REVISTA MULTI DISCIPLINAR DO SERTÃO

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO

ANALYSIS OF CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH WITH THE ADDITION OF STEEL FIBER

Gustavo Vinicius Marinho Silva[1], Jefferson Heráclito Alves de Souza[1]

[1]Faculdade de Integração do Sertão – FIS, Serra Talhada-PE, Brasil.

Resumo

A engenharia civil é um ramo que busca constante evolução. O concreto, material essencial neste ramo, também está nessa constante evolução. Como por exemplo, o concreto reforçado com fibras de aço é uma tecnologia que vem ganhando destaque. Embora a pesquisa e o uso do concreto reforçado com fibras de aço continuem crescendo, ainda é necessário usar esse conhecimento no desenvolvimento de normas e na aplicação da tecnologia em canteiros de obras, assim como, analisar o comportamento do concreto sendo adicionado com diferentes teores de fibras, podem gerar mais conhecimentos e conclusões sobre essa tecnologia. Portanto, este trabalho tem como objetivo estudar o desempenho do concreto reforçado com fibras de aço, em comparação com o concreto convencional sob a ótica da resistência à compressão, utilizando dois tipos de curas diferentes, com os corpos de prova submersos no tanque, e uma cura que simula a prática executada na região, sendo molhados duas vezes ao dia, durante sete dias. Foram utilizados três traços de fibras de aço (0,3%, 0,7% e 1,5%), sendo comparados com o traço de referência sem fibras de aço. Os resultados mostram que as fibras impactam positivamente na resistência a compressão do concreto, tendo os corpos de prova com 0,7% de fibras obtido o melhor desempenho.

Palavras-chave: Adição de fibras. Concreto reforçado. Resistência do concreto.

Abstract

Civil engineering is a discipline that seeks constant evolution. Concrete, an essential material in this discipline, is also in this constant evolution. As an example, steel fiber reinforced concrete is a technology that is gaining prominence. Although the research and use of steel fiber reinforced concrete continue to grow, it is still necessary to use this knowledge in the development of standards and in the application of this technology on construction sites, as well as, analyze the behavior of concrete being added with different fiber contents, can generate more knowledge and conclusions about this technology. Therefore, this paper aims to study the performance of steel fiber reinforced concrete compared to conventional concrete in terms of compressive strength, using two types of different cures, with the specimens submerged in the tank, and a cure that simulates the practice performed in the region, being wet twice a day for a week. Three traces of steel fibers were used (0,3%, 0,7% and 1,5%), being compared with the reference trace without steel fibers. The results show that fibers have a positive impact on the compressive strength of concrete, with the specimens of 0,7% fiber having the best performance.

Key words: Fiber addition. Reinforced concrete. Compressive strength.

Introdução

O concreto simples é um material de construção cujo seus primeiros indícios de utilização surgiram quando os Romanos e os Gregos adicionaram os agregados (areia e rocha) ao calcário calcinado e água (NEVILLE, 2015). É um material de construção que necessita essencialmente de uma pasta de cimento, formada por uma mistura de cimento e água, um agregado miúdo e um agregado graúdo, podendo conter aditivos e adições (MOSCATELLI, 2011).

Para que a construção e suas estruturas possuam qualidade e segurança, a resistência do concreto é de suma importância. O concreto possui elevada resistência à compressão, em contrapartida, sua resistência à tração, em comparação com a de compressão é baixa, sendo menor do que 10% dessa mesma. Com a adição das armaduras, o concreto passa a ser chamado de concreto estrutural, o aço distribuído ao longo da peça estrutural, age controlando essa baixa resistência à tração. A resistência do concreto pode ser considerada uma grandeza variável, já que isso vai depender de diversos fatores como, mistura dos materiais, bem como a qualidade dos mesmos, lançamento, cura, adensamento e condições que foram transportados os materiais. Sendo assim, o concreto possui uma variabilidade espacial, e temporal, sabendo-se que é um material que evolui sua resistência com o tempo (FUSCO, 2008).

É um material que deve, e está em constante evolução, sendo alvo de pesquisas e estudos, obtendo-se novas metodologias construtivas, tais como concreto autoadensável, bombeado, reforçado com fibras, projetado, entre outros métodos mais específicos (NEVILLE, 2015).

Segundo o IBRACON (2017), as fibras surgiram por volta dos anos de 1960. Em um primeiro momento, eram utilizadas para aumento da resistência mecânica, mas logo foi percebido que seu grande benefício era tornar o concreto mais rígido. As estruturas que mais são adequadas ao uso do concreto reforçado com fibra de aço são aquelas onde os esforços de tração estão mal posicionados e fixos, como por exemplo, pavimentos e tubos de concreto. O teor de fibras no concreto é uma das propriedades que influenciam no comportamento do compósito, a resistência ao pós-fissuração do concreto é diretamente proporcional ao teor de fibras, quanto maior for o teor de fibras, maior será a resistência. Para fibras de aço, teores menores do que 0,5% garantem somente aumento de tenacidade ao concreto, não conferindo ganhos de resistência (RODRIGUES, 2010).

O concreto reforçado com fibras de aço é um compósito que utilizando características próprias do concreto e das fibras de aço e misturando-as, surge para fornecer vantagens a mais, na qual o concreto simples apresenta carências (BRAZ E NASCIMENTO, 2015).

Diante disso, este trabalho tem como sua metodologia ser uma pesquisa experimental, cujo objetivo é avaliar a influência das fibras de aço na resistência à compressão do concreto. Da mesma maneira que o concreto simples, o concreto reforçado com fibras é uma tecnologia que vem sendo estudada para ser avaliada as diferenças de resistências com o concreto convencional. Sendo também uma tecnologia não muito antiga que pode proporcionar características como um maior reforço pós-fissuração. Portanto, o presente estudo se mostra importante visto que é necessário analisar quais percentuais de inclusão/substituição da fibra de aço podem ser utilizadas na dosagem do concreto, a fim de propiciar uma maior resistência à compressão das estruturas.

Método

O experimento foi realizado na cidade de Serra Talhada, sertão Pernambucano, que registra altas temperaturas principalmente no verão, que dura em 3 meses, de 24 de setembro a 26 de dezembro chegando à máxima de 37°, época na qual foi feito o experimento (WEATHER SPARK, 2021).

Para isso foram confeccionados corpos de provas, com diferentes traços de adição de fibras de aço, e o concreto convencional sem fibras de aço, sendo analisado se de fato as fibras garantem maior resistência à compressão. Todos os procedimentos foram realizados conforme a NBR 5738:2015 (ABNT, 2015).

Os experimentos de confecção dos corpos de provas e rompimentos foram realizados nos laboratórios de Engenharia da Faculdade de Integração do Sertão, no período de 29/09/2021 a 28/10/2021. Foram realizados dois tipos de curas, uma cura convencional com os corpos de prova submersos em um tanque conforme a NBR 5738:2015 (ABNT, 2015), e uma cura simulando a prática regional, molhando os corpos de provas duas vezes ao dia durante 7 dias, deixando-os expostos ao clima da região.

A NBR 5738:2015 (ABNT, 2015) determina que sejam realizados, no mínimo, dois corpos de prova para a determinação de resistência à compressão, adotando o maior valor entre eles. Sendo assim, foram feitos dois corpos de provas para cada traço com fibras de aço, bem como para o traço convencional.

A Tabela 1 apresenta as dimensões das formas cilíndricas, teores de fibras de aço, quantidades de corpos de provas para cada traço, e o total de corpos de provas analisados.

Tabela 1. Detalhamento dos corpos de provas

Dimensão das formas cilíndricas	Teores de fibras de aço (% em relação a massa de cimento)	Quantidades de corpos de provas para cada traço	Total de corpos de provas feitos.
10 cm x 20 cm	0	8	32
	0,3	8	
	0,7	8	
	1,5	8	

Fonte: Autor (2021)

A quantidade de corpos de provas foi igual tanto para os que ficaram submersos, como para os que receberam a cura simulando a prática regional, ou seja, cada traço da cura convencional submersa recebeu 2 corpos de provas para serem rompidos aos 7 e 28 dias totalizando 16 corpos de provas, e cada traço da cura simulando a prática regional recebeu 2 corpos de provas para serem rompidos aos 7 e 28 dias totalizando igualmente 16 corpos de provas.

O traço escolhido para produção dos concretos foi determinado pelo método ABCP com o intuito de atingir uma resistência de 20 MPa, sendo assim, o traço escolhido ficou definido como 1:2:3:0,55. Todos os corpos de provas, com fibras de aço e convencional, foram confeccionados a partir deste traço.

O cimento utilizado foi o CP II-F-32, areia grossa, brita 1, e água de amassamento. Todos esses materiais foram disponibilizados pela Faculdade de Integração do Sertão. A fibra de aço é produzida pela Maccaferri, trata-se da Wirand FS8, seu tipo é de ancoragem em gancho, garantindo mais aderência entre o concreto e a fibra, devido a esse seu formato especial. Possuem um comprimento baixo de 25mm, e um diâmetro de 0,75mm (MACCAFERRI, 2008). As fibras foram adquiridas pelo próprio autor.

Também foi utilizado aditivo superplastificante MC-TechniFlow 520, Aditivo plastificante multifuncional mid-range de pega normal, da fabricante MC-Bauchemie. A dosagem recomendada pela MC-Bauchemie é de 0,2 a 2,0% de aditivo com relação a massa de cimento (MC-BAUCHEMIE, 2019).

Todos os materiais tiveram dosagem por massa, sendo então, 5 kg de cimento, 10 kg de areia, 15 kg de brita, 2,75 kg de água, e 25 ml de aditivo superplasitifcante que corresponde a 0,5% da massa de cimento. Todos os corpos de provas foram misturados em uma betoneira de 120 L, em um dia foram moldados todos com adições de fibras de aço, com exceção de um corpo de prova do traço de 1,5% que teve de ser misturado manualmente em um recipiente de armazenamento de argamassa, devido o material que foi misturado na betoneira não ter sido suficiente para esse molde. A sequência de mistura se deu da seguinte maneira:

1. 100% da massa da brita
2. 50% da massa da areia
3. 1/3 da massa de água
4. 50% da massa do cimento

5. 50% da massa de areia
6. 1/3 da massa de água
7. 50% da massa do cimento
8. 1/3 da massa de água + aditivo superplastificante

O *Slump Test* é um mecanismo de verificação da trabalhabilidade do concreto, sendo assim a ferramenta mais utilizada para estes fins em canteiros de obras, com o objetivo de verificar a qualidade do concreto em seu estado mole (PEREIRA, 2018).

Para cada traço, após serem confeccionados na betoneira, foi verificada a trabalhabilidade dos mesmos através do teste de abatimento do tronco de cone, que é regulamentado pela norma NBR 16889:2020 (ABNT, 2020).

O procedimento realizado se deu como recomenda a NBR 16889:2020 (ABNT, 2020). O molde foi preenchido em três camadas, sendo cada uma dessas camadas com um valor aproximado de 1/3 da altura total do molde. Cada camada recebeu 25 golpes com uma haste de adensamento, sem que penetrasse na camada abaixo.

Após realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, deu-se início a confecção dos corpos de prova, utilizando os moldes cilíndricos metálicos de 10x20cm. Para facilitar o desmolde do concreto nas formas, em todos os moldes foram aplicados um líquido desmoldante com um pincel.

O adensamento foi feito de maneira manual, e de acordo com a NBR 5738:2015 (ABNT, 2015), que recomenda o preenchimento dos moldes dividido em duas camadas de mesmo tamanho, sendo aplicados 12 golpes em cada camada para o adensamento. A última camada foi preenchida em excesso para quando adensada completar todo o molde. Sendo finalizado todo o processo, foi batido levemente na face externa do molde a fim de preencher vazios.

Após todos os moldes serem preenchidos com o concreto, descansaram por 24 horas para serem desmoldados, foram devidamente identificados, e armazenados em seus respectivos ambientes. 16 corpos de provas foram para cura úmida no tanque, os outros 16 ficaram expostos ao ar para receberem a cura simulando a prática regional, sendo estes molhados durante sete dias, duas vezes ao dia, uma molhagem na parte da manhã e outra na parte da tarde, geralmente, em horários onde o clima é mais quente.

Os ensaios de compressão foram feitos de acordo com a regulamentação da NBR 5739:2018 (ABNT, 2018), em uma prensa hidráulica de maneira manual, utilizando discos de Neoprene para as bases serem melhor regularizadas, a fim de se evitar possíveis imperfeições, buscando-se uma velocidade de aplicação de carga constante.

Os resultados obtidos na prensa hidráulica são em tf, e foram convertidos em MPa através das equações (1) e (2):

$$\sigma = \frac{F * 1000}{A} \qquad (1)$$

$$\frac{1\ Kgf/\ cm^2}{\sigma} = \frac{0{,}0981}{x} \qquad (2)$$

Onde:

- σ = Tensão de ruptura do corpo de prova.
- F = Carga que foi aplicada ao corpo de prova em Kgf.
- A = Área do corpo de prova cilíndrico.
- X = Resistência do corpo de prova obtido em MPa.

Resultados E Discussão

A análise dos dados iniciou com a caracterização da consistência do concreto utilizado, através do *Slum Test,* como é apresentado na Figura 1.

Figura 1. Slump test realizados em todos os traços

Fonte: Autor (2021)

Os valores obtidos para cada *Slump Test* foram, 7,5 cm, 8,25 cm, 9,3 cm, e 6,5 cm. Cada imagem representa respectivamente aos traços, convencional, 0,3% de fibra de aço, 0,7% de fibra de aço, e 1,5 % de fibra de aço.

O traço de concreto convencional teve de ser moldado no dia seguinte, sendo assim, o processo de mistura pode ter tido alguma alteração, fazendo com que o *Slump Test* tenha sido relativamente prejudicado, visto que, na imagem acima a consistência do mesmo ficou abaixo até mesmo do que os traços com 0,3 % e 0,7% de fibras de aço. A consistência do traço de concreto com 1,5%, muito provavelmente se deu pela quantidade de fibras de aço, o que já se era esperado, sabendo-se que as fibras reduzem a trabalhabilidade do concreto.

A Figura 2 apresenta os valores obtidos durante os rompimentos de cada corpo de prova em análise.

Os corpos de prova estão representados da seguinte maneira, na primeira e segunda linha são os corpos de provas rompidos aos 7 dias, sendo a primeira os que foram submetidos a cura fora do tanque simulando a prática regional, e na segunda linha foram os corpos de provas submetidos à cura úmida no tanque. A terceira e quarta linha são os corpos de provas rompidos aos 28 dias, seguindo o mesmo raciocínio dos que foram rompidos aos 7 dias.

Os valores de resistência dos corpos de provas conseguidos são representados na Tabela 2.

Para um melhor entendimento da seleção dos melhores corpos de provas, os traços com teores de 0%, 0,3%, 0,7% e 1,5% de fibras de aço, são representados respectivamente pelas letras a, b, c e d.

Normalmente, após 7 dias de cura, os corpos de prova devem apresentar, no mínimo, uma resistência de 65% da resistência desejada (GUERRA, 2015). Porém alguns corpos de provas tiveram problemas na resistência, como nos casos do CP1a da simulação da cura regional, que atingiu apenas 39,6% da resistência aos 7 dias, CP1a curado no tanque 7 dias, que obteve 47,3% da resistência que é esperada, o CP2a curado no tanque 7 dias, que ficou apenas com 21,8%, e o CP1d da simulação cura regional 28 dias que atingiu somente 34,35% da resistência esperada de 20 MPa. Alguns outros como o CP1a da simulação cura regional e o CP1d da cura no tanque aos 28 dias tiveram resistências em torno de 73,32% da resistência estipulada, e o CP2a da simulação cura regional e o CP1a da cura no tanque aos 28 dias tiveram resistências em torno de 83,77% dos 20 MPa esperados.

.

Figura 2. Rompimentos dos corpos de provas na prensa hidráulica.

Fonte: Autor (2021)

Tabela 2. Valores obtidos dos corpos de provas, e selecionados os de maiores resistências.

7 Dias		28 Dias	
Simulação Cura Regional	**Cura no Tanque**	**Simulação Cura Regional**	**Cura no Tanque**
CP1a = 7,92 MPa	CP1a = 9,46 MPa *	CP1a = 14,64 MPa	CP1a = 16,99 MPa
CP2a = 12,40 MPa *	CP2a = 4,36 MPa	CP2a = 16,52 MPa *	CP2a = 19,40 MPa *
CP1b = 8,54 MPa	CP1b = 12,45 MPa	CP1b = 16,24 MPa	CP1b = 13,77 MPa
CP2b = 12,60 MPa *	CP2b = 13,17 MPa *	CP2b = 19,29 MPa *	CP2b = 21,00 MPa *
CP1c = 15,07 MPa	CP1c = 17,90 MPa *	CP1c = 20,50 MPa *	CP1c = 23,05 MPa
CP2c = 16,32 MPa *	CP2c = 17,00 MPa	CP2c = 20,00 MPa	CP2c = 24,70 MPa *
CP1d = 14,33 MPa	CP1d = 12,32 MPa	CP1d = 6,87 MPa	CP1d = 14,69 MPa
CP2d = 16,18 MPa *	CP2d = 18,72 MPa *	CP2d = 21,76 MPa *	CP2d = 22,79 MPa *

Fonte: Autor (2021)

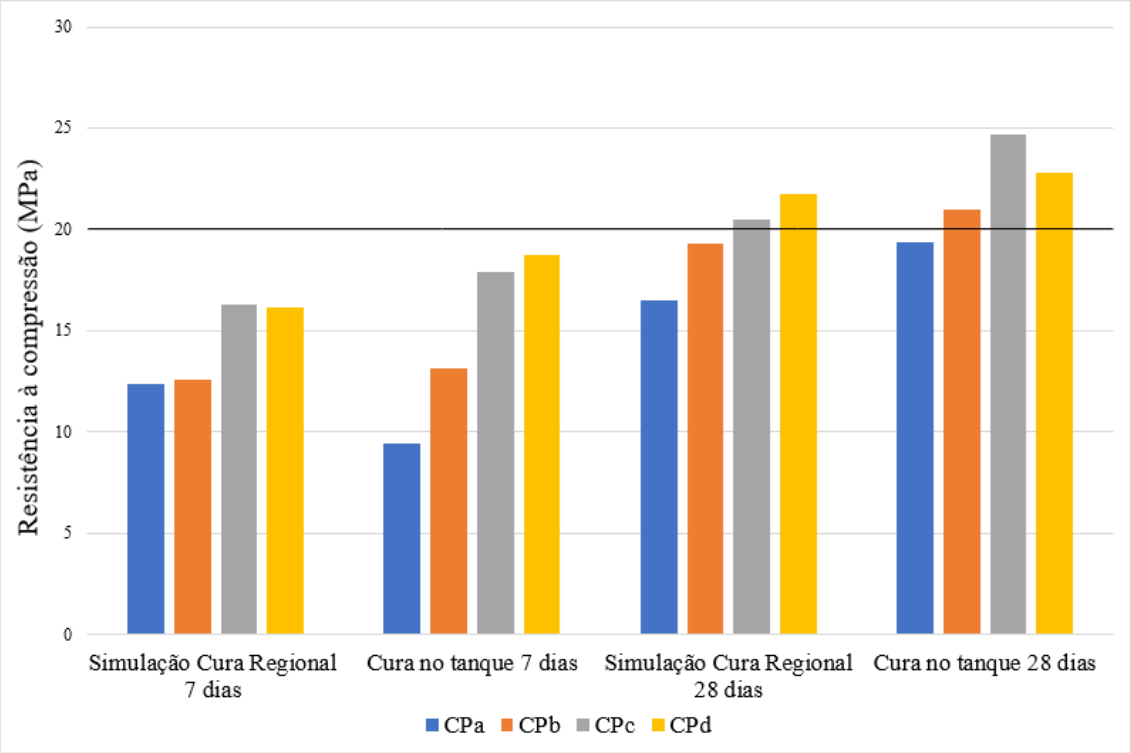
* corpos de prova selecionados para análise conforme NBR 5738:2015 (ABNT, 2015)

Alguns fatores podem ter sido influenciadores nesses resultados, como o corpo de prova que teve de ter sido misturado manualmente, ao invés de ter sido na betoneira, a sensibilidade da prensa hidráulica, que se muito alta, os discos de Neoprene tornam-se ineficazes, e por último a velocidade de aplicação de carga pode não ter sido constante para todos os corpos de prova, visto que, a carga que é aplicada ao corpo de prova deve ser de maneira manual.

A Figura 3 mostra os resultados obtidos em gráfico, do rompimento dos corpos de prova de referência e com adição de fibras de aço aos 7 e 28 dias, ressaltando que foram escolhidos

os que tiveram maiores resultados, sendo descartado aqueles que tiveram menores resistências, deixando evidente os corpos de provas que atingiram a resistência de dosagem, 20 MPa.

Figura 3. Resistência à compressão dos concretos com fibras e sem fibras de aço.



Fonte: Autor (2021)

É possível analisar com mais clareza os corpos de provas que atingiram 20 MPa de resistência ou superior através da linha que está demarcada nesta meta. Mesmo utilizando uma dosagem com 0,55 de relação água/cimento para um cimento CPII e o auxílio de 1,5% de superplastificante os corpos de prova do concreto controle não conseguiram atingir a resistência mínima desejada, porém, todos os demais corpos de prova com adição de fibras de aço tiveram suas resistências elevadas.

Conclusões

Observando todos os dados apresentados, foi possível notar que em todos os rompimentos, os concretos que tiveram adição de fibras de aço apresentaram resistência à compressão maior do que o concreto sem fibras. No entanto, os corpos de provas cuja adição de fibras foi o traço de 0,3%, obtiveram pouco acréscimo de resistência, sendo aos 7 dias praticamente insignificante, ratificando que concretos abaixo de 0,5% de adição de fibras de aço não garantem maiores resistências, com exceção dos dados da cura úmida no tanque aos 7 dias, cujo concreto convencional apresentou baixa resistência.

Aos 28 dias, os concretos com 0,7% e 1,5% de fibras de aço apresentaram resistências acima dos 20 MPa, sendo os valores 20,5 e 21,76 MPa para cura simulando a prática regional, e 24,70 e 22,79 MPa para cura úmida convencionai no tanque, que representam ganhos de 2,5%, 8,8%, 23,5% e 13,95% respectivamente, com relação a meta do FCK. Aos 7 dias apresentaram valores maiores do que o traço com 0,3%, assim como do traço convencional, tanto nas curas simulando a prática regional, quanto nas curas úmidas convencionais no tanque.

Vale ressaltar que os corpos de prova que obtiveram os melhores desempenhos com relação a resistência à compressão, foram os traços com 0,7% de adição de fibras de aço, deixando mais evidente que quanto mais elevar os teores de fibras, menos resistência o concreto irá apresentar, sendo o ideal utilizar teores entre 0,5% a 1,0% de fibras.

Feito todas essas análises, conclui-se que as fibras de aço impactam positivamente na resistência à compressão do concreto, enfatizando que esses ganhos serão otimizados fazendo

cura dentro do tanque, o que implica que as estruturas devem ficar submersas, ou pelo menos, encharcadas constantemente por um determinado tempo, o que não é a realidade da maioria das obras.

Referências

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889. **Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro: ABNT:2020.

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

BRAZ, M. C. de A.; DO NASCIMENTO, F. B. **Concreto reforçado com fibras de aço,** ciências exatas e tecnológicas, Maceió, v.3, n.1, p. 43-56, novembro 2015.

FIGUEIREDO, A. D. de. **Concreto reforçado com fibras.** [Entrevista concedida a] IBRACON. IBRACON, São Paulo, n. 87, 2017.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. 1 Ed. PINI, 2008.

GUERRA, R. S. de T. Por que testar resistência do concreto após 28 dias? **Clube do Concreto**. (2015). Disponível em: http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/10/por-que-testar-resistencia-do-concreto.html. Acesso em: 04 dez. 2021.

MOSCATELLI, Ivo. **FIBRAS DE AÇO EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND APLICADOS A PAVIMENTO.** 2011. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PEREIRA, J. B. **DESENVOLVIMENTO DE APARATO AUTOMATIZADO DE SLUMP TEST:** ferramenta de controle de qualidade e de caracterização reológica de materiais. 2018. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira - SP, 2018.

RODRIGUES, P. P. F. **Manual de PISOS INDUSTRIAIS:** Fibras de Aço e Protendido. São Paulo: Pini, 2010.

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Serra Talhada no ano todo.** (2021). Disponível em: https://pt.weatherspark.com/y/31087/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Serra-Talhada-Brasil-durante-o-ano . Acesso em 12 de nov. 2021.

WIRAND. **Fibras para reforços de concreto:** características técnicas. Disponível em:< https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/maccaferri/wirand.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2021.

Recebido em: 01/08/2022

Aprovado em: 05/09/2022