



26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO USO DA FIBRA DE PVA EM PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Valeria Cristina de Faria¹; Artur Teixeira Herculano²; Claudia Azevedo Pereira²; Rodrigo Maziero Folgado²; Eriadi Sumodjo³;

¹ Plena Infra, valeria2008.faria@gmail.com

² Instituto Tecnológico de Aeronáutica, arturth@gmail.com, claudia.azevedo@ita.br, rodrigo.folgado@ga.ita.br

³ Kts, eriadi@ktsdesign.eng.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a trabalhabilidade medida através do abatimento do tronco de cone da mistura de concreto de cimento Portland com adição de fibra de polivinil álcool (PVA) e as propriedades mecânicas. Esse concreto foi aplicado em um trecho experimental de uma praça de pedágio localizada próxima a cidade de Inocência, em Mato Grosso do Sul. A fibra de PVA é uma fibra sintética produzida a partir da resina de álcool polivinílico comercializada desde 1950 no Japão, primeiramente com o intuito de substituir o amianto no fibrocimento, sendo posteriormente usada como reforço no concreto e argamassa. Dentre suas principais características, a fibra de PVA apresenta alta resistência à tração, alto módulo de elasticidade, baixo alongamento, ótima aderência à matriz cimentícia, resistência alcalina, resistência ao UV e resistência à corrosão, além da baixa densidade em comparação a fibra de vidro e principalmente aço. As fibras atuam controlando a formação e propagação de fissuras, aumentando a ductilidade, conferindo resistência à tração após fissuração, aumentando a tenacidade e resistência à fadiga e impacto do concreto. Visto que os pavimentos são submetidos a grandes carregamentos provenientes de maquinário, pousos e decolagens de aviões de maneira contínua, o uso de materiais usados como reforço são comuns visando o aumento da durabilidade e redução da manutenção do mesmo. Após a construção do trecho verifica-se que a adição da fibra de PVA teve um desempenho adequado sob o aspecto da trabalhabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: concreto reforçado com fibras; fibra de PVA; trabalhabilidade; durabilidade.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate PVA fiber influence in Portland concrete workability through slump measurement and mechanical properties. This concrete was used in the pavement in an experimental lane of a toll plaza located near the city of Inocência in Mato Grosso do Sul. PVA fiber is a synthetic fiber produced from polyvinyl alcohol resin sold since 1950 in Japan, initially to replace asbestos in fiber cement, and later used as reinforcement in concrete and mortar. Among its main characteristics, PVA fiber has high tensile strength, high modulus, low elongation, excellent adhesion to the cement matrix, alkaline resistance, UV resistance, and corrosion resistance, in addition to low density compared to glass fiber and especially steel. The fibers act by controlling the formation and propagation of cracks, increasing ductility, providing tensile strength after cracking, and increasing toughness and resistance to fatigue and impact. As pavements are subject to large loads from machines, aircraft landings, and take-offs continuously, it is common to use materials used as reinforcement, to increase durability and reduce maintenance. After the construction of the section, it was found that the addition of the PVA fiber did not affect the concrete's workability, and the construction was successful.

KEY WORDS: fiber reinforced concrete; PVA fiber; workability; durability.



INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção devido às suas características, como por exemplo, elevada resistência à compressão e facilidade na moldagem independentemente da forma da peça desejada. No entanto, uma das desvantagens apresentadas pelo concreto é a sua baixa resistência a tração (Daneshfar et al., 2023; Lau et al., 2020) que combinada com seu comportamento frágil (Alsaif et al., 2019; Daneshfar et al., 2023; Noushini et al., 2013) ocasiona a formação e propagação de trincas causadas pela retração e por ser submetido às cargas variáveis, podendo levar o material à falha.

Quando o concreto simples é submetido a tensões de tração, as primeiras microfissuras são iniciadas em regiões que demonstram maior fragilidade do concreto, as Zonas de Transição Interfacial (Mehta; Monteiro, 2006). À medida que crescem e se interconectam através da matriz cimentícia, um conjunto de microfissuras converte-se em uma microfissura. Como resultado, a presença dessa microfissura diminui a seção transversal efetiva do concreto, demandando assim a redistribuição das tensões para áreas onde o concreto permanece mais íntegro (Leite et al., 2023; Zhang et al., 1999).

Uma das soluções desenvolvidas para resolver este problema foi o uso de fibras como reforço em concretos e argamassas. Com a sua adição, as tensões as quais o concreto é submetido passam a ser transferidas de forma distribuída por todo o seu volume (Carlesso et al., 2019; Graeff et al., 2012; Noushini et al., 2013), aumentando sua resistência, melhorando o controle de fissuras e com isso sua vida útil. Ou seja, a presença das fibras, tem a capacidade de desacelerar o crescimento das fissuras, atuando como uma espécie de ponte entre os dois lados de uma mesma microfissura (de Souza et al., 2023). Por este motivo, tal interação entre as fibras e a matriz cimentícia é denominada de mecanismo de ponte (Löfgren, 2005).

Muitos estudos têm sido feitos nos últimos anos sobre o concreto reforçado com fibra a depender da aplicação em que se deseja utilizá-lo, e hoje temos diversos casos desde o uso do concreto convencional reforçado com fibras até o uso de fibras em concretos de ultra alta performance (Fédération internationale du béton. et al., 2010).

Uma aplicação do uso do concreto que vem crescendo é o pavimento de concreto de cimento Portland, apesar do histórico brasileiro negativo com relação a esta tecnologia. Por conta dessa realidade, nos últimos anos houve um avanço tecnológico com o intuito de melhorar o desempenho mecânico do material, estudos para melhorar o controle tecnológico e até mesmo a maneira de produção. Destacam-se as vantagens do pavimento rígido que apresenta maior durabilidade em relação ao pavimento flexível (expectativa de 20 anos quando bem executado). Não sofre deformação plástica, além do fato de ser um pavimento claro e proporcionar maior visibilidade ao condutor.

Dentre as fibras mais usadas, tem-se a fibra de aço, fibra de polipropileno (PP), fibra de vidro e a fibra de PVA. Para que modificações nas características do compósito como aumento ou



manutenção da resistência à tração e tenacidade sejam eficientes, as características da fibra, como formato e dimensão além dos teores usados como reforço são pontos importantes a serem levados em conta. O uso das fibras ganhou tal relevância que em 2021 foi publicada a norma ABNT NBR 16940:2021.

A fibra de PVA apresenta propriedades interessantes, como o alto módulo, baixo alongamento, alta resistência à tração, resistência alcalina e ancoragem química, podendo ser usada em aplicações estruturais como é o caso de pavimentos de concreto.

O objetivo deste trabalho foi construir um trecho experimental para avaliar a trabalhabilidade do concreto com a fibra de PVA e com o auxílio do laboratório avaliar as propriedades mecânicas deste composto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Antes da construção da Praça de Pedágio (P-05) entre Inocência e Três Lagoas no km 64 da rodovia MS-112 no Estado do Mato Grosso do Sul, foram feitos estudos preliminares em dois laboratórios para avaliar as características do compósito. Foram realizados ensaios de tração na flexão de acordo com a norma EN 14651 / NBR 16940 em corpos de prova prismáticos moldados pelo laboratório Holanda Engenharia e ensaiados pelo Laboratório de Estruturas e Materiais do Departamento de Engenharia Civil da PUC Rio (LEME-DEC).

As características dos traços utilizados pelo laboratório Holanda Engenharia e pela obra são apresentados na Tabela 1. Nos trechos reforçados com fibra de PVA na obra não foram utilizadas fibras de PP, esta foi a única diferença na dosagem. A Figura 1 apresenta a praça de pedágio em análise sendo concretada.



Figura 1 – Praça de pedágio (AUTOR, 2023).



Tabela 1 – Características dos traços utilizados no laboratório Holanda Engenharia e na obra (AUTOR, 2023).

Traço	Cimento CPV ARI – RS	Brita	Pedrisco	Areia Média	Microfibra PP	Fibra de PVA	Aditivo Polifuncional	Água	Fck	Slump	Brita	a/c
	kg	kg	kg	kg	kg/m ³	kg/m ³	kg	l	MPa	cm	mm	
Holanda 1	379	512	512	723	0	6	1,896	173	36,6	21±4	-	0,46
Holanda 2	378	510	510	721	0	8	1,889	179	36,6	17±4	-	0,47
Padrão da obra (PP)	360	872	155	825	0,3	0	3,06	155	40	10±2	16 + 9	0,43
Trecho Experimental (PVA)	360	872	155	825	0	5	3,06	155	40	10±2	16 + 9	0,43

No traço da obra, foram utilizados os aditivos: Polifuncional MPH 130 e Sílica ativa (6% de cimento) 21,60 kg/m³. E no traço realizado pela Holanda, foi utilizado Sikaplast 950 Floor.

As características das fibras de PVA disponíveis são apresentadas conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades dos diferentes grades da fibra de PVA (KURARAY, 2023).

Grade	RMS702	RSC15	RECD15	RECS100L	RF400	RF400H	RFD400H	RF4000
Espessura (dtex)	7,0	15,0	15,0	100	400	400	400	4444
Diâmetro (µm)	27	38	38	100	200	200	200	660
Comprimento (mm)	6,0	8,0	8,0	12,0	6,0	12,0	18,0	30,0
Resistência à tração (MPa)	1790	1430	1560	1230	1100	1400	1400	850
Módulo (Gpa)	45	36	41	28	27	33	33	23
Alongamento na ruptura (%)	5,8	6,5	6,5	12,5	9,0	7,3	7,3	9,0

Na Tabela 3, são apresentadas as propriedades do grade usado.



Tabela 3 – Propriedades da fibra de PVA (KURARAY, 2023).

Tipo	Diâmetro	Comprimento	Resistência à tração	Alongamento na ruptura	Módulo de Young
	µm	mm	MPa	%	Gpa
Kuralon™ RF4000X30	660	30	850	9	23

Na pesquisa realizada no laboratório da Holanda os corpos de prova moldados para realização de ensaios de resistência à compressão foram rompidos aos 28 dias com teores de fibra de 6 e 8 kg/m³. Antes da realização da obra também foram moldados corpos de prova, com teores de 3, 5 e 8 kg/m³, com o objetivo de avaliar a trabalhabilidade e as propriedades mecânicas do concreto através de ensaios de resistência à compressão e definir um teor para a execução do trecho experimental. Ambos os resultados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Ensaio de resistência à compressão realizado pela Holanda e construtora (AUTOR, 2023).

Traço Fck 40 – Ensaio de Resistência à Compressão (MPa)				
Laboratório		7 dias	14 dias	28 dias
Holanda	6 kg/m ³	-	-	45,0
Holanda	8 kg/m ³	-	-	46,6
PP (referência)	5 kg/m ³	36,40	39,45	-
Laboratório	3 kg/m ³	34,68	39,15	-
Laboratório	5 kg/m ³	34,53	39,16	-
Laboratório	8 kg/m ³	32,84	38,78	42,11

Decidiu-se utilizar a dosagem de 5 kg/m³ devido a melhor trabalhabilidade.

Como complemento são apresentados também os resultados de ensaios realizados na PUC Rio de tração na flexão conforme a Figura 2. O primeiro gráfico se refere a amostras com adição de 6 kg/m³ de fibras de PVA e o segundo gráfico com 8 kg/m³ (Souza, 2023).

Para os ensaios de flexão em três pontos realizados para a caracterização dos concretos reforçados com fibra (CRF) foi possível verificar o comportamento deflection softening, caracterizado por um abrandamento nas tensões resistidas após a abertura da primeira fissura, em todos os compósitos testados e, ganhos em tensão residual e tenacidade com o acréscimo da fração volumétrica de fibras concluindo que as fibras realizaram pontes de transferência de tensão através da fissura (Souza, 2023).

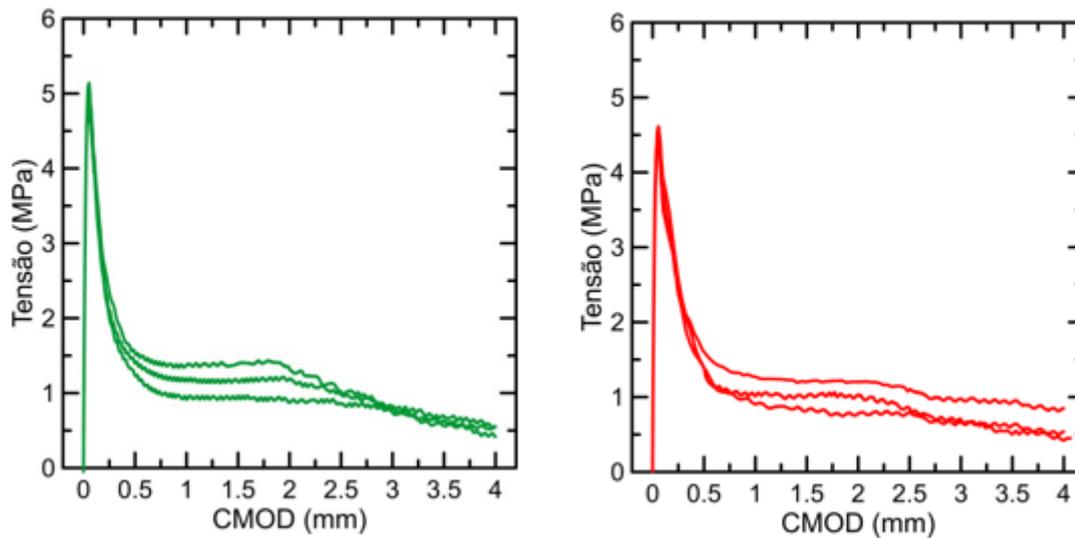


Figura 2 – Curvas tensão x abertura de fissura resultantes dos ensaios à flexão em três pontos (SOUZA, 2023).

DADOS DA CONCRETAGEM

A Noromix foi responsável pelo fornecimento do concreto no dia da obra realizada, em 2 de dezembro de 2023.

Os materiais foram adicionados na seguinte ordem: 8 toneladas de agregado + 2 toneladas de cimento + fibras de PVA + água, misturados por alguns minutos. Posteriormente, 800 kg de cimento mais o restante dos materiais. Devido a distância de 87 km entre obra e concreteira, foram adicionados 2,5 litros de retardador (2h30min de tempo adicional). O material foi misturado a uma velocidade de 16 rpm até o momento de envio e 1 rpm durante o trajeto até o canteiro de obras.

Durante a obra, foi feito o controle tecnológico pela construtora. Os ensaios são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Ensaio de resistência à compressão feito pela construtora (CONSTRUTORA KTS, 2023).

Placa do Caminhão	Data Moldagem	Data ruptura	Slump obra (cm)	Idade (dias)	Carga (ton)	Resistência (Mpa)
FZK-7G95	02/12/2023	09/12/2023	12	7	21,5	27,4
FZK-7G95	02/12/2023	30/12/2023	12	28	28,7	36,5



Figura 3 – Corpos de prova moldados pela construtora.



Figura 4 - Corpos de prova moldados pela WAY-112 no local da obra.

Foram produzidos 3 caminhões de concreto de 8 m³ com 5 kg/m³ de fibra PVA (24 m³ de concreto) utilizados para concretar uma faixa de rolamento.

Ordem de chegada dos caminhões: 4 caminhões com fibra PP, 2 caminhões com fibra PVA, 2 caminhões com fibra PP, 1 caminhão com fibra PVA e 2 caminhões com fibra PP.

A faixa foi construída com 3,5 m de largura e 0,35 m de espessura, totalizando 13 m de comprimento no primeiro segmento e 6,5 m no segundo, aproximadamente. Vale ressaltar que houve uma mistura dos concretos, criando quatro interfaces com mistura das duas fibras.

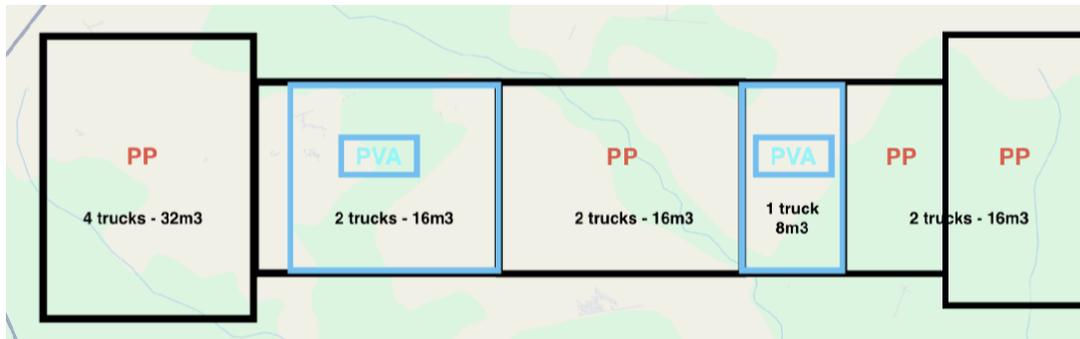


Figura 5 – Configuração final das fibras na pista da praça de pedágio.

Foram realizados testes de slump após a chegada dos caminhões na obra, conforme apresentados abaixo:

Especificação do projeto do slump: 10 ± 2 cm.

- 1º caminhão: 8,0 cm – Adicionados 40 litros de água para atingir a especificação.
- 2º caminhão: 11,0 cm (sem qualquer adição).
- 3º caminhão: 12,0 cm (sem qualquer adição).



Figura 6 – Slump do concreto com fibra de PVA proveniente do segundo caminhão.

A penúltima etapa é o vassouramento, que foi feito aproximadamente 20 minutos após a concretagem. A última etapa é o corte das juntas (onde estão posicionadas as barras de transferência), que ocorre entre 8 a 12 horas após a finalização da concretagem, a depender do processo de cura do concreto.



Figura 7 – Momento do vassouramento em uma parte do pavimento.



Figura 8 – Aspecto do pavimento após finalização do vassouramento.



Figura 9 – Detalhe do corte da junta.

Uma segunda visita foi realizada no dia 13 de dezembro de 2023 e observou-se que o concreto com fibra de PVA se manteve íntegro.

CONCLUSÃO

Com a construção do trecho experimental, foi possível observar que a fibra de PVA não afetou a trabalhabilidade do concreto medido através do abatimento do tronco do cone, que teve alteração mínima com a adição da fibra de PVA. Houve uma boa homogeneidade, sem formação de ouriços e o resultado do vassouramento foi adequado mesmo com a presença de fibras, que também não afloraram, como ocorre com a fibra de aço. Essas eram algumas das preocupações da construtora, visto que a quantidade de fibra na dosagem padrão era bem inferior à quantidade de fibra de PVA escolhida.

Além disso, foi verificado nos ensaios realizados pela PUC-Rio que a fibra ajuda na resistência residual à tração na flexão do concreto (Souza, 2023).

Após duas semanas da construção do trecho, foi realizada uma vistoria para avaliar o pavimento de concreto nos segmentos reforçados com a fibra de PVA. Foi avaliado o acabamento, a texturização da superfície e o corte das juntas, que foram executadas sem qualquer problema, constatando conformidade em todos os aspectos.

É de extrema importância que novos trechos de pavimento sejam executados a fim de complementar o estudo com mais informações sobre os benefícios que a fibra pode acrescentar nas propriedades mecânicas do concreto, iniciado no trabalho de mestrado sobre a avaliação do uso da fibra de PVA em pavimentos aeroportuários no Brasil (Souza, 2023).

Dois trabalhos de mestrado estão sendo conduzidos no ITA, ambos abordando o tema do uso da fibra de PVA em pavimentos de concreto para aeroportos da região Amazônica. Esses estudos irão



comparar as propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos normais e concretos reforçados com fibra de PVA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 16935:2021 - Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibras - Procedimento 2021.

ABNT NBR 16940. Concreto reforçado com fibras - Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) - Método de ensaio, 2021.

Alsaif, A., Garcia, R., Figueiredo, F. P., Neocleous, K., Christofe, A., Guadagnini, M., & Pilakoutas, K. (2019). Fatigue performance of flexible steel fibre reinforced rubberised concrete pavements. *Engineering Structures*, *193*, 170–183. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.05.040>

BALBO, J. T. Pavimentos de Concreto. Oficina de Textos, São Paulo, 2009.

Carlesso, D. M., de la Fuente, A., & Cavalaro, S. H. P. (2019). Fatigue of cracked high performance fiber reinforced concrete subjected to bending. *Construction and Building Materials*, *220*, 444–455. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.038>

Daneshfar, M., Hassani, A., Aliha, M. R. M., Sadowski, T., & Karimi, A. (2023). Experimental Model for Study of Thickness Effect on Flexural Fatigue Life of Macro-Synthetic-Fiber-Reinforced Concretes. *Buildings*, *13*(3). <https://doi.org/10.3390/buildings13030642>

Enrenbring, Hinoel. Comportamento de concretos reforçados com microfibras de Polipropileno (PP), Álcool polivinílico (PVA), e recicladas de Poliéster (POL) em relação à retração por secagem restringida e às propriedades mecânicas. UNISINOS, São Leopoldo, 2017.

Federal Aviation Administration. Airport Pavement Design and Evaluation. Aviation 2009;1:1–2.

Fédération internationale du béton., Comité euro-international du béton., & Fédération internationale de la précontrainte. (2010). *Model code 2010 : first complete draft.*

Graeff, A. G., Pilakoutas, K., Neocleous, K., & Peres, M. V. N. N. (2012). Fatigue resistance and cracking mechanism of concrete pavements reinforced with recycled steel fibres recovered from post-consumer tyres. *Engineering Structures*, *45*, 385–395. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.06.030>

Lau, C. K., Chegenizadeh, A., Htut, T. N. S., & Nikraz, H. (2020). Performance of the steel fibre reinforced rigid concrete pavement in fatigue. *Buildings*, *10*(10), 1–18. <https://doi.org/10.3390/buildings10100186>

Leite, J. dos S., Santo, J. N. S. do E., Dos Santos, L. H. R., Guedes, D. T. da S., & Tapajós, L. S. (2023). Análise da resistência à flexão em vigas de concreto reforçado com fibras de aço. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, *16*(10), 21947–21968. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.10-193>

Löfgren, I. (2005). *Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction-a fracture mechanics approach to material testing and structural analysis.*



MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: microstructure, properties, and materials. 3rd. ed. [S.l.]: McGraw-Hill Publishing, 2006.

Noushini, A., Samali, B., & Vessalas, K. (2013). Effect of polyvinyl alcohol (PVA) fibre on dynamic and material properties of fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 49, 374–383. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.035>

Souza, F. Concreto reforçado com fibras de PVA aplicado a pavimentos aeroportuários: propriedades mecânicas e dimensionamento. PUC Rio, Rio de Janeiro , 2021.

Souza, F. R., Lima, V. N., Cerqueira, N. R. de A., Cardoso, D. C. T., & Silva, F. de A. (2023). Flexural behavior of PVA and PP fiber-reinforced concrete under cyclic loading. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45(9). <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04382-9>

Zhang, J., Stang, H., & Li, V. C. (1999). Fatigue life prediction of fiber reinforced concrete under flexural load. In *International Journal of Fatigue* (Vol. 21). www.elsevier.com/locate/ijfatigue