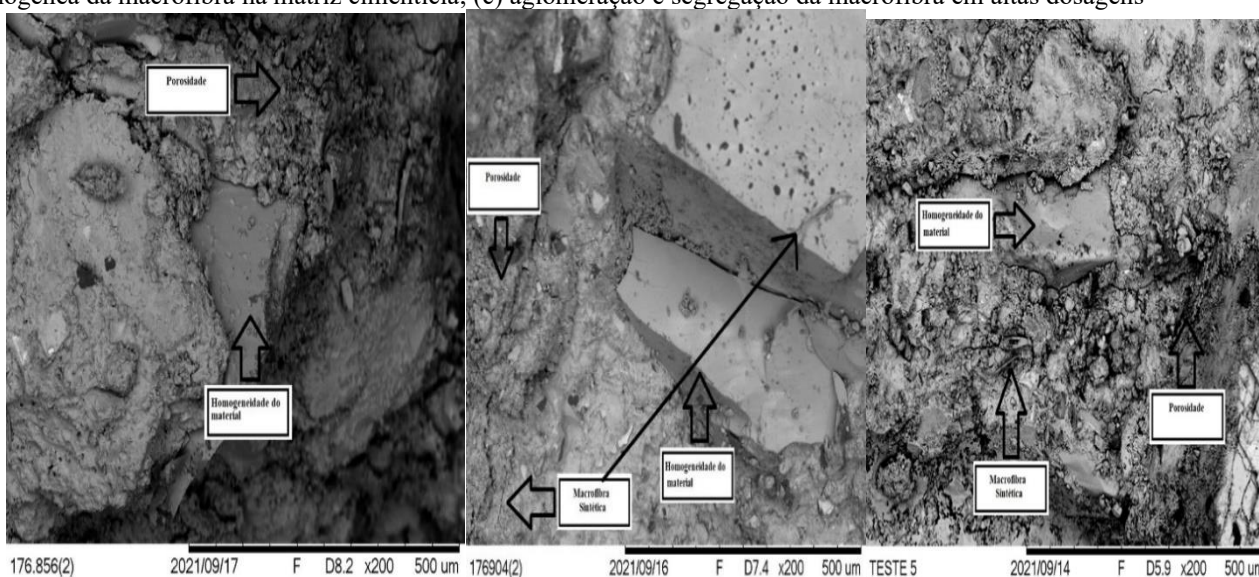


Figura (a)

Figura (b)

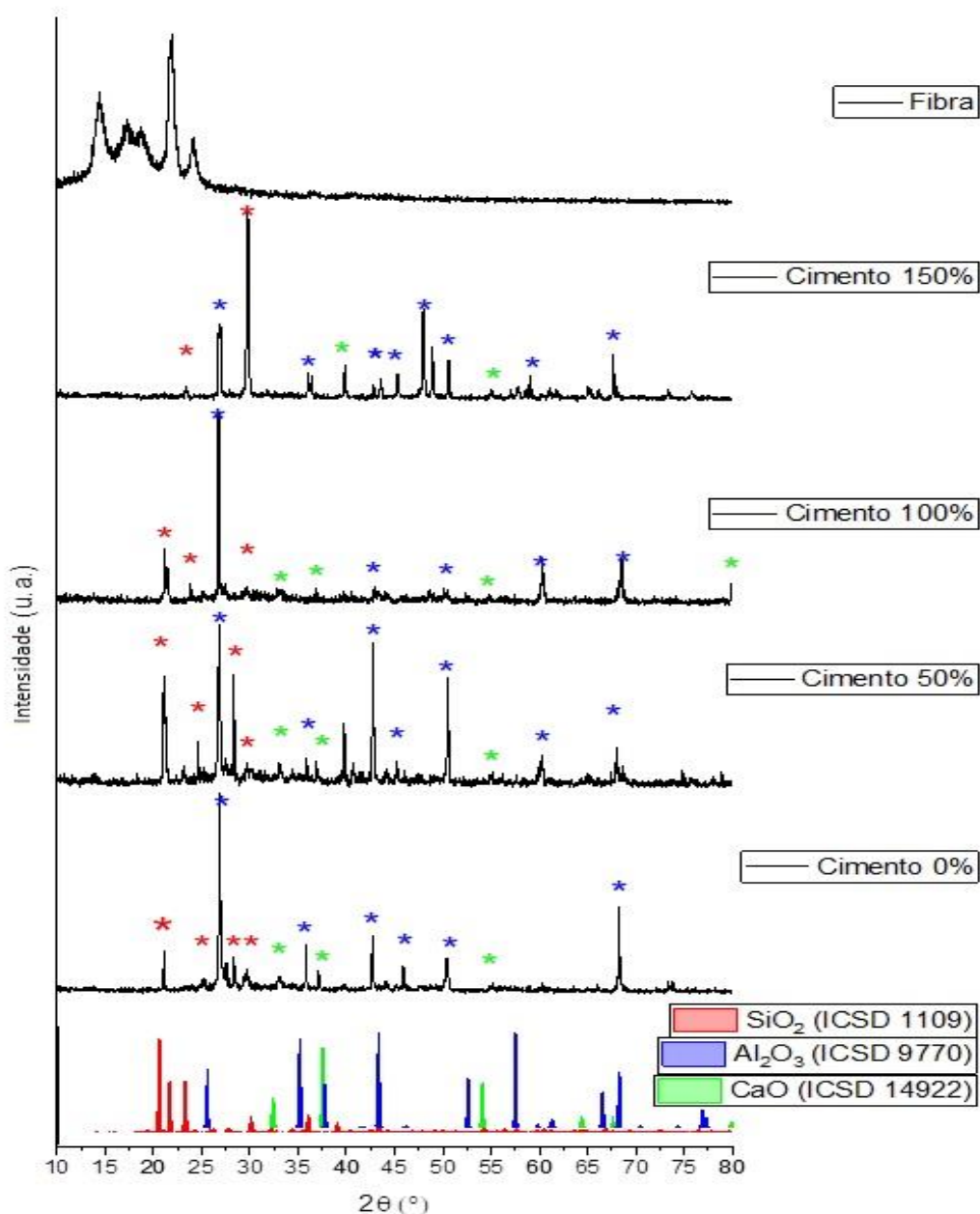
Figura (c)

Fonte: Dados experimentais obtidos em Figueiredo (2022)

Por outro lado, na dosagem de $6,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, ilustrada na Figura 3(c), foram identificados indícios de aglomeração e segregação da macrofibra, o que pode comprometer tanto o desempenho mecânico quanto o acabamento superficial do piso, especialmente em condições de execução sem mistura mecanizada adequada.

A análise por difração de raios X, apresentada na Figura 5, indicou que a incorporação da macrofibra sintética não promoveu alterações significativas na composição mineralógica do concreto, sendo identificados picos característicos de sílica, alumina e cal, comuns em matrizes cimentícias.

Figura 5 - Difratomogramas de raios X das amostras de concreto,



Fonte: Dados experimentais obtidos em Figueiredo (2022)

A ausência de mudanças relevantes nos difratogramas reforça a compatibilidade do material polimérico com o concreto. Complementarmente, o ensaio de expansibilidade pelo método de Le Chatelier, ilustrado na Figura 6, demonstrou que a presença da macrofibra, mesmo nas maiores dosagens estudadas, não resultou em expansões superiores aos limites normativos, confirmando a estabilidade físico-química do sistema cimento–macrofibra para aplicação em pisos de concreto.

Figura 6 - Ensaio de expansibilidade pelo método de Le Chatelier



Fonte: Dados experimentais obtidos em Figueiredo (2022)

4 CONCLUSÃO

A investigação sobre o emprego de macrofibras sintéticas em pisos industriais demonstra que esta tecnologia é tecnicamente viável e oferece um desempenho estrutural superior no controle da fissuração e na manutenção da integridade da matriz cementícia.

Os resultados experimentais obtidos nas amostras de Figueiredo (2011) revelaram que o comportamento do compósito é sensível tanto à classe de resistência do concreto quanto ao teor de reforço aplicado.

No que tange ao coeficiente de variação aos 7 dias, observou-se que o concreto de fck 25 MPa apresentou maior estabilidade, com redução na dispersão conforme o aumento do teor de fibra (de 4,85% para 2,60%), enquanto o concreto de fck 40 MPa exibiu oscilação acentuada, atingindo seu pico de variabilidade (14,54%) na dosagem de 2,25 kg/m³. Ao atingir a maturidade aos 28 dias, os dados indicaram uma tendência de crescimento na dispersão para ambas as classes de concreto em teores elevados, culminando em coeficientes de variação próximos a 10% para a dosagem de 6,25 kg/m³, o que evidencia a necessidade de rigor nos processos de mistura para garantir a homogeneidade da distribuição das fibras.

Este fenômeno corrobora as diretrizes de Rodrigues e Montardo (2002), que salientam a importância da distribuição das fibras em toda a espessura da laje para garantir a eficácia do reforço após a fissuração.

Sob a ótica da execução, a viabilidade técnica do sistema é ratificada pela capacidade das macrofibras de mitigarem falhas típicas de armaduras convencionais, como o posicionamento incorreto ou amassamento de telas, conforme destacado por Costa (2015), permitindo a construção de pavimentos mais esbeltos sem comprometer a durabilidade estrutural. Tais benefícios, aliados à melhoria nas propriedades de tração e tenacidade mencionadas por Cruz (2015), consolidam o uso do concreto reforçado com fibras como uma alternativa de alto desempenho. Em suma, a utilização das macrofibras atende aos requisitos de projeto e execução, validando a teoria de Figueiredo (2011) sobre o ganho de ductilidade e capacidade de redistribuição de esforços, resultando em estruturas mais otimizadas e com menor incidência de manifestações patológicas severas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15530: Fibras de aço para concreto - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

FIGUEIREDO, João Paulo de Almeida. Desenvolvimento de concreto reforçado com macrofibra sintética para aplicação em piso industrial. 2022. 72 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), Fundação Oswaldo Aranha, Volta Redonda, 2022

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. Concreto com Fibras. In: Livro Concreto: Ciência e Tecnologia. [S. l.]: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011. cap. 37, p. 36.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto reforçado com fibras: aplicabilidade, dosagem e controle. Concreto e Construção 2025.

SANTOS, L. C. D. et al. Inverse Analysis of Constitutive Models Applied to steel Fiber 302 Reinforced concrete. CILAMCE 2020. Proceedings of the XLI Ibero-Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, ABMEC., p. 16–19, 2020

WENDLAND, Matheus Henrique. POLESELLO, Eduardo. Análise da influência de macrofibras no desempenho mecânico do concreto para piso industrial. Brazilian Journal of Development. Curitiba, v.8, n.5, p. 36849-36869, maio., 2022