

Influência nas Propriedades de Concretos de Pós Reativos com a Incorporação de Fibras de Aramida

Charles Nicolás Moura Bueno^{a*}, <https://orcid.org/0000-0002-6799-1510>, (chawlim_@hotmail.com)
Robson Walter dos Santos^a, (robson.waltersantos@gmail.com)
Allison Irassoquy de Freitas^a, (allisonirassoquy@hotmail.com)
Bóris Casanova Sokolovicz^b, (boriscs@san.uri.br)
Nelson Seidler^b, <https://orcid.org/0000-0002-9036-0813>, (seidler@san.uri.br)

^a *Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santo Ângelo-RS, Brasil.*

^b *Professor Doutor em Engenharia Civil na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santo Ângelo-RS, Brasil.*

Resumo

O Concreto de Pós Reativos (CPR) é isento de agregado graúdo, sendo admitidos grãos de no máximo 2,0 mm, buscando o preenchimento ótimo de sua granulometria. O comportamento da matriz do CPR é puramente linear e elástico, sendo então frágil, ou seja, um material com baixa capacidade de suporte de cargas de tração e reduzida resistência a deformações. Não apresentando praticamente deformações plásticas. Uma alternativa para a melhoria desta deficiência no CPR é a incorporação de fibras de aramida, por se tratar de uma fibra sintética polimérica de alto desempenho, elevado módulo de elasticidade e elevada resistência à tração. O objetivo desta pesquisa é aliar ao CPR a incorporação de fibras de aramida e tornar o compósito um material mais resistente a cargas de tração, e tornar o material mais dúctil. Foram realizados os ensaios nos corpos-de-prova aos 28 dias, com teores de 2 kg/m³ (M1), 5kg/m³ (M2), 9kg/m³ (M3) e no traço referência sem adição de fibras (MRef) e foram avaliados a resistências à compressão, compressão diametral, tração na flexão e sua ductilidade. Conclui-se que na medida em que se aumentam os teores de fibras de aramida eleva-se a resistência à tração do compósito para uma determinada trabalhabilidade.

Palavras Chave – Concreto de pós reativos, Fibras de aramida, Resistência à tração.

Abstract

The Reactive Powder Concrete (RPC) is free of coarse aggregate, allowing for grains of a maximum size of 2.0 mm, seeking the optimal filling of its particle size. The behavior of the RPC matrix is purely linear and elastic; therefore, it is fragile. In other words, it is a material with low tensile load bearing capacity and low resistance to deformation. It practically does not present plastic deformations. An alternative to improve this deficiency in RPC is the incorporation of aramid fibers, as they are high performance polymeric synthetic fibers, with a high modulus of elasticity and high tensile strength. The objective of this research is to combine RPC with the incorporation of aramid fibers and make the composite a more resistant material to tensile loads, and make the material more ductile. The tests were carried out on specimens at 28 days, with contents of 2 kg/m³ (M1), 5kg/m³ (M2), 9kg/m³ (M3) and without fiber addition (MRef) in the reference mixture. And the compressive strengths, diametral compression, flexural traction and their ductility were evaluated. It can be concluded that as the aramid fiber content increases, the tensile strength of the composite increases for a determined workability.

Keywords – reactive powder concrete, aramid fibers, tensile strength.

1. Introdução

O concreto se tornou o material mais utilizado na construção civil, principalmente em conjunto com o aço, formando o concreto armado, sendo uma opção muito utilizada por projetistas, construtores e operários da construção civil (TUTIKIAN, ISAIA, & HELENE, 2011) [1]. Este Concreto Convencional (CC), como é chamado, é composto basicamente de cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água.

Com o passar do tempo, com o desenvolvimento urbano e tecnológico, aliado ao crescimento do setor da engenharia civil, foi preciso aprimorar o CC, incorporando outros elementos à mistura, como minerais, aditivos, fibras e técnicas de execução diferentes. Assim foi desenvolvido o concreto de alto desempenho (CAD), um material que apresenta propriedades superiores ao CC, como maior resistência mecânica, melhor trabalhabilidade, estética, integridade e, principalmente, maior durabilidade.

Como alternativa ao CAD, após pesquisas realizadas no Canadá e na França a partir de 1990, foi desenvolvido o Reactive Powder Concrete (RPC), na tradução, Concreto de Pós-Reativos (CPR). Esta mistura foi desenvolvida em conjunto com as empresas Lafarge e Rhodia e foram iniciados os estudos do CPR com fibras e aditivos especiais, o que tornou a mistura conhecida como concreto com fibras de ultra-alto desempenho (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011) [1]. Entretanto, o termo que engloba todos esses materiais é Ultra-High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites (UHPFRCC), na tradução, Compósitos Cimentícios Reforçados com Fibra de Ultra-Alto Desempenho.

O CPR é composto basicamente de materiais finos, com partículas de tamanho inferior a 2 mm, como areia de quartzo, cimento Portland, pó de quartzo, sílica ativa, aditivo superplastificante e uma relação água/cimento muito baixa. RESPLENTINO (2006) [2] mostra na Fig. 1, a diferença entre os materiais empregados no CAD e no CPR e a inexistência de agregados graúdos no CPR.

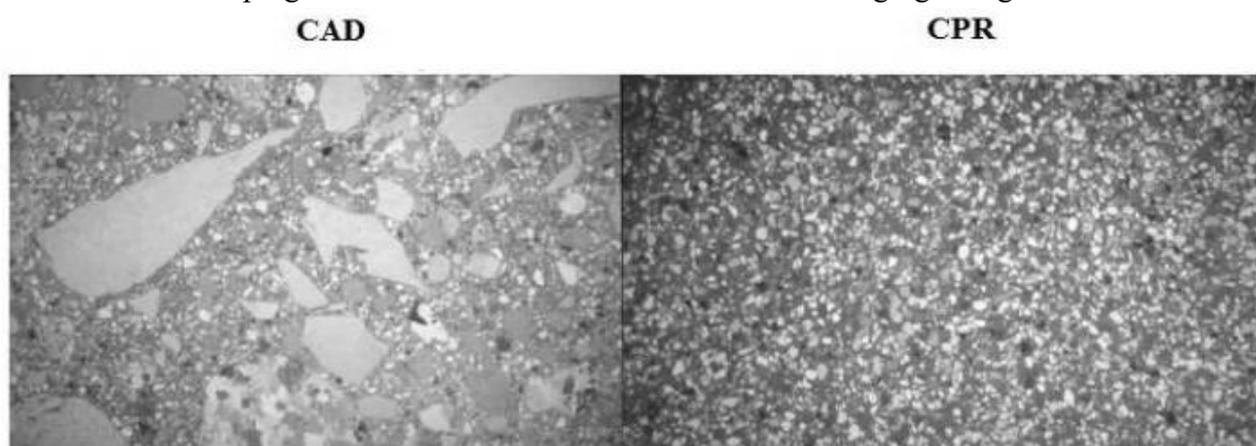


Fig. 1. Imagem da seção dos dois tipos de concreto (CAD e CPR). Fonte: (Resplentino (2006)).

Os concretos de alto desempenho, podem proporcionar aos engenheiros projetistas uma otimização de projetos estruturais, possibilitando construções de estruturas esbeltas, elementos protendidos de menores dimensões, elementos arquitetônicos para fachadas, cascas, etc, proporcionando, utilizar de forma mais eficaz a área da edificação. Com uma durabilidade elevada, o CPR também pode ser usado em estruturas de contenção e proteção contra impactos, explosões, agentes nucleares e contaminantes.

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2014) [3], a definição de concreto de alto desempenho como é o caso do CPR, pode englobar diferentes características, desenvolvidas para aplicações e ambientes específicos, tais como: facilidade de aplicação; adensamento sem segregação; resistência nas primeiras idades; resistências de longo prazo e propriedades mecânicas adequadas; baixa permeabilidade; elevada densidade; desprendimento moderado de calor de hidratação; elevada tenacidade; estabilidade volumétrica; longa vida útil em ambientes agressivos.

A tecnologia do CPR permite construções de estruturas leves, cujos elementos são delgados, tabuleiros para pontes, vigas, colunas, pré-fabricados de túneis ou placas de revestimento de fachada e passarelas. O CPR tem se mostrado, ainda, como uma possibilidade para diversas outras aplicações na construção civil, como: obras hidráulicas e de saneamento, construções para armazenamento de rejeitos radioativos, peças para indústrias mecânicas, ou seja, elementos de concreto que necessitam de elevada resistência mecânica, impermeabilidade e durabilidade (MIRANDA, 2012) [4].

De acordo com SOKOLOVICZ (2020) [5], o segredo do elevado desempenho do CPR está na sua microestrutura que apresenta elevada compacidade e baixa porosidade. Este fato procede do elevado consumo de cimento, baixa relação água/cimento (a/c), inclusão de sílica ativa como adição mineral, que contribui para o refinamento dos produtos de hidratação através das reações pozolânicas, resultando em uma matriz praticamente impermeável à água e agentes agressivos, quando analisada em escala macroscópica.

De acordo com THOMAZ (2009) [6], “o concreto simples, não armado, é um material frágil, quebradiço, com uma baixa resistência à tração e uma baixa capacidade de alongamento na tração”. O comportamento do CPR não é diferente. Ele apresenta um comportamento muito frágil, ou seja, com baixa capacidade de suporte de cargas de tração e reduzida resistência a deformações, apesar de ainda ser superior ao concreto convencional.

Uma alternativa para a melhoria das características físicas e mecânicas do concreto para estas deficiências pode ser a incorporação de fibras distribuídas aleatoriamente na massa de concreto.

A introdução de fibras no concreto contribui para o reforço do compósito quando submetido a carregamentos, que induz tensão de tração, na prevenção da formação de fissuras geradas na zona tracionada aumentando a capacidade de absorção de energia tornando mais dúctil o material cimentício.

No estágio de pós-fissuração, as fibras atuam como ponte de transferência de tensões, aumentando a capacidade de absorção de energia quando comparado ao concreto simples. Por isto, esse compósito tem sido objeto de diversas pesquisas nas últimas décadas segundo MONTE; TOALDO; FIGUEIREDO, (2014) [7], como (Guimarães; Figueiredo, 2002; Salvador; Figueiredo, 2013).

Este estudo tem o objetivo através de trabalhos experimentais, analisar o comportamento das propriedades mecânicas do CPR, aliado à fibra de aramida incorporada ao concreto em diferentes teores, e estudar o desempenho do novo compósito cimentício formado frente aos testes de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e a resistência à tração na flexão.

2. Importância da incorporação de fibras no CPR

A utilização de fibras para melhorar o comportamento de materiais de construção já é muito antiga e intuitiva. Muito antigamente já utilizavam a adição de fibras de palha em tijolos de barro e fibras de asbesto em cerâmicas, com a finalidade de criar compósitos constituídos por uma fase contínua (matriz) e uma fase dispersa (fibras). No caso dos tijolos com fibras de palha, pretendia-se obter maior resistência à fissuração e menor fragmentação após a fissuração induzida por repetitivas alterações de temperatura e de umidade. O concreto normalmente contém muitas microfissuras, e a sua rápida propagação sob tensão aplicada é responsável pela baixa resistência a tração do material. O reforço do compósito da matriz do concreto por intermédio de adição de fibras é exemplo de investigação que tem sido desenvolvida na perspectiva da obtenção de um material resistente e com ductilidade (CARNIO, 2009) [8].

Segundo CHUNG (2010) [9], um compósito é um material que resulta na combinação de dois ou mais materiais distintos, cujo desempenho e propriedades mecânicas são projetadas para serem superiores aos dos materiais, atuando de forma independente. Para o reforço de matrizes cimentícias, existem inúmeras fibras viáveis. Além das fibras naturais, de origem vegetal, como por exemplo, o algodão e o sisal, e origem mineral, como é o caso dos asbestos, as fibras sintéticas são as mais importantes. Como exemplos de fibras sintéticas, podem ser citadas as fibras de aço, de polipropileno, de nylon, de poliéster, de vidro, de carbono e de aramida.

O efeito de cada tipo de fibra introduzida no concreto depende de suas características, isto é, de sua forma, resistência, durabilidade e, principalmente, do módulo de elasticidade. Cada fibra, portanto, contribui diferentemente com a melhoria das propriedades dos compósitos. Por isso se justifica estudar cada uma delas separadamente, procurando entender o seu comportamento e maximizar os seus benefícios para fins específicos no concreto.

O CPR sem a adição de fibras ainda é um material com elevadas propriedades mecânicas, porém frágil. A introdução de microfibras na composição do CPR torna-o mais dúctil, com maior capacidade de resistir a grandes deformações. O emprego de fibras aumenta a resistência mecânica do concreto, reduz a retração, aumenta a resistência ao impacto e sua resistência ao fogo (DAWOOD; RAMLI, 2011) [10].

No intuito de buscar um concreto mais dúctil, as fibras adicionadas no concreto vêm aos poucos ocupando um espaço importante como material componente do concreto. Segundo a concepção de AOKI (2010) [11], tudo indica que sua utilização será quase obrigatória em poucos anos. A adição deste tipo de material melhora as características estruturais e funcionais dos elementos de concreto armado, podendo se tornar uma tendência para o concreto industrializado.

Apesar de toda evolução nas pesquisas em tecnologia do concreto e uma variedade de novos materiais que vem sendo desenvolvidos pela engenharia dos materiais e engenharia química, que

começam a encontrar alternativas inovadoras dentro da engenharia civil, como é o caso de materiais de alto desempenho usados como fibras no concreto, ainda existe certa resistência ao seu uso, principalmente pela carência de estudos e divulgações, o que conseqüentemente gera uma falta de familiaridade com o material, uma oferta limitada, uma resistência cultural típica do mercado, e custos ainda elevados.

Cabe então, à presente pesquisa colaborar para esclarecer as dúvidas quanto ao comportamento do CPR com adição de fibras de aramida, e a partir daí poder potencializar o desempenho desse novo compósito.

3. Fibra de aramida

A fibra de aramida é uma fibra sintética polimérica de alto desempenho e com características específicas, principalmente por uma excepcional resistência mecânica. A Tabela 1 apresenta as principais características mecânicas da fibra de aramida, assim como a Tabela 2 apresenta as características físicas da fibra.

Tabela 1- Características mecânicas da fibra de aramida

Tração na Ruptura	~3,5 GPa
Módulo de Elasticidade	~130 GPa
Tenacidade	~786 J/g

Tabela 2- Características físicas da fibra de aramida

Densidade	~1,44 g/cm ³
Extensão até a quebra	~3,6 à 2,4 %
Decomposição	~371°C

As fibras de aramida (poli-para-fenileno tereftalamida) são constituídas de um grupo de polímeros aromáticos de cadeia longa, onde 85% dos grupos amida (-CO-NH-), com átomos de carbono, oxigênio, nitrogênio e hidrogênio respectivamente, ligam dois anéis aromáticos, e foram primeiramente desenvolvidas pela DuPont Co., em 1968. Sua designação decorre dos termos poliamida aromática (aromatic polyamid), que expressam sua composição química. Na Fig. 2, os autores representam a estrutura molecular da fibra de aramida.

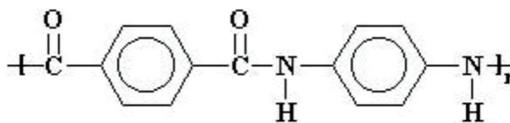


Fig.2. Representação química da estrutura molecular da fibra de aramida.
Fonte: (LEVY NETO e PARDINI - 2ª Edição (2016)) [12].

As cadeias poliméricas das fibras de aramida devido a sua natureza unidirecional são estiradas e orientadas ao longo do eixo da fibra, para que a partir desses processos existam fortes ligações

covalentes interatômicas ao longo da cadeia polimérica, proporcionando a mesma resistência, rigidez e uma excepcional resistência mecânica e estabilidade térmica.

As fibras de aramida são manufaturadas pelo processo de extrusão, onde uma solução do polímero base e um solvente são mantidos a temperatura de 50-80 °C antes de serem extrudadas em um cilindro mantido a temperatura de 200 °C. O solvente então evapora e as fibras são bobinadas em um mandril. Neste estágio as fibras têm baixa resistência e rigidez, então elas são submetidas a um processo de estiramento à quente para alinhamento das cadeias poliméricas ao longo do eixo da fibra fazendo com que a resistência e o módulo sejam aumentados (LEVY NETO & PARDINI - 2ª Edição (2016)) [12]. Na Fig. 3, representa-se as fibras de aramida já manufaturadas.



Fig. 3. Fibras de aramida empregadas (Fonte: Autores)

4. Materiais e métodos

4.1 Materiais

Com o objetivo de analisar o potencial da incorporação da fibra de aramida em concretos de pós-reativos, foram utilizados para confecção do concreto referência, ou seja, sem fibras, e os demais corpos de prova com adição de fibras, os materiais disponíveis no laboratório. Não se preocupou com marcas específicas e sim com a qualidade do traço, sem que ocorresse nenhuma variação nas moldagens, variando apenas nos teores de fibras.

4.1.1. Cimento Portland

O cimento utilizado foi o cimento Portland branco por não ter adições, ter finura elevada, o que confere altas resistências iniciais por se tratar de um material derivado do calcário puro.

4.1.2. Sílica ativa

A sílica utilizada foi uma sílica ativa em pó, que foi moída e em seguida peneirada, sendo utilizada a parcela passante na peneira 0,3mm.

4.1.3. Areia

A areia utilizada foi a areia natural do Rio Tietê, por estar disponível no laboratório e ter as granulometrias desejadas. A areia passou por um tratamento onde foi lavada e beneficiada. Foram utilizadas duas granulometrias da areia, 50% da areia passante na peneira 0,6mm e retida na 0,3mm, e 50% da areia passante na peneira 0,3mm e retida na 0,15mm.

4.1.4. Pó de Quartzo

O pó de Quartzo utilizado é um pó branco extremamente fino, passante na peneira 0,1mm, o qual é composto basicamente de SiO₂.

4.1.5. Aditivo Superplastificante

O aditivo superplastificante utilizado foi o aditivo da marca Tecflow 8000 a base de naftaleno. Esse aditivo utilizado promove a elevação da fluidez e a redução do consumo de água na mistura.

4.2. Métodos

Para o processo de moldagem foi utilizada uma furadeira marca Bosh com uma rotação de 1400 rpm, acoplada nela um mexedor e uma cuba, sendo foi instalados nela bolsas de gelo em gel no seu exterior, permitindo menor calor de hidratação, pouca perda de água da mistura por evaporação durante a moldagem. Isso possibilitou a redução do fator água/cimento, proporcionando boa trabalhabilidade até o fim da moldagem.

O método de moldagem foi o método adaptado por SOKOLOVICZ (2020) [5], onde o método consiste primeiramente em adicionar toda a água e 33% da quantidade do aditivo superplastificante. Em seguida, adiciona-se toda a sílica ativa, misturando bem, de forma que a mistura fique homogênea. A partir disso, adiciona-se periodicamente todo o cimento e fraciona-se o aditivo sem perder a trabalhabilidade. Por fim, adiciona-se fracionadamente a areia e o pó de quartzo juntos, ou seja, que previamente já foram misturados e o restante do aditivo mantendo sempre a mesma trabalhabilidade.

O traço utilizado em todas as moldagens está descrito na Tabela 3.

Tabela 3- Traço utilizado no estudo

MATERIAL	TRAÇO UNITÁRIO
Cimento	1,000
Areia	1,475
Sílica Ativa	0,250
Água	0,200
Aditivo Superplastificante	0,040
Pó de Quartzo	0,306

Neste contexto, tomando como referência os dados disponíveis na bibliografia em relação à incorporação de fibras ao concreto, foram moldados para cada traço três corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e altura de 100 mm para serem submetidos ao ensaio de compressão simples. Três corpos de prova com as mesmas dimensões para serem submetidos ao ensaio de ensaio de resistência à tração por compressão diametral e três corpos de prova prismáticos de 40x40x160 mm para a determinação da resistência à tração na flexão.

A definição dos teores de fibras de aramida foi baseada nos teores especificados pelo fabricante no uso de fibras de polipropileno, pelo fato destas duas fibras serem muito semelhantes, seja pela sua natureza química, diâmetro e trabalhabilidade. Entretanto, a fibra de polipropileno por absorver água, ela perde trabalhabilidade mais rápido na medida em que se aumentam os teores de fibras. O fabricante da fibra de polipropileno recomenda que se utilize um teor mínimo de 0,6kg/m³ de fibra e comprimento de 12 mm, mas pelo fato da fibra de aramida não perder tanta trabalhabilidade como a de polipropileno, e por se tratar de um concreto de alto desempenho, que exige maiores teores de fibras, foram adotados fibras de aramida com comprimento de 15-20 mm e teores de 2 kg/m³ (M1), 5kg/m³ (M2), 9kg/m³ (M3), e o traço referência sem adição de fibras (MRef). Adotou-se 9kg/m³ como teor máximo pelo fato de que a partir deste teor de fibra, delimita-se a perda de trabalhabilidade, e o composto passa a se acumular no misturador, dificultando a homogeneização da mistura com baixo teor de argamassa na mistura.

Passado um dia depois da moldagem, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e colocados na cura úmida, com uma temperatura de ~23°C, permanecendo imersos 28 dias. Em seguida, os corpos de prova cilíndricos foram retificados, para garantir o paralelismo entre as faces e foram realizados os ensaios específicos.

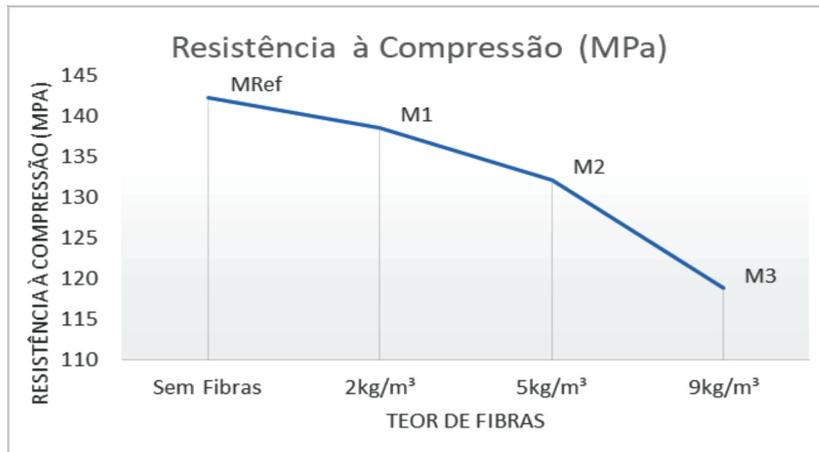
5. Resultados

5.1. Ensaio de resistência à compressão

Na Tabela 4 – constam os resultados da média dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão de acordo com a norma NBR 5739 [13] em corpos de prova com idade de 28 dias e na Figura 4 – o respectivo gráfico dos resultados.

Tabela 4 – Médias obtidas no ensaio de resistência à compressão (MPa).

TRAÇO	COMPRESSÃO
MRef	142,36
M1	138,65
M2	132,18
M3	118,82

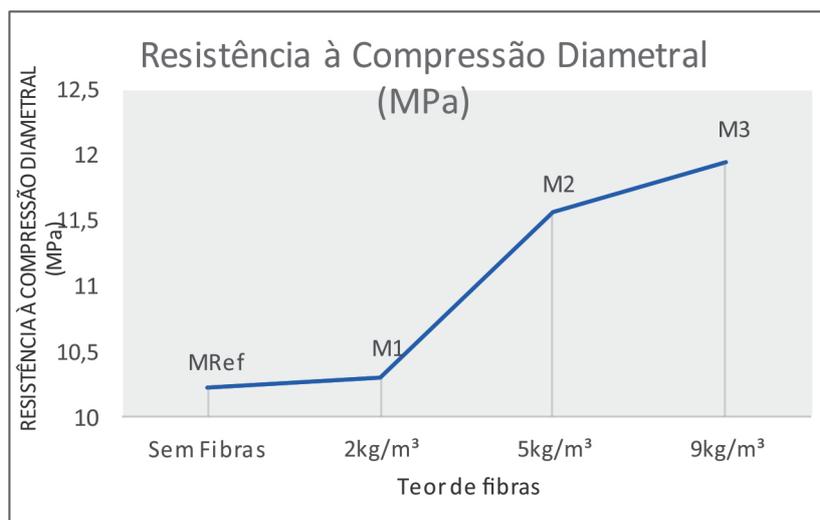
**Figura 4 - Resistência à compressão aos 28 dias.**

5.2. Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Na Tabela 5 – constam os resultados da média da resistência à tração por compressão diametral obtida aos 28 dias de acordo com a NBR 7222 [14] e na Figura 5 – o respectivo gráfico dos resultados.

Tabela 5 – Médias obtidas no ensaio de resistência à compressão diametral (MPa).

TRAÇO	COMPRESSÃO DIAMETRAL
MRef	10,217
M1	10,287
M2	11,561
M3	11,944

**Figura 5 - Resistência à Compressão Diametral aos 28 dias.**

5.3. Ensaio de resistência à tração na flexão

Na Tabela 6 – constam os resultados da média da resistência à tração na flexão de acordo com a NBR 13279 [15] em corpos de prova com 28 dias de idade na Figura 6 – o respectivo gráfico dos resultados.

Tabela 6 – Médias obtidas no ensaio de resistência à Tração na Flexão (MPa).

TRAÇO	TRAÇÃO NA FLEXÃO
MRef	34,289
M1	36,170
M2	41,070
M3	46,492

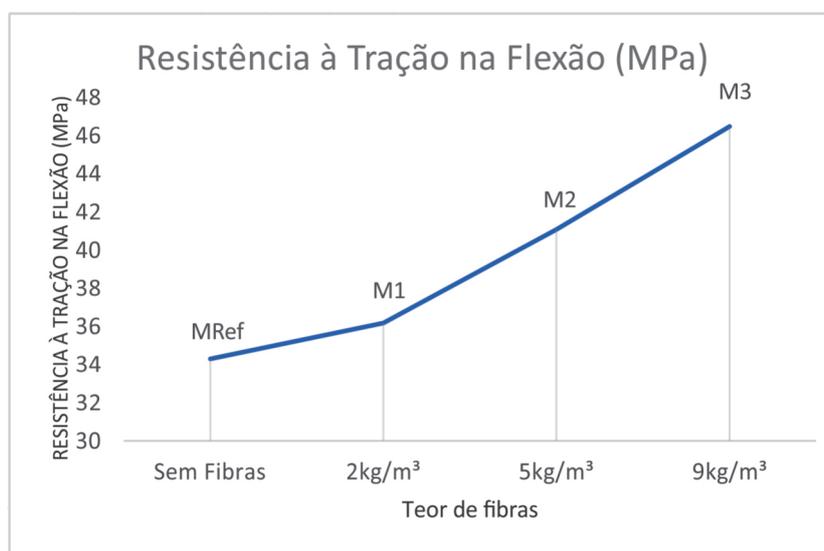


Figura 6 - Resistência à Tração na Flexão aos 28 dias.

6. Conclusões

Em termos de trabalhabilidade, nenhum teor de fibra afetou consideravelmente a plasticidade do CPR. O que se observou foi a maior dificuldade no adensamento dos corpos de prova com teores de 9kg/m³ de fibras. Não houve dificuldade na homogeneização das fibras nos corpos de prova nos teores estudados. Ao realizar os ensaios de compressão e dos de tração foi observada uma ótima distribuição das fibras nos corpos-de-prova, o que pode ser um fator que justifique pouca variação dos resultados nas três amostras para cada ensaio.

Foi observada uma boa capacidade de aderência da fibra de aramida na matriz do CPR. As fibras foram rompidas quando tracionadas, permanecendo fixas à matriz do RPC, deixando em seu lugar um espaço vazio cheio de “fios”, demonstrando que realmente existe bastante resistência contra o seu arrancamento das fibras.

Analisando a Figura 5, nota-se uma tendência de perda na resistência à compressão na medida em que se aumentam os teores de fibras na mistura. Logo, o traço sem fibras (MRef) apresentou

maior resistência à compressão. Isso se justifica pelo fato que à medida que se aumenta os teores de fibra de aramida, eleva-se o número de zonas de transição entre a fibra e a matriz cimentícia, ocasionando o rompimento por cisalhamento na interação fibra-matriz.

Em relação aos testes de resistência à compressão diametral, observou-se que o traço M1 não teve um incremento considerável na resistência, o traço M2 teve uma resistência melhorada em 13,15%, enquanto que o traço M3, obteve um incremento de 16,90% na resistência a compressão diametral em relação ao traço sem fibras (MRef).

As análises dos gráficos de tração seguiram um padrão praticamente constante quando foram comparadas entre si. Os corpos-de-prova sem fibras são extremamente frágeis, caracterizada pela curva tensão-deformação com interrupção abrupta após o surgimento da primeira fissura. Os corpos-de-prova do traço M1, apesar de não mudar muito o comportamento do gráfico comparado com o traço MRef, apresentaram um enorme ganho de tenacidade devido sua trajetória inicial bem mais acentuada.

A curva referente ao traço M2 mostra que, além do ganho de tenacidade um pouco maior que o M1, o teor de fibra utilizado ainda modificou o seu comportamento mecânico, que após atingir a sua tensão máxima, continua absorvendo energia. O mesmo aconteceu com o traço M3, que teve um acréscimo ainda maior no ensaio de tração na flexão, com um aumento de 35,58% em relação ao traço referência, deixando de ser um materiais extremamente frágil.

O comportamento do CPR do traço M3 com 9kg/m³ de fibra, principalmente, mostra características importantíssimas que materiais de construção precisam. O CPR do traço M3 apresentou, além de praticamente o mesmo ganho de tenacidade do traço M2, ainda reforçou bastante as suas características dúcteis, absorveu muita energia após a abertura da primeira fissura, fazendo com que o material continuasse sua trajetória antes de se romper, com um tempo maior até o seu rompimento. Isso ocorreu por causa das fibras que atuaram “costurando” as fissuras, preservando assim a resistência mecânica das seções e retardando o rompimento total da peça.

Ainda em relação aos gráficos, conclui-se que CPR com qualquer teor de fibra empregada, apresentou uma fase elástica linear e uma fase plástica, à medida que o compósito cimentício perde sua capacidade resistiva do material submetido à tração. As porcentagens de fibra empregadas não afetaram muito a trabalhabilidade do material compósito, mas uma dificuldade na fase do adensamento do material foi percebida. Essa dificuldade se agravou com o aumento das fibras. Percebe-se também que, as fibras garantem uma boa aderência na matriz do material compósito.

Conclui-se que o CPR aliado à fibra de aramida, considerando a interação fibra-matriz, apresentam excelentes qualidades. Em situações específicas, particularmente em situações em que se deseja um concreto de alto desempenho, atuam no sentido de gerar um material compósito com maior ductilidade.

Referências

- [1] TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. Concreto de Auto e Ultra-Alto Desempenho. Concreto: Ciência e tecnologia. G. C. Isaia. 1. Ed. São Paulo, IBRACOM, 2011. 2v.
- [2] RESPLENDINO, J. First recommendations for Ultra-High-Performance Concretes and examples of application. In: International Symposium on Ultra High Performance Concrete, 2006.

- [3] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo, 4a Edição. Ed. Ibracon, 2014.
- [4] MIRANDA, C. S. et al. Thermal, Mechanical and morphological properties of composites developed from glycerol and dicarboxylic acids reinforced with piassava fiber. *Macromolecular Symposia*, v.319, p. 74-82, 2012.
- [5] SOKOLOVICZ, B. C. Avaliação das Propriedades Mecânicas e Microestrutura de Concreto de Ultra Alto Desempenho com Adições Mineraias e Resíduos Industriais. 2020. 356 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.
- [6] THOMAZ, E. C. S. CRF - Concreto reforçado com fibras - Mito e realidade. Notas de aula, 2009. Disponível em: <<http://www.aquarius.ime.ub.br/~webde2/prof/ethomaz/crf.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2018.
- [7] MONTE, R.; TOALDO, G. S.; FIGUEIREDO, A. D. Avaliação da tenacidade de concretos reforçados com fibras através de ensaios com sistema aberto. *Matéria (UFRJ)*, v.19, p.132-149, 2014. THOMAZ, E. C. S. CRF - Concreto reforçado com fibras - Mito e realidade. Notas de aula, 2009. Disponível em: <<http://www.aquarius.ime.ub.br/~webde2/prof/ethomaz/crf.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2018.
- [8] CARNIO, M. A. Propagação de Trinca por Fadiga do Concreto Reforçado com Baixos Teores de Fibra. 2009. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/264892/1/Carnio_MarcoAntonio_D.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2018.
- [9] CHUNG, D. D. L.; *Composite material science and applications*. 2nd ed. Springer; 2010.
- [10] DAWOOD, E.; RAMLI, M. Contribution of Hybrid Fibers on The Hybrid Fibers on the Properties of High Strength Concrete Having High Workability. 2011. Disponível em: <http://Contribution_of_Hybrid_Fibers_on_The_Hybrid_Fibers.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2019.
- [11] AOKI, J. Fibras para concreto. *Cimento Itambé*, 2010. Disponível em: . Acesso em: 11 jun. 2017.
- [12] LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. *Compósitos Estruturais - Ciência e Tecnologia*. 1a Edição. Ed. 2016.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.