

COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE AÇO VISANDO APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS

Data de aceite: 01/02/2024

Eduarda Lemos Rodrigues

Universidade Federal de Santa Maria

Lucas Eduardo Dornelles

Universidade Federal de Santa Maria

Victória Nunes-Ramos

Universidade Federal de Santa Maria

Silvio Lisboa Schuster

Universidade Federal de Santa Maria

-25° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

RESUMO: Uma das possibilidades para o aumento do percentual de malha rodoviária pavimentada no Brasil é a pavimentação de concreto. Apesar do seu alto custo inicial e baixa Resistência à Tração, ela apresenta uma maior vida útil comparada a pavimentação asfáltica, consequentemente, permitindo um alcance maior no percentual rodoviário. Além disso, a adição de materiais ao concreto, como fibras, permite a melhoria das propriedades mecânicas do material. Desta forma, este trabalho teve como objetivo a avaliação

da influência da adição de fibras de aço no comportamento mecânico de concreto para pavimentos. Em laboratório, foi realizada a caracterização física dos materiais utilizados na pesquisa, quais sejam, o agregado graúdo, o agregado miúdo e o cimento CP IV. Utilizou-se uma fibra de aço comercial. Foram elaborados três traços distintos, sendo um traço de referência, um com a adição de 10% de fibras de aço em relação ao cimento e um com adição de 20% de fibras de aço em relação ao cimento. A avaliação do comportamento mecânico do concreto com adição de fibras foi realizada através dos ensaios de compressão simples e tração na flexão e o tempo de cura para todas as amostras foi de 28 dias. Após a finalização dos rompimentos das amostras, não foi possível identificar uma diferença expressiva entre as adições, mas satisfatoriamente os resultados das adições nas duas resistências foram significativos, chegando a aumentos de 25,33% na Resistência à Compressão Simples e 15,07% na Resistência à Tração na Flexão. Sendo assim, foi possível concluir que a adição de fibra de aço é uma boa alternativa para melhoria das propriedades mecânicas de concretos para pavimentos, resultando em estruturas com maior resistência.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras; Adição; Concreto; Pavimentos.

ABSTRACT: One of the possibilities for increasing the percentage of paved roads in Brazil is concrete paving. Despite its high initial cost and low tensile strength, it has a longer service life compared to asphalt paving, consequently allowing a greater reach in the road percentage. In addition, the addition of materials to concrete, such as fibers, allows the improvement of the mechanical properties of the material. Thus, this work aimed to evaluate the influence of the addition of steel fibers on the mechanical behavior of concrete for pavements. In the laboratory, the physical characterization of the materials used in the research was carried out, namely, the coarse aggregate, the fine aggregate and CP IV cement. A commercial steel fiber was used. Three distinct traces were elaborated, being a reference trace, one with the addition of 10% of steel fibers in relation to the cement and one with the addition of 20% of steel fibers in relation to the cement. The evaluation of the mechanical behavior of the concrete with the addition of fibers was carried out through the tests of simple compression strength and flexural tensile strength and the curing time for all samples was 28 days. After the completion of the ruptures of the samples, it was not possible to identify an expressive difference between the additions, but satisfactorily the results of the additions in the two strengths were significant, reaching increases of 25.33% in the simple compression strength and 15.07% in the flexural tensile strength. Therefore, it was possible to conclude that the addition of fibers, in this case steel fiber, is a good alternative to improve the mechanical properties of concrete for pavements, resulting in structures with greater strength.

KEYWORDS: Fibers; Addition; Concrete; Pavements.

INTRODUÇÃO

De acordo com dados da Pesquisa de Rodovias da CNT (2022), o Brasil conta com cerca de 213.500 quilômetros de rodovias pavimentadas, o que corresponde a apenas 12,4% da extensão total da malha rodoviária do país. Desta forma, é possível identificar a importância do desenvolvimento desse modal e a necessidade de pesquisar e investir em tecnologias que permitam a construção de novas rodovias de forma econômica e sustentável.

Conforme Müller (2016), pavimentos de concreto têm sido utilizados desde o início do desenvolvimento rodoviário, uma vez que tais estruturas permitem uma grande durabilidade e alta resistência aos esforços solicitantes. Enquanto que nos pavimentos flexíveis as cargas acabam sendo concentradas na forma de esforços verticais no subleito, nos pavimentos de concreto as cargas são melhores distribuídas ao longo da estrutura. Ainda, pavimentos de concreto resultam em menor manutenção ao longo da vida útil, o que os tornam mais viáveis economicamente.

O pavimento de concreto pode ser dividido em três camadas, sendo elas o subleito, a base e a camada de revestimento. O primeiro corresponde ao terreno de fundação que é preparado para suportar o pavimento, enquanto que a base é a estrutura que controla as deformações no concreto e o comportamento mecânico das placas com o subleito. Por

fim, o revestimento corresponde às placas de concreto que formam a camada superior do pavimento de concreto.

Figueiredo (2006) comenta que, apesar da grande versatilidade e com a melhoria das propriedades, tais como a trabalhabilidade, aparência, durabilidade e Resistência à Compressão, o concreto ainda apresenta uma baixa Resistência à Tração.

No Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (IPR 714/2005) é citado que resistências menores ou iguais a 4,0 MPa, correspondem a concretos de durabilidade inadequada sendo necessária uma placa mais espessa, enquanto que concretos com resistências maiores que 5,0 MPa correspondem a concretos com uma durabilidade mais adequada, mas que exigem um controle tecnológico rigoroso. Segundo Almeida (1999), para reduzir as imperfeições, vieram os materiais reforçados com fibras, que portam uma maior Resistência à Tração, à impacto, à fadiga, à abrasão, são mais tenazes e dúcteis. Além disso, a presença das fibras evita o espalhamento das fissuras através da matriz. Conclui-se então que a função das fibras é manipular o comportamento dos concretos, visto que uma vez fissurada a matriz, essas funcionam como ponte de transferência de tensão promovendo ductilidade pós- fissuração.

O diferencial do concreto reforçado com fibras de aço é a distribuição em toda a matriz do concreto, gerando um efeito rede através de milhares de fibras. Esse efeito é possível observar na pesquisa realizada por Santos *et al* (2020), sobre vigas de concreto reforçado com fibras de aço submetidas à flexão, em que foi feito o ensaio de flexão de quatro pontos, e utilizado o CP II E 32, para o traço com fibras foi adotado 20 Kg/m³ de fibras de aço para cada corpo de prova. Sendo que, o traço de referência alcançou uma média de 17,07 MPa e o traço com fibras de aço obteve uma média de 21,62 MPa.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a adição de fibras de aço em pavimentos de concreto. Visa-se a análise do comportamento mecânico desta adição nas propriedades do concreto, e por consequência, propor sua aplicação em obras rodoviárias.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução da etapa experimental do estudo, foi realizada a caracterização de todos os materiais utilizados, sendo eles o cimento, os agregados, as fibras, a água e o aditivo. Posteriormente foi determinada a dosagem dos traços, sendo um traço de referência (REF), um traço com adição de 10% de fibras de aço em relação ao cimento (CRFA 10% - Concreto Reforçado com Fibra de Aço no teor de 10%) e um traço com adição de 20% de fibras de aço em relação ao cimento (CRFA 20% - Concreto Reforçado com Fibra de Aço no teor de 20%). Após o procedimento de dosagem, foi realizada a moldagem dos corpos de prova, que foram rompidos em 28 dias, nos ensaios de Resistência à Compressão Simples e Resistência à Tração na Flexão.

Cimento

Optou-se adotar o CP IV por questão de disponibilidade local, sendo que esse material deve cumprir as condições da NBR 16697 (ABNT, 2018).

Agregado graúdo

Como agregado graúdo foi utilizada o agregado com granulometria entre 9,5 a 19mm. Este material é proveniente de uma pedreira de Santa Maria/RS, sendo que o mesmo deve cumprir as condições da NBR 7211 (ABNT, 2005). Para caracterização física do agregado graúdo, foi realizado o ensaio de análise granulométrica, processo descrito na NBR NM 248 (ABNT, 2003) e na NBR 7181 (ABNT, 2018). A Tabela 1 representa a Composição Granulométrica do Agregado Graúdo utilizado. O ensaio da Massa Específica Absoluta (M-E-A) do Agregado Graúdo foi realizado de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006), e o resultado está representado na Tabela 2.

Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		%	%	
nº	mm	Peso Retido	%	Peso Retido	%	Retida	Retida	
		g	Retida	G	Retida	Média	Acumulada	
3/4"	19	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,5	619,5	61,96	646,6	64,63	63,30	63,30	63,30
3/8"	9,5	297,3	29,74	289,7	28,96	29,35	92,64	92,64
1/4"	6,3	75,5	7,55	60	6,00	6,77	99,42	99,42
4	4,8	4,9	0,49	3,1	0,31	0,40	99,82	99,82
8	2,4	1,6	0,16	0,3	0,03	0,10	99,91	99,91
16	1,2	0,2	0,02	0	0,00	0,01	99,92	99,92
30	0,6	0	0,00	0	0,00	0,00	99,92	99,92
50	0,3	0	0,00	0	0,00	0,00	99,92	99,92
100	0,15	0	0,00	0	0,00	0,00	99,92	99,92
200	0,075	0,1	0,01	0,3	0,03	0,02	99,94	
fundo	<0,15	0,7	0,07	0,5	0,05	0,06		0,00
Total		999,80	100,00	1000,50	100,00	100,00	791,99	791,99
Diâmetro máximo:		12,5 mm;		nº 3/4"	Módulo de finura:	7,92		

Tabela 1. Composição Granulométrica do Agregado Graúdo.

A	Massa	B	Massa	C	Massa	D	Massa	E	Massa	F	Volume	M-E-A
	seca		Seca		Imersa		Imersa		SSS			
g	Est.	g	Est.	g	Bruta	g	Líquida	g	Líquida	G	E-D	B/F
	Bruta		Líquida									
1340,00		1090,00		1305,00		1166,00		1781,00		615,00		1,77
1350,00		1100,00		1300,00		1161,00		1794,00		633,00		1,74
Cesto ao ar:		250		Cesto imerso:		139				Média:		1,76

Tabela 2. Características do Agregado Graúdo.

Agregado miúdo

Para o agregado miúdo foi utilizada a areia média natural de origem de Santa Maria/RS, sendo que o material deve cumprir as condições da NBR 7211 (ABNT, 2005).

Foi realizado o ensaio granulométrico no agregado miúdo, processo caracterizado na NBR NM 248 (ABNT, 2003) e na NBR 7181 (ABNT, 2018). A Tabela 3 indica a Composição Granulométrica do Agregado Miúdo utilizado. Para a realização do ensaio da Massa Específica do Agregado Miúdo seguiu-se a normativa a NBR 6458 (ABNT, 2017), visto que o resultado está representado na Tabela 4.

Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		%	%	
nº	mm	Peso Retido	%	Peso Retido	%	Retida	Retida	
		g	Retida	g	Retida	Média	Acumulada	
1/4"	6,3	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4,8	3	0,30	4,6	0,46	0,38	0,38	0,38
8	2,4	7,2	0,73	8,1	0,81	0,77	1,15	1,15
16	1,2	29,6	3,00	34,9	3,50	3,25	4,40	4,40
30	0,6	154,4	15,62	202,8	20,32	17,97	22,37	22,37
50	0,3	494,7	50,06	555,8	55,69	52,88	75,25	75,25
100	0,15	196,6	19,89	129,8	13,01	16,45	91,70	91,70
200	0,075	0	0,00	0	0,00	0,00	91,70	
fundo	<0,15	102,7	10,39	62	6,21	8,30		0,00
Total		988,20	100,00	998,00	100,00	100,00	286,95	286,95
Diâmetro máximo:			4,8 mm;	nº16	Módulo de finura:	2,87		

Tabela 3. Composição Granulométrica do agregado miúdo.

Propriedade	Resultado
Massa Específica	2,58 g/cm³
Massa Unitária Solta	1,486 kg/dm³
Dmáx. Característico	1,20 mm
Módulo de Finura	1,56

Tabela 4. Características do agregado miúdo.

Fibras

A fibra empregada neste estudo foi a de aço. Sua produção é oriunda de aço de baixo teor de carbono, trefilado a frio. Utilizou-se a fibra comercial da Maccaferri, modelo Wirand FS8, que cumpre as especificações da ASTM A 820/02, ASTM C 1116/03, DIN 1045 e ABNT NBR 15530/07. A Figura 1 apresenta a fibra utilizada.



Figura 1. Fibras de aço.

Água

A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento de água de Santo Ângelo/RS, através da CORSAN (Companhia Rio-grandense de Saneamento), filtrando partículas impuras.

Aditivo

O aditivo aplicado foi o TEC-FLOW 8000, um superplastificante para concreto com alto poder de redução de água. Para sua utilização, o material deve cumprir as condições da NBR 11768 (ABNT, 2011).

Dosagem do concreto

A Tabela 5 representa os traços unitários em massa.

TRAÇOS	CIMENTO	FIBRAS DE AÇO	AREIA	BRITA 1	ADITIVO	a/c
REF	1	-	2,06	2,94	-	0,47
CRFA 10%	1	0,1	2,06	2,94	0,03	0,47
CRFA 20%	1	0,2	2,06	2,94	0,03	0,47

Tabela 5. Traços Unitários em massa.

A Tabela 6 indica o consumo dos materiais.

TRAÇOS (Kg)	CIMENTO	FIBRAS DE AÇO	AREIA	BRITA 1	ADITIVO	a/c
REF	17,53	-	36,01	51,45	-	8,24
CRFA 10%	17,53	1,753	36,01	51,45	0,52	8,24
CRFA 20%	17,53	3,506	36,01	51,45	0,52	8,24

Tabela 6. Consumo dos materiais.

Moldagem

A moldagem dos corpos de prova seguiu as diretrizes da normativa DNIT 049/2004. Foram necessários 105 kg de material para cada mistura, o que resultou em cinco corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, e três prismáticos, com dimensões de 50 cm de comprimento, 15 cm de largura e 15 cm de altura, para cada traço, totalizando 24 amostras.

Os materiais foram postos na betoneira na sequência: brita, cimento e areia, e a água foi acrescentada aos poucos. Ao colocar a quantidade de água calculada pelo fator a/c de 0,47, foi observado que para obter uma melhor trabalhabilidade seria preciso o aditivo, que foi misturado nos traços que tiveram essa necessidade. Após a elaboração do traço, a mistura foi posta nas fôrmas que foram untadas com um óleo desmoldante para uma desmoldagem mais prática. A cada mistura colocada na fôrma utilizou-se o vibrador para auxiliar no adensamento do concreto, evitando os espaços vazios e até mesmo o excesso de água. A desmoldagem dos corpos de prova foi realizada no dia posterior, e sua cura foi feita na câmara úmida durante 28 dias.

Ensaio de compressão simples

Na execução do ensaio de compressão simples foram seguidas as condições da NBR 5739 (ABNT, 2018), sendo que foram ensaiados três corpos de prova cilíndricos para cada traço. O equipamento utilizado no ensaio é a prensa EMIC SSH300 com uma competência de 200 kN, localizada no Laboratório de Ensaios Tecnológicos da Construção Civil (LETCC) da URI – Santo Ângelo. A Figura 2 apresenta o Corpo de Prova antes do rompimento, e na Figura 3 são apresentados os CPs dos traços da REF (a) e do CRFA 20% (b) depois do rompimento.



Figura 2. Corpo de Prova antes do rompimento.



Figura 3. Corpo de Prova REF (a) e CRFA 20% (b) depois do rompimento.

Ensaio de tração na flexão

Para a execução do ensaio de tração na flexão seguiu-se as condições da NBR 7222 (ABNT, 2011), sendo que foram ensaiados três corpos de prova prismáticos para cada traço. O equipamento utilizado neste ensaio é o mesmo utilizado para o ensaio de compressão simples. A Figura 4 representa o corpo de prova antes do rompimento, e a Figura 5 apresenta as amostras dos traços da REF (a) e do CRFA 20% (b) depois do rompimento.



Figura 4. Corpo de Prova antes do rompimento.



Figura 5. Corpo de Prova REF (a) e CRFA 20% (b) depois do rompimento.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para avaliar o impacto da adição das fibras de aço em concreto para pavimentos, serão apresentados os resultados de Resistência à Compressão Simples e Resistência à Tração na Flexão.

Resultados de Resistência à Compressão Simples

A Tabela 7 apresenta os valores de resistência obtidos para cada traço no ensaio de compressão simples, em MPa, e ainda o desvio padrão e média calculados. Na Figura 6 foi realizada uma comparação da média encontrada de cada traço.

TRAÇO	AMOSTRAS	FORÇA(kN)	RESISTÊNCIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	MÉDIA
Referência	REF – 457	125,73	16,01	0,64	16,46
	REF - 458	132,81	16,91		
CRFA 10%	10% - 505	147,61	18,79	1,47	20,37
	10% - 506	170,40	21,70		
	10% - 507	161,85	20,61		
CRFA 20%	20% - 513	171,14	21,79	1,04	20,63
	20% - 514	159,74	20,34		
	20% - 515	155,24	19,77		

Tabela 7. Resultados de Resistência à Compressão Simples.

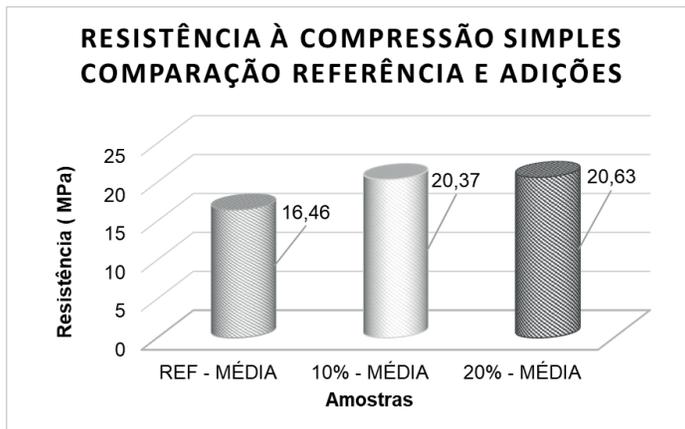


Figura 6. Resistência à Compressão Simples.

Conforme Bergonzi (2017), a Análise de Variância (ANOVA) compara as variâncias entre as médias, e essa análise de fator único, calcula o Fator de Fibra de Aço. E quando as médias são consideradas iguais, ou seja, não ocorre efeito do fator, é quando o F é menor que o F crítico, ou ainda quando o valor-P é maior que o erro admissível, sendo utilizado para este estudo o valor de 0,05. Na Tabela 8 é apresentado o Resultado ANOVA da Resistência à Compressão Simples.

RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Referência	2	32,92	16,46	0,405		
CRFA 10%	3	61,1	20,3667	2,16143333		
CRFA 20%	3	61,9	20,63333	1,08463333		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	25,4958222	2	12,74791	14,786330	0,0079541	5,79
Dentro dos grupos	6,8971333	5	1,379427			
Total	32,3929556	7				

Tabela 8. Resultado ANOVA da Resistência à Compressão Simples.

O melhor resultado foi para o teor de 20% de adição, entretanto o valor para 10% de adição foi muito próximo ao da adição de 20%, tendo apenas 0,26 MPa de acréscimo. Isso demonstra que o aumento do teor de adição não influenciou relativamente no desempenho do material neste parâmetro. Ainda, é possível identificar que a adição de fibras de aço resulta em um aumento próximo a 25% na resistência das amostras. Ao avaliar os três traços foi possível perceber que as adições de fibras de aço ocasionaram em um aumento bastante significativo em relação ao traço da referência. Visto que, o resultado ANOVA demonstrou que há influência da fibra de aço no concreto.

Resultados Resistência à Tração na Flexão

A Tabela 9 apresenta os valores de resistência obtidos para cada traço no ensaio de Resistência à Tração na flexão, em MPa, e ainda o desvio padrão e média calculados. Na Figura 7 foi realizada uma comparação da média encontrada de cada traço, e a Tabela 10 é referente ao resultado ANOVA da Resistência à Tração na Flexão.

TRAÇO	AMOSTRAS	FORÇA(kN)	RESISTÊNCIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	MÉDIA
Referência	REF – 462	24,5	3,27	0,25	3,45
	REF – 463	27,2	3,63		
	10% - 510	27,1	3,62		
CRFA 10%	10% - 511	29,3	3,91	0,18	3,83
	10% - 512	29,7	3,96		
	20% - 518	30,9	4,12		
CRFA 20%	20% - 519	27	3,60	0,32	3,97
	20% - 520	31,4	4,19		

Tabela 9. Resultados de Resistência à Tração na Flexão.

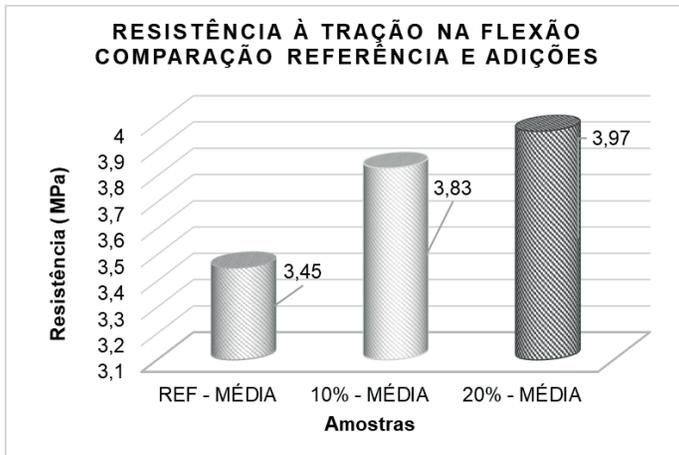


Figura 7. Resistência à Tração na Flexão.

RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Referência	2	6,9	3,45	0,0648		
CRFA 10%	3	11,49	3,83	0,0337		
CRFA 20%	3	11,91	3,97	0,1039		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,3444	2	0,1722	2,53235294	0,1739491	5,79
Dentro dos grupos	0,544	5	0,068			
Total	0,8884	7				

Tabela 10. Resultados de Resistência à Tração na Flexão.

Comparando os traços, o melhor resultado foi com a adição de 20%, no entanto o resultado da adição de 10% foi aproximado com o da adição de 20%, tendo apenas 0,14 MPa de acréscimo, ou seja, o aumento da adição não teve uma influência expressiva no resultado. Apesar de não ser estabelecido em norma um valor mínimo, as amostras obtiveram um valor abaixo de 4,0 MPa, conseqüentemente correspondendo a uma durabilidade inadequada. Mesmo assim, é possível identificar que a adição de fibras de aço resulta em um aumento próximo a 10% na resistência das amostras.

Avaliando o resultado ANOVA foi observado que não há influência da fibra de aço no concreto em relação ao ensaio de Resistência à Tração na Flexão, ou seja, os resultados não tiveram uma diferença significativa.

CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados, foi possível identificar um potencial de utilização

de fibras de aço para o desenvolvimento de concretos mais resistentes. Em relação à Resistência à Compressão Simples, foi possível obter um aumento próximo a 25% no parâmetro de resistência com a adição. Já na Resistência à Tração na Flexão, o aumento foi menor, na ordem de 10%, sendo um aumento também considerável.

Considerando que não teve um aumento significativo entre os teores de fibras de aço, é notável que não seria uma vantagem econômica optar por um traço com alto teor de fibras, tendo em vista que esse concreto mais resistente necessitaria que o teor fosse maior que 20%, assim aumentando o custo total do pavimento.

Avaliando os resultados foi possível constatar que os teores não tiveram influência na Resistência a Tração na Flexão e que não foi alcançado na Resistência a Compressão Simples um valor de concreto estrutural. Desta forma, esse concreto não pode ser utilizado em obras rodoviárias.

Mesmo que os resultados obtidos ainda não sejam totalmente satisfatórios, foi possível identificar tal potencial, que permite a elaboração de novos estudos com o material utilizando diferentes traços, cimentos, teores de adição e aditivos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. O. de. Estudo da tenacidade e proposta de nova configuração de ensaio de flexão em placas para os concretos reforçados com fibras de aço. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2018.

NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.

NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.

NBR 7185: Solo – Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 2016.

NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.

NBR 11768: Aditivos Químicos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2019.

NBR 15530: Fibras de aço para concreto – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

NBR 16697: Concreto Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BERGONZI, M. Concreto Reforçado com Uso de Fibra de Polipropileno e Sílica de Caca de Arroz. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Vale do Taquari, Lajeado, 2017.

CNT. Pesquisa CNT de Rodovias, 2022. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>>. Acesso em 23 maio. 2023.

FIGUEIREDO, M. P. de. Aplicação do método dos elementos discretos na análise estática e dinâmica de estruturas de concreto reforçado com fibras de aço. 2006. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MANUAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS DO DNIT. IPR 714/2005. Rio de Janeiro /RJ, 2005.

MÜLLER, A. P. S.. Análise das condições do pavimento de concreto do corredor de ônibus da cidade de Santa Maria. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

SANTOS, V. C. dos, GONÇALVES, P. C., GUIMARÃES, A. G., CABALLER, F. O. Vigas De Concreto Reforçado Com Fibras De Aço Submetidas À Flexão. Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Goiás, v. 16, n. 1, p. 1-15, jan./jun., 2020.