

Estudo da Viabilidade Estrutural e Econômica de Placas de Concreto de Alta Resistência com Fibras de Aço para Passarelas

Larissa Chagas Nobre¹, Emerson Felipe Félix¹, Alex Micael Dantas de Souza², Lisiane Pereira Prado¹

¹ Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá / UNESP / Engenharia Civil /
larissa.c.nobre@unesp.br / lisiane.prado@unesp.br / emerson.felix@unesp.br

² Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira / UNESP / Engenharia Civil / alex.dantas@unesp.br

Resumo

Pontes de concreto armado estão sujeitas à deterioração e à perda de vida útil com a exposição à ambientes agressivos ao longo do tempo, sendo necessárias intervenções através de manutenção e reparos. Por essa razão, o Concreto de Ultra Alto Desempenho, também conhecido como Ultra-high Performance Concrete (UHPC), surge como uma alternativa de reparo. Por se tratar de um material que possui propriedades mecânicas superiores em comparação ao concreto convencional, principalmente devido a sua elevada resistência mecânica, sua aplicação é feita em situações em que são necessárias propriedades excepcionais, e por isso, é considerado um material revolucionário na engenharia civil. Este trabalho tem como objetivo identificar os problemas existentes nas passarelas de concreto na região de Guaratinguetá-SP e determinar os procedimentos de reparo e reforço adotados nas estruturas usando UHPC. A pesquisa iniciou-se com visitas nas pontes da região, e com base nos problemas identificados, optou-se pelo foco em pontes cujas superestruturas são compostas de placas de concreto armado. Assim, o estudo consistiu em avaliar a viabilidade técnica e mecânica da substituição das placas de concreto armado por placas confeccionadas com Concreto de Ultra Alto Desempenho reforçado com fibras de aço, dispensando-se o uso de armaduras convencionais. A placa de UHPC sem armadura apresentou uma resistência à tração na flexão compatível com o valor obtido analiticamente. Assim, conclui-se que a mesma pode ser usada para a construção de passarelas de pedestres.

Palavras-chave

UHPC; concreto; resistência; pontes; fibra; engenharia.

Introdução

O concreto armado é o material estrutural mais empregado em todo o mundo, e seu consumo anual é de cerca de uma tonelada por habitante, devido às suas exímias propriedades. Consiste em um compósito moldável, e por essa razão, admite várias formas e concepções, além de apresentar boa resistência a diversos tipos de esforços. Outra vantagem é o seu baixo custo, não exigindo profissionais com alta qualificação para sua execução. Devido aos processos construtivos amplamente difundidos no país, a execução é facilitada e rápida. Também apresenta boa resistência a choques, vibrações, variações térmicas, efeitos atmosféricos e desgastes mecânicos. (ANDRADE, 2016).

Por uns anos, acreditou-se que o concreto era um material quase eterno, mas essa ideia foi desmentida conforme observou-se as estruturas envelhecendo. Concluiu-se, então, a necessidade de preservar a durabilidade das estruturas, principalmente por meio de constante monitoramento e manutenção das mesmas ao longo do tempo. As pontes de concreto armado, mais ainda do que em outras estruturas convencionais, sofrem desgastes e necessitam de manutenção para evitar que enfraqueçam e fiquem suscetíveis às ações de agentes ambientais internos e externos, e ambos podem comprometer sua funcionalidade. Agentes internos são os que modificam o relevo pelo interior da terra, a exemplo dos terremotos, vulcões e movimentos de placas tectônicas, enquanto os externos atuam na superfície, como a ação dos ventos, das águas, intemperismo e movimentação dos seres vivos (PINHEIRO et al., 2018).

O aprimoramento de novos produtos dentro da construção civil possibilitou a evolução das propriedades mecânicas do concreto. Dentro desses cenários pode-se citar o concreto de ultra alto desempenho (Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete – UHPC). O UHPC é um tipo especial de concreto com elevadas propriedades mecânicas, como resistência à compressão superior a 150 MPa aos 28 dias, podendo atingir uma resistência de 250 MPa (CHRIST, 2019). No entanto, alguns autores consideram como UHPC concretos com resistência à compressão acima de 100 MPa (SANI et al, 2024; ROMPA; GIDRÃO, 2020; HUNG et al., 2019; ZARAMELA et al., 2021). Também se destaca pela sua resistência a tração direta que supera 8 MPa, e suas exímias propriedades reológicas (CHRIST, 2019; GUO et al., 2017; SOUZA, GALVÃO, 2021). Há outros autores que consideram como UHPC concretos que atingem resistência à tração de 5 MPa (RUSSEL; GRAYBEAL, 2013; QUEIROZ, 2018; ZARAMELA et al., 2021).

Sua composição é formada por: areias muito finas, sílica ativa e cinza volante, aditivo superplastificante, fibras metálicas e água (BALESTRA et al., 2020; ROMPA; GIDRÃO, 2020; BUTTIGNOL et al., 2018). Ou seja, não há agregados graúdos, o que, de acordo com Richard e Cheyrezy (1995), traz como vantagem a diminuição dos vazios internos e a diminuição da zona de transição (ligação da pasta de cimento e o agregado graúdo, que consiste no ponto mais frágil de um concreto).

Outra vantagem relevante do UHPC se refere à sua elevada resistência à tração e compressão, permitindo a construção de estruturas mais delgadas e leves e com menor necessidade de reparos futuros. De acordo com Tam *et al.* (2011), essa condição traz como consequência a diminuição do custo de produção e aumento do espaço útil em edifícios. Cordeiro (2019) discorre a vantagem da alta durabilidade do UHPC, por consequência da sua baixa porosidade. Isso leva o material a ser mais resistente à exposição de agentes agressivos como o cloreto e sulfatos, gelo e degelo, e fenômenos de abrasão e carbonatação. A possibilidade de diminuir e até eliminar o uso de armaduras de aço na produção do UHPC também é uma vantagem, pois simplifica o processo construtivo. Além de atribuir maior flexibilidade no design e forma da estrutura, permite reduzir o custo com mão de obra e transporte e tornar-se mais sustentável (PRADO, 2020).

Porém, há algumas desvantagens do uso do UHPC. Há um teor de aglomerante na composição do UHPC 2,5 vezes maior do que no concreto comum, fazendo com que o consumo de cimento seja maior do que o consumo em concreto convencional, por mais que o cimento não seja o único aglomerante presente em sua composição. Consequentemente, o custo do UHPC será maior do que o do concreto convencional (CHRIST, 2019). O custo de produção do UHPC torna-se ainda maior devido aos materiais especiais necessários, como a sílica ativa, aditivos superplastificantes e as fibras. De acordo com Lopes (2022), outra desvantagem do UHPC é a complexidade da mistura de seus componentes, e isso acontece devido à sua composição diferenciada e a maior quantidade de materiais envolvidos se comparado ao concreto convencional. Além disso, o UHPC ainda é considerado um material novo e de pouca utilização, em especial devido à falta de normas técnicas que orientem sobre a sua utilização na construção civil.

O uso de UHPC é apropriado para a concepção e restauração de pontes por várias razões, como a alta resistência à tração e à compressão, a sua durabilidade, a redução das emissões de dióxido de carbono e a sua facilidade de aplicação em formas complexas e áreas de difícil acesso. (ABDAL *et al.*, 2023; MACHADO, 2019).

O presente trabalho consiste em identificar os problemas existentes nas passarelas compostas por placas de concreto armado localizadas na região de Guaratinguetá-SP, bem como avaliar a viabilidade técnica e mecânica da substituição dessas placas convencionais por placas confeccionadas com Concreto de Ultra Alto Desempenho reforçado com fibras de aço, dispensando-se o uso de armaduras convencionais, através do ensaio de resistência à tração na flexão.

Metodologia

Foi realizado um estudo de caso para análise das pontes na região de Guaratinguetá/SP. Inicialmente, foram conduzidas visitas técnicas às passarelas, cujas superestruturas são compostas por placas de concreto armado. Durante as inspeções, foram identificadas as patologias estruturais presentes, permitindo a classificação das pontes com base na estabilidade de suas estruturas. Os dados coletados estão apresentados na Tabela 1. A avaliação das condições estruturais seguiu os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 9452:2019.

Tabela 1 – Catalogação das pontes visitadas.

Localização da passarela	Condição de estabilidade da estrutura	Nível de vibração do tabuleiro
Rua Monsenhor Filippo – Passarela A	Ruim	Alto
Rua Marechal Deodoro – Passarela A	Regular	Médio
Rua Xavantes	Bom	Baixo
Rua Alexandre Fleming – Passarela A	Ruim	Alto

Fonte: Produção do próprio autor (2023)

A solução proposta para as pontes que estavam em situação ruim foi trocar as placas de concreto. Para o estudo, foram analisadas duas placas de concreto, sendo uma feita de concreto normal com barras de aço (identificada como C40), e a outra de UHPC com fibras de aço (identificada como C90). A geometria da placa de concreto é apresentada na Figura 1. Em seguida, analisou-se capacidade resistente das placas de concreto armado e UHPC por meio da confecção e realização de testes dessas placas em laboratório, de modo a definir seus parâmetros e analisar suas propriedades. As placas que foram confeccionadas com concreto C40 usaram 4 barras de aço com diâmetro de 8,0 mm. Nas placas fabricadas com concreto C90, não foram utilizadas barras de aço, pois o material foi reforçado com fibra de aço, com o objetivo de substituir as barras convencionais.

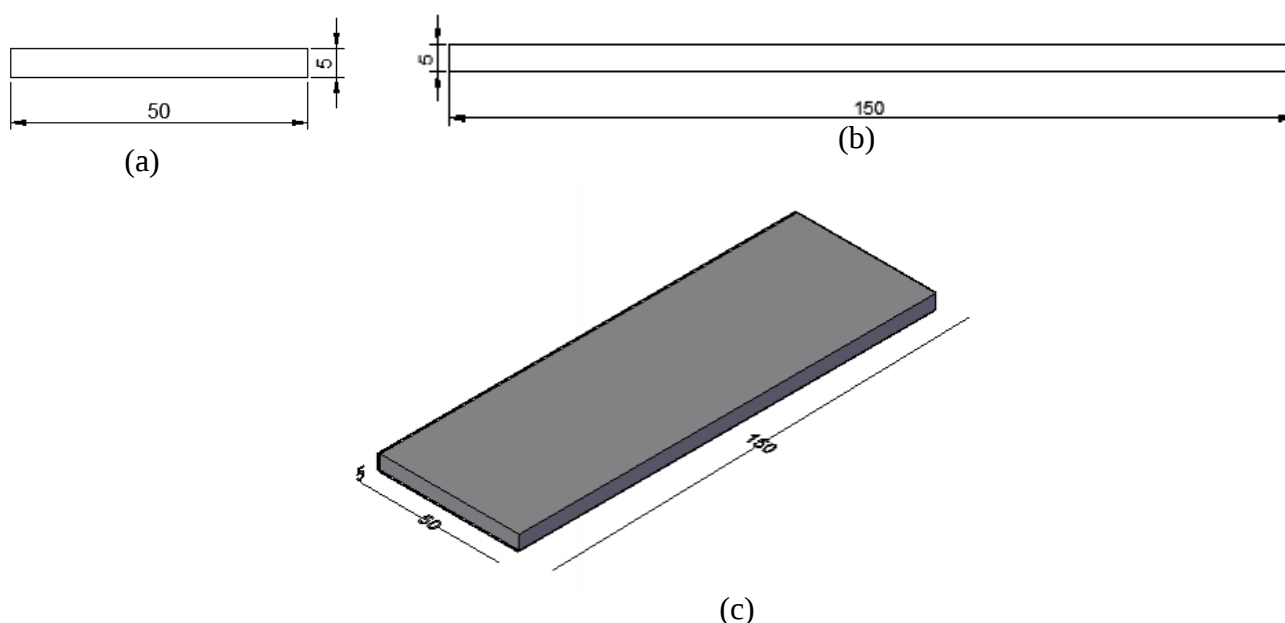


Figura 1 – Dimensões da placa (em centímetros): (a) vista frontal; (b) vista lateral; (c) vista tridimensional

Fonte: Produção do próprio autor (2023)

Programa experimental

Dosagem e produção dos concretos

O traço usado na produção do concreto com resistência à compressão média (f_{cm}) de 40 MPa está apresentados nas Tabelas 2.

Tabela 2 – Traço usado para a dosagem do concreto C40, em Kg/m³

Materiais	Quantidade (Kg/m ³)
Cimento CPV Ultra Rápido Holcim	420,00
Brita 0	900,00
Areia Média	550,00
Areia fina	380,00
Água (a/c = 0,36)	151,20
Aditivo (2,4% massa cimento)	10,08

Fonte: Prado (2020)

A mistura dos materiais para a produção do concreto armado C40 foi feita em betoneira e na ordem seguinte:

1. Adição de materiais secos (cimento, brita 0, areia média, areia fina) e 20% da água na betoneira desligada;
2. Mistura dos materiais secos e água durante 5 minutos;
3. Adição do aditivo superplastificante e os restantes 80% da água;
4. Mistura durante 7 minutos.

O traço utilizado para a produção do concreto com resistência média (fcm) de 90 MPa está apresentado na Tabela 3. O mesmo foi produzido com macrofibras de aço de baixo carbono com 30 mm de comprimento e 0,55 mm de diâmetro.

Tabela 3 – Traço usado para a dosagem do concreto C90, em Kg/m³

Materiais	Quantidade (Kg/m ³)
Cimento CP V ARI (Holcim)	757,20
Areia 80/100 (M. Jundu)	833,00
Pó de quartzo / SM 200 (M.Jundu)	378,60
Sílica ativa (Elkem)	189,30
Aditivo SP (ADVA 585) (6%)	41,60
Água (a/c - 0.325)	246,10
Macrofibra (2% em volume)	157,00

Fonte: Grupo de Pesquisa EESC São Carlos (Prado 2020)

A mistura dos materiais para a produção do C90 foi feita em betoneira e na ordem seguinte:

1. Adição de areia e 10% da água para umidificação, durante 1 minuto;
2. Adição do cimento, da sílica ativa, do pó de quartzo e 75% da água, misturando-se por mais 5 minutos, totalizando 6 minutos
3. Após esse tempo, a betoneira foi desligada para limpeza das bordas e retirada do excesso de material de suas paredes;
4. A betoneira foi ligada novamente, e adicionou-se o aditivo ADVA 585 aos poucos, juntamente com o restante da água. Bateu-se a mistura por 10 minutos, totalizando 16 minutos.
5. Adição das fibras com a betoneira ligada. Bateu-se a mistura por mais 5 minutos, totalizando 21 minutos.

Propriedades mecânicas do concreto

Resistência à compressão simples e tração por compressão diametral

Os ensaios de compressão simples (ABNT NBR 5739:2018) e de tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222:2011) têm como objetivo determinar as propriedades mecânicas básicas do concreto no estado endurecido. Os ensaios foram realizados para ambos os tipos de concreto estudados. Para isso, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e moldados conforme a ABNT NBR 5738:2003.

Ensaio de tração à flexão nas placas de concreto

O ensaio de tração na flexão das placas de concreto seguiu o procedimento da ABNT NBR 12142:2010. Os corpos de prova usados na execução do ensaio foram prismáticos, com 150 cm de comprimento e seção transversal de 50 cm x 5 cm. As placas foram submetidas à força concentrada até atingirem a ruptura.

Ao total foram confeccionadas e testadas quatro placas: duas moldadas usando o traço de concreto C40 com armadura, e duas usando o traço do concreto C90 sem armadura.

A Figura 2 apresenta o esquema de aplicação do carregamento utilizado no ensaio de resistência à tração na flexão. Já a Figura 3 ilustra a execução do ensaio de resistência à tração realizado em laboratório.

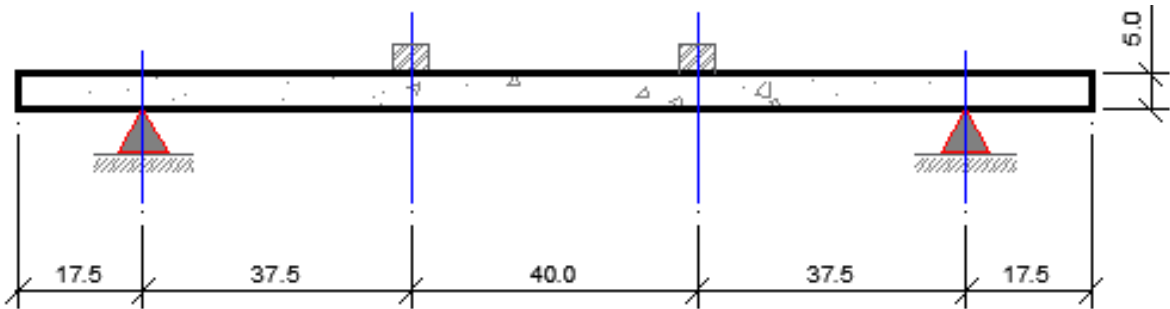


Figura 2 – Esquema de aplicação do carregamento para o ensaio de resistência à tração na flexão

Fonte: Produção do próprio autor (2024)



Figura 3 – Execução do ensaio de resistência à tração

Fonte: Produção do próprio autor (2024)

Resultados e discussões

Resistência à compressão simples

A Tabela 4 e 5 apresenta os resultados de resistência à compressão e tração por compressão diametral, bem como o valor médio, o desvio padrão e o coeficiente de variação referente aos 28 dias de idade dos concretos estudados.

Tabela 4 – Resistência à compressão (f_c) do concreto C40 e C90

Tipo de concreto	C40	C90
	34,79	94,47
	32,23	90,16
Média	33,51	92,31
Desvio padrão	1,58	2,16
Coeficiente de variação (%)	4,77	2,34

Fonte: Produção do próprio autor (2024)

Tabela 5 – Resistência à tração por compressão diametral (fct,sp) do concreto C40 e C90

Tipo de concreto	C40	C90
	1,73	8,24
	2,30	9,63
Média	2,86	11,71
Desvio padrão	2,30	9,86
Coeficiente de variação (%)	0,46	1,42

Fonte: Produção do próprio autor (2024)

Ensaio de tração à flexão nas placas de concreto

Os valores médios das forças máximas registradas no ensaio de tração à flexão se encontram na Tabela 6.

Tabela 6 – Valor médio da força máxima registrada no ensaio de tração à flexão da placa de concreto C40 e C90

Tipo de concreto	Força máxima aplicada na placa (kN)	
	C40	C90
	8,1	5,90
	8,4	6,60
Média	8,2	6,20

Fonte: Produção do próprio autor (2024)

Com o resultado da força máxima obtido do programa experimental (Tabela 6) determinou-se o momento máximo resistido pela placa de concreto, conforme pode ser visto nas Figuras 4 e 5.

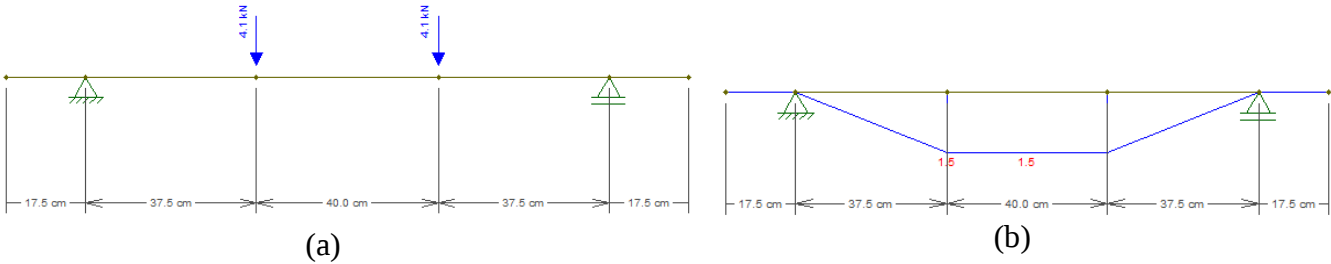


Figura 4 – Capacidade resistente da placa de concreto C40 com armadura: (a) Força máxima; (b) momento máximo.

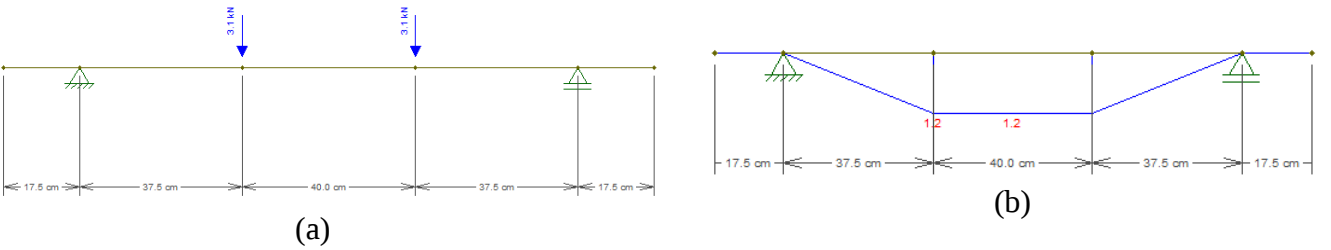


Figura 5 – Capacidade resistente da placa de concreto C90 sem armadura: (a) Força máxima; (b) momento máximo.

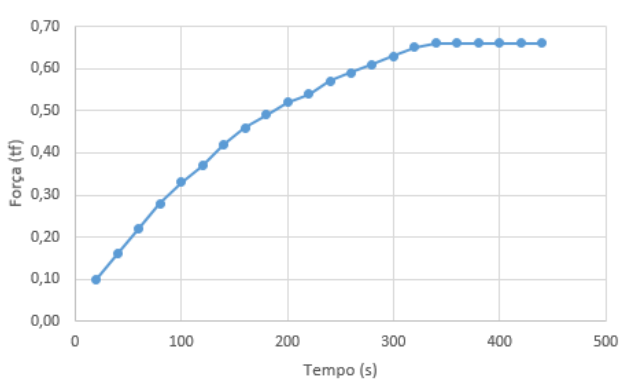
O momento obtido para a placa C90 sem armadura foi 20% menor do que o C40 com armadura, como consta na Tabela 7. O momento da placa C90 foi menor porque não foi utilizado armadura, e sim fibra de aço, enquanto na placa C40 foi utilizada armadura. Como a resistência à tração foi mais solicitante, exigiu mais da armadura. Considerando os coeficientes de minoração para o resultado experimental, o resultado da placa de concreto C90 foi igual ao momento característico calculado ($M_d = 1,21 \text{ kN.m}$). Diante disso pode-se usar a placa de concreto C90 sem armadura para passarelas e pontes.

Tabela 7 – Análise dos momentos obtidos dos concretos C40 e C90 pelo ensaio de tração na flexão

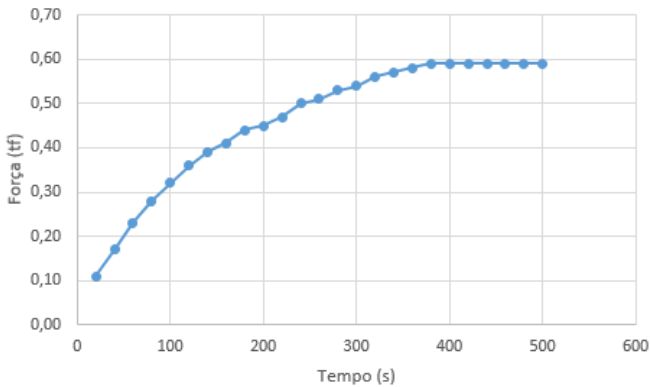
Tipo de concreto	Momento experimental (KN.m)	Momento experimental/1,4 (KN.m)	Momento de cálculo / 1,4 (KN.m)
C40 com armadura	1,5	1,07	0,86
C90 sem armadura	1,2	0,86	

Fonte: Produção do próprio autor (2024)

As Figuras 6 e 7 apresentam os gráficos que foram plotados a partir dos dados obtidos no ensaio, com o objetivo de mostrar a evolução das forças aplicadas com a variação do tempo. A Figura 6 mostra que as placas de concreto C90 atingiram a ruptura com um tempo de ensaio de aproximadamente 350 segundos. Já a Figura 7 indica que as placas de concreto C40 atingiram a ruptura com um tempo de ensaio de 1000 segundos, ou seja, as placas de concreto C40 demoraram um tempo maior para atingir a ruptura, indicando que o uso de armadura foi mais eficiente em relação à flexão do que o uso das fibras de aço. Na Figura 6, para as placas feitas com concreto C90, observa-se que a curva teve um comportamento linear até uma força de 0,4 tf. Na Figura 7-a a curva teve um comportamento linear até uma força de 0,15 tf e na Figura 7-b o comportamento foi linear até 0,24 tf, para as placas com concreto C40, resultando em uma média de 0,20 tf. Tal comportamento mostra que a resistência à tração do C90 é maior em relação ao C40, sendo que no C40 a carga baixa indica a ruptura do concreto. Após essa força quem está resistindo à tração é a armadura. Já no concreto C90 quem está resistindo à tração é o conjunto concreto e fibras de aço.



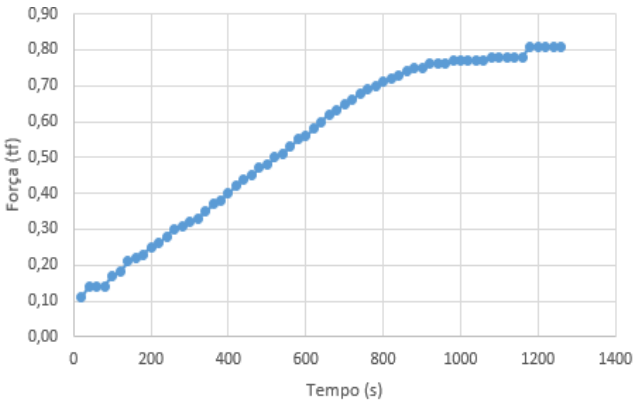
(a)



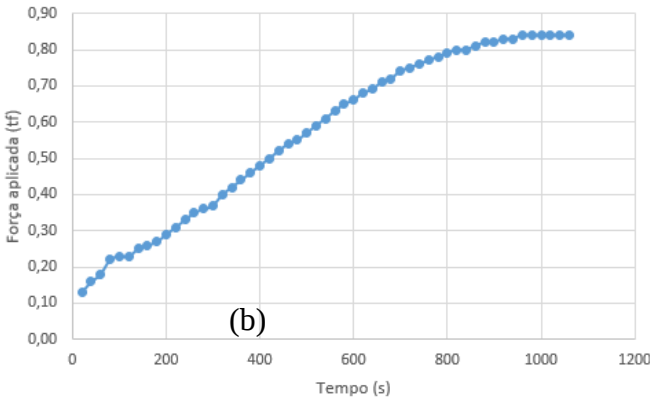
(b)

Figura 6 – Gráficos Força aplicada x Tempo para placas de concreto C90: (a) 1ª placa; (b) 2ª

Fonte: Produção do próprio autor (2024)



(a)



(b)

Fonte:

Figura 7 – Gráficos Força aplicada x Tempo para placas de concreto C40: (a) 3ª placa; (b) 4ª placa

Produção do próprio autor (2024)

Os resultados do ensaio de tração na flexão indicaram que a curva do concreto C40 apresentou um comportamento linear até uma força média de 0,20 tf, enquanto a curva do concreto C90 manteve um comportamento linear até uma força média de 0,40 tf. Com base nesses valores, obtidos por meio do programa experimental, foi determinado o momento fletor correspondente resistido pela placa de concreto dentro do regime elástico. A partir do momento fletor e da inércia da seção retangular da peça, é possível calcular a tensão limite de elasticidade à tração do concreto, conforme a Equação 1. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 8.

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y \tag{1}$$

Tabela 8 - Resultados do cálculo tensão limite da elasticidade do concreto para placas C40 e C90

Tipo de concreto	Momento de Inércia (m ⁴)	Tensão limite da elasticidade à tração do concreto (MPa)
C40 com armadura	5,21.10 ⁻⁶	1,92
C90 sem armadura		3,36

Fonte: Produção do próprio autor (2024)

Segundo a ABNT NBR 6118:2023, a resistência à tração direta é calculada pela equação (2) e (3), através dos resultados de resistência à tração por compressão diametral (fct,sp) apresentados na Tabela 5.

$$f_{ct} \text{ (C40)} = 0,9 \cdot f_{ct, sp} = 0,9 \cdot 2,30 = 2,07\text{MPa} \tag{2}$$

$$f_{ct} \text{ (C90)} = 0,9 \cdot f_{ct, sp} = 0,9 \cdot 9,86 = 8,87\text{MPa} \tag{3}$$

O Estádio I do concreto (estágio elástico) acontece quando, sob a ação de um momento fletor, a tensão de tração no concreto permanece inferior à resistência à tração direta, conforme a Equação (4). A comparação entre a tensão limite da elasticidade e resistência à tração direta para ambas as placas se encontram na Tabela 9.

Os resultados apresentados na Tabela 9 confirmam a consistência dos ensaios de resistência à tração na flexão realizados nas placas de concreto, demonstrando que o trecho linear obtido experimentalmente está em concordância com os resultados analíticos. Para as placas de concreto C40, observa-se que, ao atingir a resistência à tração direta, a armadura passa a atuar, contribuindo para a resistência ao esforço de tração. No caso das placas de concreto C90, a tensão no trecho linear foi de 3,36MPa, enquanto a resistência à tração direta foi de 8,87MPa. Esses resultados indicam que, mesmo após a fissuração, a estrutura é capaz de resistir as tensões de tração devido à presença de fibras de aço. Isso evidencia que, embora a curva tensão-deformação apresente uma mudança na inclinação, a capacidade resistente à tração ainda é significativa.

$$\sigma_{\text{ tração}} \leq f_{ct} \tag{4}$$

Tabela 9 - Comparação entre tensão limite da elasticidade e resistência à tração para C40 e C90

Tipo de concreto	C40 com armadura	C90 sem armadura
Comparação entre $\sigma_{\text{ tração}}$ e f_{ct}	$1,92 \leq 2,07$	$3,36 \leq 8,87$

Fonte: Produção do próprio autor (2024)

Conclusões

Após os estudos das placas de concreto C40 com armadura e C90 sem armadura e com fibras de aço, foi possível chegar nas seguintes conclusões:

A placa de concreto C90 sem armadura apresentou uma resistência à tração na flexão compatível com o valor obtido analiticamente. Assim, conclui-se que a mesma pode ser usada para a construção de passarelas de pedestres.

O ensaio à tração na flexão demonstrou que as placas de concreto convencional demoraram um tempo maior para atingir a ruptura, indicando, assim, que o uso de armadura foi mais eficiente em relação à flexão do que o uso da fibra.

Outra análise relevante é a durabilidade superior das placas de concreto C90 em comparação às placas de concreto C40. No entanto, embora o custo da placa de concreto C90 seja mais elevado, seu maior intervalo de manutenção compensa esse investimento em determinadas situações.

Além disso, ressalta-se que a betoneira disponível no laboratório da Universidade, utilizada no preparo do concreto C90, não foi a ideal para a produção do concreto de ultra alto desempenho. Dessa forma, apesar dos resultados experimentais terem sido satisfatórios, eles poderiam ter sido ainda mais adequados se o equipamento utilizado para a mistura de seus componentes estivesse adequado às especificações das normas internacionais.

Em síntese, o UHPC representa uma evolução na construção, oferecendo soluções inovadoras e mais eficientes. No entanto, sua adoção em larga escala dependerá de investimentos na tecnologia de produção e na redução dos custos associados ao material.

Referências

- ABDAL, S. et al. Application of Ultra-High-Performance Concrete in Bridge Engineering: Current Status, Limitations, Challenges, and Future Prospects. *Buildings*, [s. l.], 10 jan. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/1/185>. Acesso em: 4 out. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- 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, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
- ANDRADE, Bruno Souza Oliveira. Concreto armado: um estudo sobre o processo histórico, características, durabilidade, proteção e recuperação de suas estruturas. 2016. Dissertação (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/30820>. Acesso em: 8 jul. 2024.
- BALESTRA, Carlos Eduardo Tino et al. Efeito da adição de fibras de aço e poliméricas na resistência à compressão do concreto de Ultra Alto Desempenho. *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, [s. l.], 11 maio 2021. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/50503/34748>. Acesso em: 27 maio 2024.
- BUTTIGNOL, Thomaz Eduardo. Aplicações do Concreto de Ultra Alto Desempenho (CUAD) em obras de reforço e recuperação de estruturas. *IBRACON*, [s. l.], Setembro 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328171582_Aplicacoes_do_Concreto_de_Ultra_Alto_Desempenho_C_UAD_em_obras_de_reforco_e_recuperacao_de_estruturas. Acesso em: 29 jun. 2024.
- CHRIST, Roberto. Proposição de um método de dosagem para concretos de Ultra Alto Desempenho (UHPC). 2019. Tese em Engenharia Civil (Doutorado em Engenharia Civil) -Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, [S. l.], 2019. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/9052/Roberto%20Christ_.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 15 jun. 2023.
- CORDEIRO, Tomás da Luz. Estudo à flexão de vigas em BEAL reforçadas com UHPC. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Politécnico de Coimbra, [S. l.], 2019. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/29566>. Acesso em: 8 jul. 2024.

- GUO, Wei et al. Constitutive model of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete for low-velocity impact simulations. Elsevier, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822317310401>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- HUNG, Chung-Chan et al. Tension-stiffening effect in steel-reinforced UHPC composites: Constitutive model and effects of steel fibers, loading patterns, and rebar sizes. Elsevier, [s. l.], 1 fev. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836818317372>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- LOPES, Raduan Krause. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de UHPC dosadas pelo método UNISINOS. 2022. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade d Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, [S. l.], 2022. Disponível em: https://repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/12172/Raduan%20Krause%20Lopes_PROTEGID_O.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 7 jul. 2024.
- MACHADO, Kilder Lang. Análise teórica e experimental de pilares reforçados por encamisamento com concreto de Ultra Alto Desempenho. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Maringá., [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.pcv.uem.br/documentos/dissertacao-de-mestrado/dissertacao-kilder-final-2-por-no-site-1.pdf>. Acesso em: 19 out. 2023.
- PINHEIRO, Maria Rafaela de Almeida et al. Considerações a respeito das principais manifestações patológicas em pontes de concreto armado na cidade de Recife. 3º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções, [s. l.], 2018. Disponível em: https://web.archive.org/web/20200319190036id_/http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/2526-7248.020. Acesso em: 9 jul. 2024.
- PRADO, Lisiane Pereira. Estudo da interface do Concreto Pré-Moldado e Concreto de Altíssimo Desempenho Reforçado com Fibras. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2020.
- QUEIROZ, Inácio Santiago de Oliveira. Desenvolvimento de Concretos de Ultra-Alta Resistência com uso de materiais disponíveis na região do norte de Minas Gerais. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://sig.cefetmg.br/sigaa/verArquivo?idArquivo=2108261&key=2464af882e07d619b6bc925817eabdbc>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- RICHARD, Pierre; CHEYREZY, Marcel. Composition of reactive powder concretes. Cement and Concrete Research, [s. l.], 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0008884695001442?via%3Dihub>. Acesso em: 30 set. 2023.
- ROMPA, D. D.; GIDRÃO, G. de M. S. Caracterização mecânica da rigidez e resistência do concreto de ultra-alto desempenho reforçado por fibras (UHPFRC). Ambiente Construído, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 73–88, 2020. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/88375>. Acesso em: 30 maio 2024.
- RUSSEL, Henry G.; GRAYBEAL, Benjamin Allen. Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, [s. l.], 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259438585_Ultra-High_Performance_Concrete_A_State-of-the-Art_Report_for_the_Bridge_Community. Acesso em: 4 dez. 2024.
- SANI, Mohammad Reza Aghdami et al. Investigating the effect of steel micro- and macro-fibers on the bond behavior of steel rebar embedded in ultra-high performance concrete. Wiley Online Library, [s. l.], 3 mar. 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/suco.202300306>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- TAM, C.M. et al. Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong. Construction and Building Materials, [s. l.], 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811002443>. Acesso em: 8 jul. 2024.
- ZARAMELLA, Giovana et al. Propriedades mecânicas do Concreto de Ultra Alto Desempenho Reforçado por Fibras(UHPFRC): uma revisão de literatura. Conjecturas, [s. l.], 28 out. 2021. Disponível em: <https://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/220/172>. Acesso em: 29 jun. 2024.