

PRODUÇÃO DE CONCRETO AUTO ADENSÁVEL (CAA) DE ALTA RESISTÊNCIA COM INCORPORAÇÃO DE FIBRAS PELO MÉTODO DO EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS

Mateus Zanovello de Oliveira ¹; Heloísa Cristina Fernandes Cordon ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professora da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *Este estudo desenvolveu um método de dosagem para concreto auto adensável (CAA) de alta resistência e desempenho, pautado no empacotamento de partículas e na análise das propriedades do concreto quando reforçado com diferentes teores de fibra metálica. O método de dosagem obteve uma matriz densa, empregando o modelo modificado de empacotamento de partículas proposto por Andreassen & Andersen apenas para os materiais inertes. Os demais componentes do traço têm uma faixa de atuação com valores determinados por ensaios, estudos e relações desenvolvidos no âmbito da pesquisa. A resistência à compressão obtida foi 131,90 MPa a 28 dias e espalhamento SF3. Analisou-se a influência dos diferentes teores de fibra empregados no compósito com base nas propriedades no estado fresco determinadas pelos ensaios de espalhamento, T50, anel J e coluna de segregação e propriedades no estado endurecido obtidas através dos ensaios de compressão simples, compressão diametral e impacto. O aumento do teor de fibras reduziu a fluidez do compósito, piorando gradativamente a aderência matriz-fibra e afetando negativamente as propriedades no estado endurecido. O incremento de fibras promoveu mudanças pouco perceptíveis na compressão simples, significativa evolução na resistência à tração e melhorias na resistência ao impacto.*

Introdução

O concreto auto adensável (CAA) foi desenvolvido no Japão por Hajime Okamura em meados de 1980, pela necessidade de estruturas mais duráveis, com formas livres, elevado teor de armadura, economia e menor tempo de execução, tendo em vista a proporção otimizada dos componentes da mistura e a ausência da necessidade do adensamento. O CAA possui como principais características: alta fluidez, relativa coesão e grande resistência à segregação dos seus constituintes, sem perda da resistência à compressão (Oliveira, Studart e Pileggi, 2000).

O conceito de empacotamento consiste no arranjo ideal das partículas de maneira a deixar o mínimo de espaços vazios na estrutura do compósito. A aplicação deste fundamento é importante para obtenção de um CAA, auxiliando nas propriedades do estado fresco como coesão e resistência à segregação, e sendo crucial nas propriedades no estado endurecido (Castro e Pandolfelli, 2009).

O concreto reforçado com fibras metálicas (CRFM) é foco de muitos estudos, pois melhora aspectos do concreto que não possuem desempenho satisfatório, como resistência à tração, impacto e ductibilidade (Figueiredo, 2000). Essa contribuição da fibra permite diversas aplicações no âmbito da engenharia civil, como substituição parcial ou total das armaduras passivas e pisos industriais resistentes à fadiga e impacto (Tobias, 2017).

O objetivo deste trabalho é desenvolver um método de dosagem para concreto auto adensável de alto desempenho reforçado com fibra de aço aplicando como base o conceito de empacotamento de partículas, apenas para componentes inertes, avaliando a influência do teor de fibras nas propriedades do concreto fresco e endurecido, priorizando seu comportamento sob esforços de impacto.

Materiais e Métodos

Os materiais utilizados no estudo foram cimento (CPI Branco – Tolteca), quartzo (Brasilminas), microssílica (920U Elkem), aditivo redutor de água MC PowerFlow 1180 e fibra de aço carbono ancorada (Tec-Machine). A massa específica de cada componente está na Tabela 1.

Tabela 1 – Massa específica do cimento, microssílica e quartzo.

	Cimento (CPI)	Microssílica 920U	Quartzo (#6,3 a #0,02mm)
Massa específica (g.cm ⁻³)	3,00	2,11	2,65

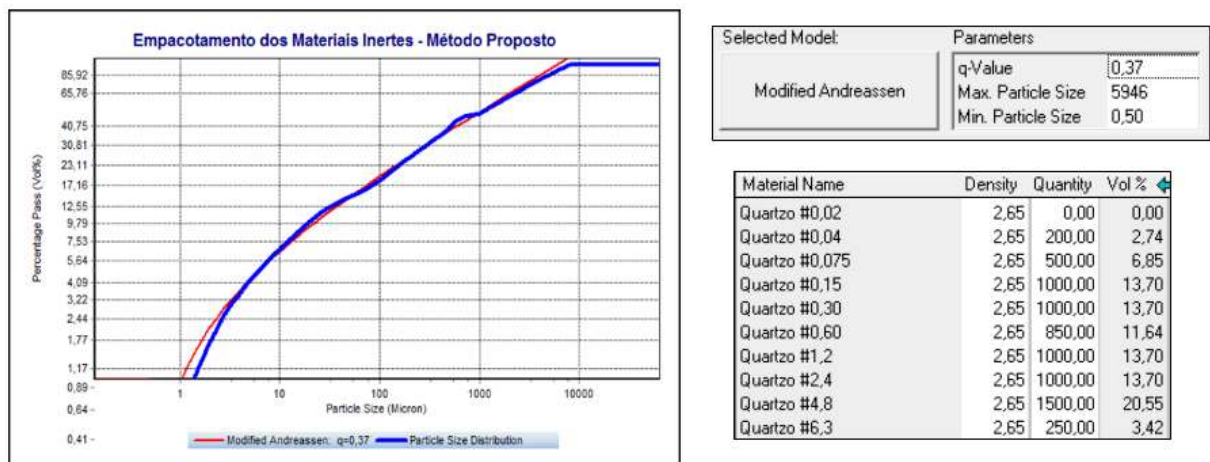
Método de Dosagem Desenvolvido

Os componentes granulares foram discretizados quanto a sua faixa granulométrica em um granulômetro a laser *HELOS/BR*, equipado com uma unidade de dispersão úmida automática Sucell. Estes dados foram adicionados ao software EMMA (*Elkem Materials Mixture Analyser*), para obter o melhor empacotamento possível dos materiais inertes. O empacotamento de partículas aplicado no software segue o modelo de Alfred (Andreasen Modificado), um aperfeiçoamento dos modelos anteriores, onde o diâmetro da menor partícula da mistura é considerado (Equação 1).

$$CPFT(\%) = 100 \left(\frac{D_P^q - D_S^q}{D_L^q - D_S^q} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Na equação acima o termo *CPFT* diz respeito à porcentagem volumétrica das partículas menores que o diâmetro D_P . D_L é o diâmetro da maior partícula, D_S é o diâmetro da menor partícula e q é o coeficiente de distribuição. O coeficiente de distribuição aplicado tem como base estudos feitos por Funk e Dinger (1993) e as comparações entre coeficientes feitas por Teixeira (2013), em que o valor 0,37 apresenta a distribuição granulométrica que alcança o máximo empacotamento possível das partículas. Através de ajustes na quantidade de cada faixa granulométrica o empacotamento real ficou muito próximo ao ideal, desta maneira foi definida a proporção dos materiais inertes (Figura 1).

Figura 1 – Empacotamento dos materiais inertes (quartzo) através do software EMMA.



A sílica é um componente pozolânico crucial por suas propriedades químicas e físicas. Ao reagir com o hidróxido de cálcio, resultante da hidratação do cimento, promove uma estrutura mais densa na pasta, diminuindo os vazios, propiciando uma maior resistência

mecânica e através de seu formato esférico e alta energia fornecida pelo equipamento de mistura, aumenta o espalhamento do concreto. A quantidade de sílica foi fixada em 0,20 em relação à massa de cimento com base em estudos e sua dupla importância (Neville, 1997).

O uso de aditivo redutor de água é justificado pelo aumento na trabalhabilidade, diminuição na quantidade de água empregada na mistura, conseqüentemente redução na relação água/aglomerante e aumento de resistência e durabilidade do compósito (Richard e Cheyrezy, 1995). O teor de aditivo redutor de água foi definido em 2% em relação à massa de cimento por ser uma quantidade usual e no meio da faixa indicada pelo fabricante.

A quantidade de cimento foi definida através da análise de um conjunto de fatores, sendo o principal a proporção da massa de cimento para com os materiais inertes empacotados. Ensaio foram feitos para analisar a influência do esqueleto granular no concreto e no comportamento da água e aditivo. O ensaio consistiu na variação da proporção do esqueleto granular em relação ao cimento, fixadas as demais variáveis, água e aditivo, caso houvesse a necessidade o traço era ajustado aumentando o fator a/c para obter comportamento de CAA. A relação entre o esqueleto granular e a quantidade de cimento é livre, porém, teores altos como (1:3,5) requerem muita água e favorecem a segregação e teores baixos como (1:1,5) favorecem a exsudação e acarretam em um desempenho insatisfatório das demais variáveis, a relação ideal encontrada foi 1:2,6. Fatores como otimização de aditivo, resistência mecânica, traços ricos ou pobres e custo também devem ser levados em conta na definição da proporção cimento-esqueleto granular. A quantidade de água está atrelada diretamente à quantidade de cimento, ao espalhamento desejado (Lei de Lyse) e à resistência mecânica (Lei de Abrams). Portanto, por meio de ensaios para refinar o traço foi determinado 0,31 de água em relação à massa de cimento. O traço obtido pelo modelo proposto está descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Traço unitário e simplificado obtido pelo método proposto.

Componentes	Traço unitário	Traço simplificado
Cimento (CPI - Branco)	1,000	1,000
Microssílica	0,200	0,200
Quartzo 6,3 mm	0,089	
Quartzo 4,8 mm	0,535	
Quartzo 2,4 mm	0,357	
Quartzo 1,2 mm	0,357	
Quartzo 0,6 mm	0,303	2,602
Quartzo 0,3 mm	0,357	
Quartzo 0,15 mm	0,357	
Quartzo 0,75 mm	0,178	
Quartzo 0,04 mm	0,071	
Quartzo 0,02 mm	0,000	
Aditivo redutor de água	0,020	0,020
Fator a/c	0,310	0,310
Consumo de Cimento (kg.m ⁻³)	575,194	575,194

Método e equipamento de mistura

O equipamento utilizado foi um misturador manual. A ordem de mistura consistiu em 3 fases, tomando como base em Hiremath e Yaragal (2017):

- i. Homogeneização a seco da sílica e do cimento por 3 minutos;
- ii. Adição de toda a água e aditivo, misturando até que o conjunto fique fluido, por cerca de 2 minutos;
- iii. Adição de todo o quartzo, previamente homogeneizado, misturando por 5 minutos.

Método de moldagem e cura

Os corpos-de-prova foram moldados sem qualquer tipo de adensamento ou vibração, visto que estas ações favorecem a segregação da fibra, apenas vertendo o concreto na forma, retirando o excesso de sua superfície. Desmoldou-se os corpos-de-prova após um dia da concretagem, submetidos a 7 dias de cura úmida, saturada de hidróxido de cálcio, e 7 dias ao ar livre. Os corpos-de-prova foram ensaiados com 15 dias de idade.

Comparação com o Empacotamento do Método proposto por Tutikian (2007)

Para analisar o desempenho do traço desenvolvido foi feito um estudo comparativo com o método proposto por Tutikian. Ambos os traços foram submetidos ao mesmo procedimento de cura e mistura e tiveram seu espalhamento e resistência à compressão axial comparados. O método de Tutikian possui um empacotamento pouco detalhado feito através de procedimentos simples de pesagem e verificação de índice de vazios. Para exemplificar, os materiais utilizados foram chamados de A e B, sendo que o material A sempre possui maior granulometria que o B, o método foi realizado em forma decrescente de granulometria. O recipiente utilizado possui volume de $5 \times 10^{-5} \text{ m}^3$. Iniciou-se a mistura com 100% do material A e 0% do material B. Para a construção da tabela de determinação do esqueleto granular foram utilizadas as equações de massa unitária compactada (Equação 2), massa específica da mistura (Equação 3) e índice de vazios (Equação 4). A combinação entre A e B que detém o menor índice de vazios se torna o novo material A e o próximo material a ser acrescentado torna-se o material B. A combinação final é a com menor índice de vazios e o esqueleto granular ideal.

$$M_{unitAB} = \frac{\text{Massa da Mistura (kg)}}{\frac{\text{Volume do Recipiente (dm}^3)}{100}} \quad \text{Equação 2}$$

$$M_{espAB} = \frac{(M_{espAB} \times \%A) + (M_{espAB} \times \%B)}{100} \quad \text{Equação 3}$$

$$V = \frac{M_{espAB} - M_{unitAB}}{M_{unitAB}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

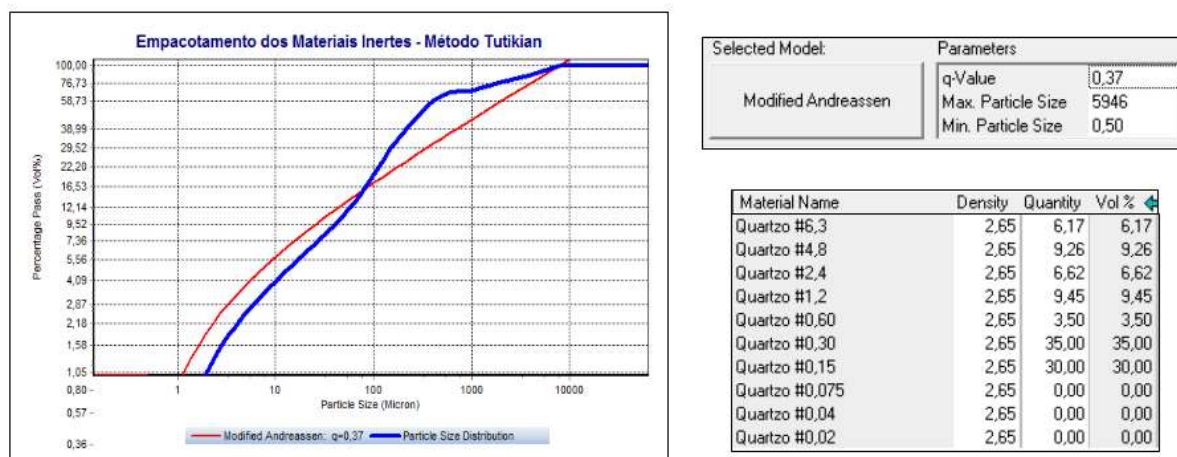
Este procedimento foi realizado 9 vezes, em ordem decrescente de diâmetro de partículas, até chegar ao cimento e a sílica, que são os únicos materiais que não são empacotados, de maneira a se obter a porcentagem ideal para o empacotamento entre todos os materiais, e assim, poder montar o esqueleto granular apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Esqueleto granular segundo o método Tutikian.

Material A	%	Material B	%	V (%)
Quartzo 6,3 mm	40	Quartzo 4,8 mm	60	47,87
Quartzo 6,3 e 4,8 mm	70	Quartzo 2,4 mm	30	44,97
Quartzo 6,3; 4,8 e 2,4 mm	70	Quartzo 1,2 mm	30	44,65
Quartzo 6,3; 4,8; 2,4 e 1,2 mm	90	Quartzo 0,6 mm	10	42,47
Quartzo 6,3; 4,8; 2,4; 1,2 e 0,6 mm	50	Quartzo 0,3 mm	50	37,88
Quartzo 6,3; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6 e 0,3 mm	70	Quartzo 0,15 mm	30	37,76

Para um efeito comparativo entre o empacotamento utilizado neste artigo e o proposto por Tutikian, analisar a Figura 1, citada anteriormente, e a Figura 2. A comparação deixa evidente a diferença entre o empacotamento dos agregados.

Figura 2 – Empacotamento dos materiais inertes através do Método Tutikian.



O traço de ambos os métodos está descrito a seguir na Tabela 4:

Tabela 4 – Traço de CAA desenvolvido por cada método.

Componentes	Traço Empacotado	Traço Tutikian
Cimento (CPI - Branco)	1,000	1,000
Microsílica	0,200	0,200
Quartzo 6,3mm	0,089	0,161
Quartzo 4,8mm	0,535	0,241
Quartzo 2,4mm	0,357	0,172
Quartzo 1,2mm	0,357	0,246
Quartzo 0,6mm	0,303	0,091
Quartzo 0,3mm	0,357	0,911
Quartzo 0,15mm	0,357	0,781
Quartzo 0,75mm	0,178	0,000
Quartzo 0,04mm	0,071	0,000
Quartzo 0,02mm	0,000	0,000
Aditivo redutor de água	0,020	0,020
Fator a/c	0,310	0,310 / 0,350
Consumo de cimento (kg.m ⁻³)	575,194	574,986 / 562,059
Fator água/aglomerantes	0,258	0,292
Fator água/finos	0,244	0,292

Os resultados para espalhamento e resistência à compressão estão na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados comparativos entre o método proposto e o de Tutikian.

Ensaio	Método	Método
	Empacotamento	Tutikian (a/c = 0,35)
Espalhamento (mm)	816,5 ± 5,4	622,5 ± 3,3
Resistência à compressão (MPa)	131,90 ± 3,59	67,42 ± 4,45
Classe de espalhamento (ABNT)	SF3	SF1

Durante o ensaio pelo método Tutikian, o concreto não obteve comportamento auto adensável, portanto para que fosse viável a comparação foi acrescentada água até que o concreto fosse classificado como CAA (Tabela 5). Analisando os resultados, é evidente o melhor desempenho obtido pelo método proposto, que visou um melhor empacotamento e classificação SF3 (Figura 3) enquanto Tutikian obteve classificação SF1 com muito mais água. O

desempenho insatisfatório do método Tutikian está intimamente atrelado à ausência de finos em sua composição. O método apresentou uma limitação no que diz respeito à grande quantidade de agregados e, na análise de granulometrias muito finas, tal fato é observado na ausência de agregados mais finos do que 0,075 mm e no fator água/finos. Os componentes muito finos têm papel fundamental no espalhamento do CAA, uma vez que facilitam o deslizamento dos componentes do concreto e auxiliam no combate à segregação por absorver bastante água devido à sua elevada área superficial. A elevada presença de areia acaba por limitar a movimentação dos agregados e impedir o melhor espalhamento.

A resistência apresentou resultados muito mais favoráveis ao método proposto, além de confirmar o ótimo empacotamento. O desempenho do concreto em estudo foi aproximadamente o dobro de seu concorrente.

Figura 3 – Espalhamento SF3, método proposto.



Após a conclusão de que o método pautado no empacotamento mais detalhado obteve melhor desempenho, o traço desenvolvido foi reforçado com os seguintes teores de fibras metálicas: 1, 2, 3 e 5% em relação ao volume e teve suas propriedades no estado fresco e endurecido estudadas.

Resultados e Discussão

Propriedades no Estado Fresco

Os ensaios para análise das características no estado fresco foram espalhamento e t50, anel J e coluna de segregação. As propriedades do concreto obtidas pelos ensaios são respectivamente viscosidade plástica, habilidade passante e resistência à segregação (ABNT NBR 15823-1, 2010).

Tabela 6 – Propriedades no estado fresco do CAA estudadas.

Traço	Abatimento (mm)	Espalhamento (mm)	Anel J (mm)	t50 (s)	Coluna de Segregação (%)	Segregação das Fibras (%)
Piloto	-	816,5	680,0	13,0	16,1	-
1%	-	790,0	726,7	11,0	9,5	14,8
2%	-	688,0	607,0	7,0	17,3	0,0
3%	255,0	-	-	-	-	-
5%	200,0	-	-	-	-	-

Além dos estudos presentes em norma, foi realizado um estudo de segregação de fibras inspirado no estudo de segregação do concreto (Tabela 6).

A incorporação de fibras metálicas acarretou diversas mudanças no comportamento do compósito. A inspeção visual mostrou que todos os compósitos produzidos não apresentaram exsudação ou segregação enquanto tiveram comportamento de CAA, obtendo a classificação IEV0. Analisando o espalhamento e abatimento de acordo com o teor das fibras, é evidente a diminuição do espalhamento com o aumento da quantidade de fibras. A fibra impede a movimentação natural do agregado devido à sua massa específica elevada e seu formato, que acaba associando áreas distintas do concreto e gerando uma maior resistência ao movimento.

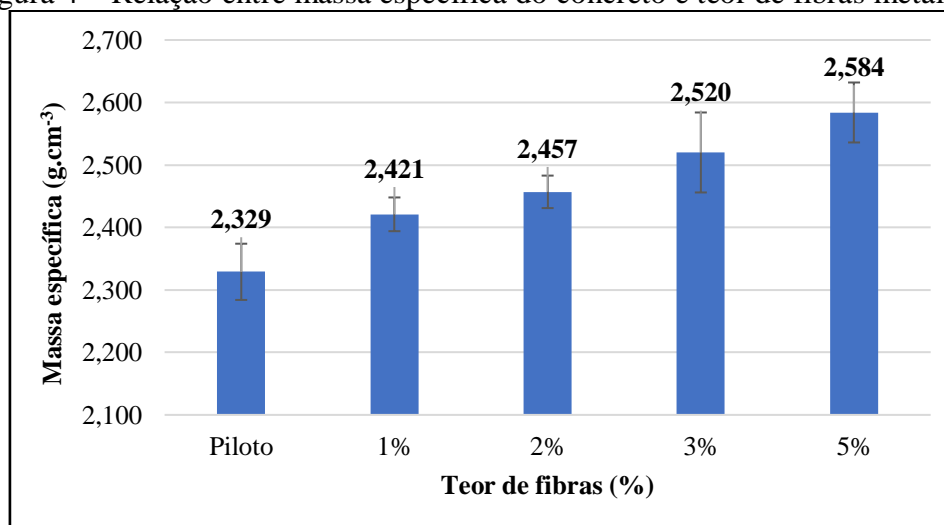
A análise da habilidade passante apresentou uma relação com a resistência à segregação. Neste experimento foi possível constatar que porcentagens pequenas de fibra, como 1% do volume, são benéficas para as duas propriedades. Esses pequenos incrementos aumentaram a massa específica do concreto, o que favorece uma melhor compactação do mesmo, mantendo o compósito viscoso, mas com uma menor tendência à segregação. A melhoria nestas propriedades é visível, os corpos-de-prova com teor de 1% possuíam o melhor acabamento. A classificação quanto à segregação do concreto mostra que o teor de 1% é SR2 por obter um índice menor do que 15%, e os demais CAAs são SR1 por ter um índice maior que 15% e menor que 20%. Todos os concretos que mantiveram comportamento auto adensável, ou seja, traço piloto, com de 1% e 2% de fibra foram classificados como PJ2, elevada capacidade passante e VS2 tempo de deslocamento para atingir a marca de 500 mm maior do que 2 segundos. A segregação da fibra foi nula com 2% de fibra e aceitável com 1%.

Propriedades no Estado Endurecido

Para o estudo do comportamento no estado endurecido foram moldados 12 corpos-de-prova cilíndricos de 7,5x15 cm, sendo metade destinado a ensaio de compressão axial e a outra metade a tração por compressão diametral (ABNT NBR 5739-5, 2007), e 1 corpo-de-prova prismáticos de 5x5x40 cm, destinado ao impacto. Este procedimento foi realizado para o traço padrão e todos os teores de fibras metálicas. Todos os ensaios foram realizados 15 dias após a produção do concreto.

A massa específica do concreto obteve um aumento considerável com acréscimo de fibras. Esse comportamento é explicado pela elevada massa específica da fibra de aço, $7,86 \text{ g.cm}^{-3}$ (Figura 4).

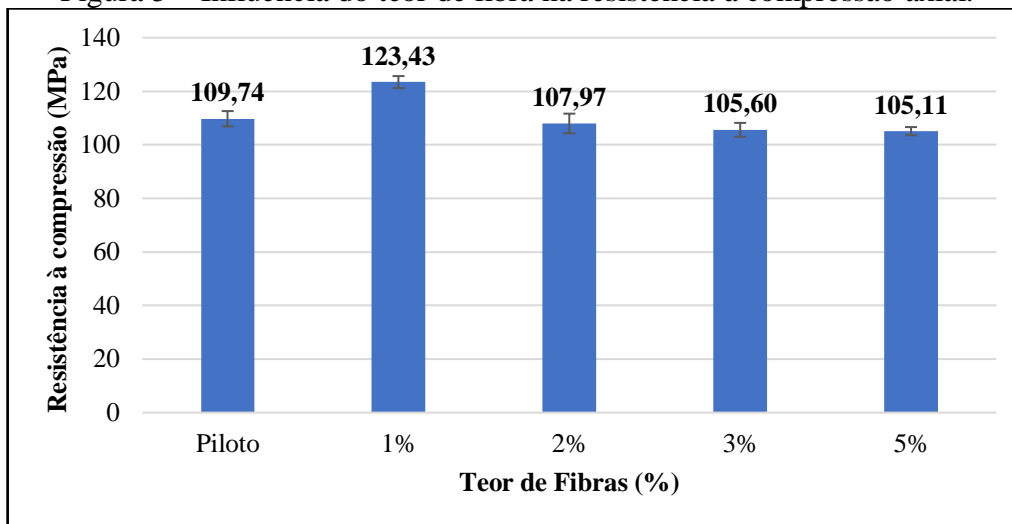
Figura 4 – Relação entre massa específica do concreto e teor de fibras metálicas.



O incremento das fibras não acarretou em mudanças significativas na resistência à compressão simples. Os quesitos relevantes para análise da resistência são aderência da fibra

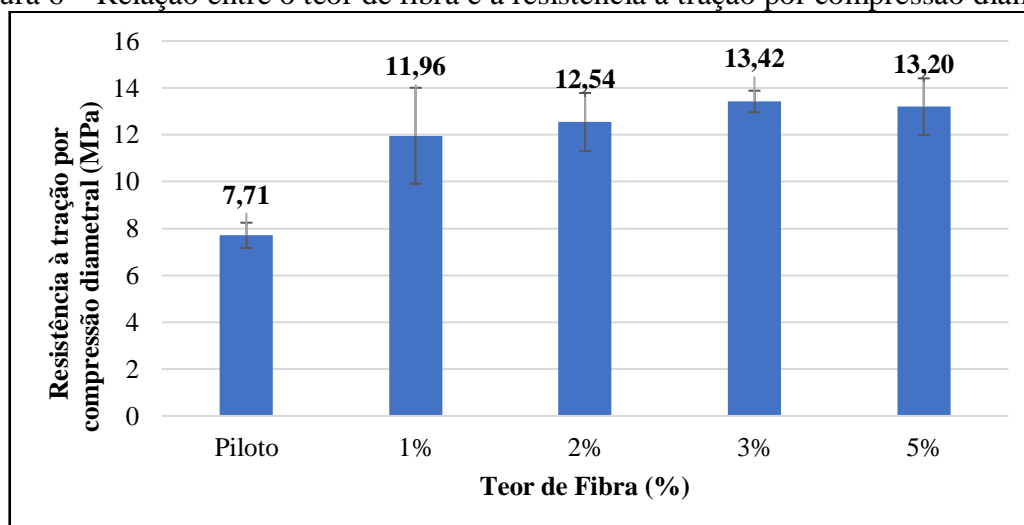
ao concreto e capacidade de compactação do material. Como levantado na análise do estado fresco, 1% apresentou uma melhor capacidade de compactação quando comparado aos demais. O concreto com incremento de 2% apresentou um aumento sensível de ar incorporado, o que favorece a aparição de falhas de concretagem (bicheiras) e, conseqüente, diminuição da resistência. Os demais concretos em análise obtiveram comportamento de concreto convencional (CCV), o que torna a aderência da fibra à matriz muito pior, uma vez que, para não afetar o estudo, o concreto não foi adensado e nem vibrado, pois poderia favorecer a segregação e explica o porquê do desempenho pior em relação ao concreto piloto (Figura 5).

Figura 5 – Influência do teor de fibra na resistência à compressão axial.



O comportamento para compressão diametral é totalmente distinto ao anterior. As fibras exercem um papel de destaque na tração, pois tornam o concreto um material muito mais tenaz por costurar as fissuras e associar partes distintas do concreto por seu formato. Portanto, é natural o grande aumento do concreto padrão para os com acréscimo de fibra. Contudo, a aderência da fibra ao concreto é crucial e os concretos com 3% e 5%, não apresentam boa aderência, o que afetou os resultados obtidos, era esperado uma crescente na resistência à tração (Figura 6).

Figura 6 – Relação entre o teor de fibra e a resistência à tração por compressão diametral.



Estudos mostram que a resistência ao impacto tem mais relação com a resistência à tração do que com resistência à compressão, pois a zona de transição é muito mais influente nos esforços (Mehta, 1994).

O ensaio para impacto consistiu em quedas de 10 cm de altura com um peso de 15 kg, no centro da viga, sendo contabilizado o número de quedas a que a viga bi apoiada resistiu. Considerou-se energia potencial do sistema como sendo a energia absorvida pelo concreto (Tabela 7).

O comportamento do concreto sob impacto demanda a análise de um conjunto de fatores, porém, a resiliência e a tenacidade do compósito são cruciais para essa resistência, tendo em vista que são propriedades que quantificam a energia que este componente suporta. Portanto, o aumento do teor de fibras e o conseqüente aumento de deformação, o efeito de costurar as fissuras que surgem (Figura 7) e principalmente a tenacidade, explicam o melhor desempenho sob impacto do concreto com incremento de 5% de fibra.

Figura 7 – Redução da propagação das fissuras pela fibra.



Tabela 7 – Dados do CRFM submetidos ao impacto.

Traço	Quedas de 10 cm - resistidas	Energia de ruptura (J)
Piloto	0	0
1%	0	0
2%	2	30
3%	2	30
5%	3	45

Conclusões

O estudo desenvolveu um método de dosagem fundamentado no controle rígido da execução e na origem dos materiais. Esta metodologia permite um empacotamento muito próximo ao ideal, porém é necessário um controle na granulometria inviável. Portanto, é fundamental um estudo estatístico para analisar a viabilidade de aplicação do modelo. O comparativo com o método criado por Tutikian (2007) mostrou que os métodos possuem aplicações distintas. O método proposto nesta pesquisa tem seu uso limitado para situações extremamente específicas como elementos com taxa extremamente elevada de armadura e fundações de grandes edifícios pela necessidade de altas resistências e liberdade geométrica em fôrmas. Em contrapartida, o método proposto por Tutikian é amplo e permite execução em diversas situações, porém com resistências menores, por conseqüência de seu esqueleto granular menos detalhado.

O desempenho obtido com o método proposto foi satisfatório: um concreto de alto desempenho, alto espalhamento, que permite o uso em qualquer circunstância, e resistência elevada próxima aos 140 MPa.

O incremento da fibra promoveu mudanças significativas nas propriedades do concreto. No estado fresco observou-se a diminuição da viscosidade plástica do concreto com o aumento do teor de fibras, a perda de trabalhabilidade foi elevada, sendo que para teores maiores do que

2%, o comportamento do concreto passava de CAA para CCV. Esta mudança de comportamento no estado fresco promoveu mudanças significativas no estado endurecido, pois a aderência da fibra à matriz foi afetada, tornando o desempenho dos teores 3% e 5% piores do que o esperado. As propriedades no estado endurecido mostraram pequenas mudanças na resistência à compressão, mudanças significativas à tração e impacto. A resistência ao impacto foi proporcional ao aumento do teor das fibras, diferentemente da resistência à tração e à compressão. Essa diferença de comportamento mostra que o impacto é melhor analisado quando relacionado à resiliência e à tenacidade, propriedades do material que são drasticamente alteradas quando à adição de fibras.

Referências Bibliográficas

- ABNT NBR 15823-1. (2010). *Concreto Auto Adensável – Determinação da habilidade passante – Método do anel J - Parte 3*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT NBR 15823-1. (2010). *Concreto Auto Adensável - Determinação da resistência à segregação – Método da coluna de segregação - Parte 6*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT NBR 15823-1. (2010). *Concreto Auto Adensável - Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams - Parte 1*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT NBR 5739-5. (2007). *Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Castro, A. L.; Pandolfelli, V. C. (2009). Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. *Cerâmica*, 55(333), 18-32.
- Figueiredo, A. D. (2000). *Concreto com Fibra de Aço*. São Paulo: Escola Politécnica da USP.
- Funk, J. E.; Dinger D. R. (1994). *Derivation of the Dinger-Funk Particle Size Distribution Equation* (Vol. 5). New York: 43.
- Hiremath, P. N.; Yaragal, S. C. (2017). Influence of mixing method, speed and duration on the fresh and hardened properties of Reactive Powder Concrete. (2017, Ed.) *Construction and Building Materials*, 141, 271-288.
- Mehta, P. K. (1994). *Concreto Estrutura, Propriedades e Materiais* (Vol. 2). Pini.
- Neville, A. M. (1997). *Propriedades do Concreto* (Vol. 5). Leeds: Bookman.
- Oliveira, I. R.; Studart, A. R.; Pileggi, R. G. (2000). Dispersão e empacotamento de partículas: princípios básicos e aplicações em processamento cerâmico. *Fazendo Arte Editorial*, 224.
- Richard, P.; Cheyrezy, M. (1995). Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1501-1511.
- Teixeira, C. S. (2013). *Estudo da Influência do Empacotamento de Partículas nas Propriedades do Concreto*. São Caetano do Sul: Instituto Mauá de Tecnologia.
- Tobias, J. S. (2017). Influência do Teor de Diferentes Fibras de Aço em Concretos Autoadensáveis. *Tese de Mestrado*. Pato Branco, Paraná, Brasil: UFPR.
- Tutikian, B. F. (2007). Proposição de um Método de Dosagem Experimental para Concretos Auto-Adensáveis. *Tese de Mestrado*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: UFRS.