

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Engenharia e Ciências - Campus de Guaratinguetá

DANIELLA PINHEIRO DE MORAIS

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO NO
ENSAIO DE CISALHAMENTO INCLINADO NA INTERFACE DO CONCRETO E
CONCRETO DE ALTÍSSIMO DESEMPENHO COM FIBRAS**

Guaratinguetá

2025



DANIELLA PINHEIRO DE MORAIS

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO NO
ENSAIO DE CISALHAMENTO INCLINADO NA INTERFACE DO CONCRETO E
CONCRETO DE ALTÍSSIMO DESEMPENHO COM FIBRAS**

Trabalho de graduação apresentado à
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia e Ciências,
Guaratinguetá, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Lisiane Pereira
Prado

Guaratinguetá

2025

M828a Morais, Daniella Pinheiro
Análise experimental da influência do ângulo de inclinação no ensaio de cisalhamento inclinado na interface do concreto e concreto de altíssimo desempenho com fibras / Daniella Pinheiro de Morais - Guaratinguetá, 2025.
40 f : il.
Bibliografia: f. 37-40

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2025.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lisiane Pereira Prado

1. Concreto de alta resistência. 2. Cisalhamento.
3. Aderências. 4. Otimização estrutural. I. Título.

CDU 691.32


DANIELLA PINHEIRO DE MORAIS

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO
NO ENSAIO DE CISALHAMENTO INCLINADO NA INTERFACE DO
CONCRETO E CONCRETO DE ALTÍSSIMO DESEMPENHO COM FIBRAS**

Trabalho de graduação apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia e Ciências, Guaratinguetá, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.


Data da defesa: 14/ 11 / 2025

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 LISIANE PEREIRA PRADO
Data: 28/01/2026 11:08:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof.^ª. Dr.^a. Lisiane Pereira Prado

UNESP - Faculdade de Engenharia- Campus de Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente
 EMERSON FELIPE FELIX
Data: 28/01/2026 12:14:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Emerson Felipe Felix

UNESP - Faculdade de Engenharia e Ciências- Campus de Guaratinguetá

Documento assinado digitalmente
 ALEX MICAEL DANTAS DE SOUSA
Data: 28/01/2026 11:14:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alex Micael Dantas de Sousa

UNESP - Faculdade de Engenharia- Campus de Ilha Solteira

AGRADECIMENTOS

À Deus e a Nossa Senhora de Aparecida pela oportunidade e pela força para permanecer nesta jornada acadêmica.

Aos meus pais, Daniel e Kátia, que nunca mediram esforços pela minha vida e educação, sendo meus maiores exemplos de perseverança.

Aos meus amigos e familiares, que mesmo à distância, sempre se fizeram presentes e me apoiaram.

À minha amiga Nayra, que além de companheira nesta pesquisa, é uma grande amiga e incentivadora em todos os momentos.

À minha orientadora, Prof.^a Dra. Lisiane Pereira Prado, pelos ensinamentos e incentivo durante esta e outras pesquisas que tive a oportunidade de realizar sob sua orientação.

Ao técnico Flávio, pelas risadas, pelo apoio e pelos ensinamentos compartilhados durante as concretagens e ensaios de laboratório.

Esta pesquisa foi financiada pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) PROPe.

RESUMO

O Concreto de Altíssimo Desempenho (Ultra-high Performance Concrete - UHPC) tem se destacado devido sua composição com materiais finos que garante alta resistência, maior durabilidade e menor suscetibilidade a fissuras e ao desgaste por agentes externos, tornando-o ideal para recuperação estrutural. Contudo, seu elevado custo de produção incentiva a pesquisa de soluções combinadas com concretos de resistência menores, exigindo estudo do comportamento da interface entre os materiais. Este trabalho analisou experimentalmente a influência do ângulo de inclinação no ensaio de cisalhamento inclinado e o efeito do uso de cola adesiva epóxi na interface entre o concreto convencional (C1) e o UHPC, visando identificar condições que maximizem a resistência da interface de ligação. Foram analisados experimentalmente dois grupos de corpos de prova, (i) com ângulo de inclinação de 30° em relação à vertical com e sem cola adesiva e (ii) com ângulo de inclinação de 25° em relação à vertical com e sem cola adesiva. Os resultados indicaram que a interface concreto e UHPC com ângulo de inclinação de 30° apresentou maior tensão vertical de compressão na ruptura em relação à interface com ângulo de 25°. Além disso, notou-se que a presença da cola adesiva na interface com ângulo de 30° aumentou em 46% a tensão vertical na interface, normal e de cisalhamento quando comparada com as amostras de mesma inclinação, porém sem cola adesiva. Também foi possível observar que os corpos de prova apresentaram ruptura predominante na interface, evidenciando adequada execução do ensaio. Portanto, os resultados obtidos nessa pesquisa vão de encontro à geometria proposta na norma internacional ASTM C882/C882M:2013 que corrobora um ângulo de inclinação de 30°.

Palavras-chave: Concreto de altíssimo desempenho; Recuperação estrutural; Aderência; Cisalhamento inclinado.

ABSTRACT

Ultra-high Performance Concrete (UHPC) has been highlighted because of its composition with fine materials ensures high strength, greater durability, and less susceptibility to cracks and wear by external agents, making it ideal for structural recovery. Given the problem that UHPC is a material with high production costs, this research seeks to present the feasibility of combining it with normal-strength concrete, creating an interface between the two materials. Therefore, this article aims to present the experimental analysis of the influence of the inclination angle in the slant shear test and the effect of the adhesive glue on the interface between conventional concrete and UHPC. Two groups of test specimens were experimentally analyzed, (i) with an inclination angle of 30° in relation to the vertical with and without adhesive glue and (ii) with an inclination angle of 25° in relation to the vertical with and without adhesive glue. The results indicated that the concrete and UHPC interface with a 30° inclination angle showed higher vertical compressive stress at failure compared to the interface with a 25° angle. Additionally, it was observed that the presence of adhesive glue at the 30° interface increased the vertical, normal and shear stress at the interface by 46% compared to the samples with the same inclination angle but without adhesive glue. It was also observed that the test specimens exhibited predominant failure at the interface, confirming the proper execution of the test. Therefore, the results of this study are consistent with the geometry proposed by the international standard ASTM C882/C882M:2013, which recommends a 30° inclination angle.

Keywords: Ultra-high Performance Concrete; Structural recovery; Bond strength; Slant shear test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esforços envolvidos no ensaio de cisalhamento inclinado e círculo de Mohr.	11
Figura 2- Geometria dos prismas para o ensaio de cisalhamento inclinado (mm).	13
Figura 3- Fibras retas usadas no UHPC.	15
Figura 4- Comprimento da fibra usada no UHPC.	15
Figura 5- Geometria dos corpos de prova.	17
Figura 6- Moldes de isopor.	18
Figura 7- Corpos de prova de concreto C1 inclinados.	18
Figura 8- Interface dos corpos de prova moldados com C1 e UHPC.	19
Figura 9- Representação do ensaio da mancha de areia.	20
Figura 10- Ensaio da mancha de areia corpo de prova 01.	20
Figura 11- Ensaio da mancha de areia corpo de prova 02.	21
Figura 12- Ensaio de cisalhamento inclinado na máquina.	22
Figura 13- Aferição da retífica pelo nível de bolha	25
Figura 14- Resistência média da interface (MPa).	27
Figura 15- Tensão de cisalhamento média (MPa).	28
Figura 16- Tensão de normal de compressão média (MPa).	28
Figura 17- Ruptura típica dos modelos com interface de 25° e 30° sem cola adesiva.	31
Figura 18 (a) e (b)- Ruptura típica dos modelos com interface de 30° com cola adesiva.	31
Figura 19- Interface de ruptura de 30° sem cola adesiva (a) e com cola adesiva (b).	32
Figura 20- Relação tensão normal versus ângulo de inclinação da interface do modelo analítico e do modelo experimental.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Traços utilizados para C1 e UHPC.....	14
Tabela 2- Resultados do ensaio de determinação da rugosidade da superfície.....	23
Tabela 3- Resistência à compressão aos 20 dias de idade para os concretos estudados.....	23
Tabela 4- Propriedades mecânicas do ensaio de cisalhamento inclinado para a interface de 25°, sem cola adesiva.....	25
Tabela 5- Propriedades mecânicas do ensaio de cisalhamento inclinado para a interface de 30°, sem cola adesiva.....	26
Tabela 6- Propriedades mecânicas do ensaio de cisalhamento inclinado para a interface de 25°, com cola adesiva.....	26
Tabela 7- Propriedades mecânicas do ensaio de cisalhamento inclinado para a interface de 30°, com cola adesiva.....	26
Tabela 8- Equações obtidas para cada interface e rugosidade em função do ângulo de inclinação com a vertical (α).....	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS.....	13
1.1.1	Objetivo Geral.....	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
2	DESENVOLVIMENTO.....	14
2.1	METODOLOGIA.....	14
2.1.1	Dosagem e confecção dos corpos de prova.....	14
2.2	DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE.....	19
2.3	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MODELOS COM INTERFACE.....	21
3	RESULTADOS.....	23
3.1	RUGOSIDADE.....	23
3.2	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CONCRETOS	23
3.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA INTERFACE.....	24
3.4	CRITÉRIO DE RUPTURA	30
3.5	COMPARAÇÃO COM OS RESULTADOS DA LITERATURA.....	32
4	CONCLUSÃO.....	35
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado são as mais utilizadas no cenário da construção civil em vista da sua praticidade de execução e do seu custo reduzido quando comparado aos outros materiais empregados, por exemplo, aço e madeira. Segundo Mehta e Monteiro (2014), o consumo mundial de concreto é da ordem de cinco bilhões de toneladas por ano.

Apesar de o concreto apresentar resistência inferior à do aço, sua ampla aplicação se justifica não apenas pelo custo, mas também por sua excelente resistência à água e a meios agressivos, o que o torna ideal para obras de transporte e armazenamento de água, como barragens, reservatórios e canais, além de seu emprego em estruturas. Elementos como vigas, pilares e fundações são frequentemente expostos à umidade, condição na qual o concreto demonstra desempenho e durabilidade satisfatórios.

De acordo com a ABNT NBR 6118: 2023 – Projeto de estruturas de concreto, as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que conservem sua segurança, estabilidade e desempenho em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil sob as condições ambientais previstas na época do projeto.

Grande parte das estruturas são executadas com concreto de resistência à compressão abaixo de 50 MPa. Pela classificação brasileira, segundo a ABNT NBR 8953: 2015, o concreto é subdividido em dois grupos: grupo I compreende os concretos com resistência à compressão de até 50 MPa e o grupo II aqueles com resistência à compressão variando de 55 MPa à 100 MPa. Para resistências superiores utilizamos a ABNT NBR 17246-1:2025 que classifica concretos com resistência à compressão superior à 100MPa.

Quando as estruturas de concreto armado não são utilizadas de forma correta, podem ocorrer defeitos ou deterioração, requerendo a necessidade de reparo estrutural, ou reforço estrutural na qual se deseja aumentar a capacidade resistente da estrutura. Tanto o reparo quanto o reforço estrutural implicam em custos adicionais nas obras, por isso a necessidade de se executar um serviço simples e utilizar materiais com elevadas propriedades mecânicas.

O concreto de altíssimo desempenho com fibras de aço (ultra-high-performance reinforced concrete - UHPC) tem sido muito utilizado no reparo e recuperação das estruturas de concreto em vista das suas propriedades mecânicas elevadas, melhor

trabalhabilidade, durabilidade e capacidade de adesão aos outros concretos (Prado, 2021). Diferente do concreto convencional, de modo geral não existe agregado graúdo na mistura do UHPC, e o seu adequado empacotamento das partículas, baixa relação água/cimento, uso de aditivos superplastificantes conferem ao material uma elevada resistência à compressão. Segundo o autor Graybeal (2006), apesar de sua pega mais prolongada quando comparado ao concreto convencional, uma vez que a mesma é iniciada, o UHPC apresenta elevada resistência à compressão inicial, podendo atingir mais de 70MPa em 2 dias, destacando seu uso para reforço e reparo de estruturas.

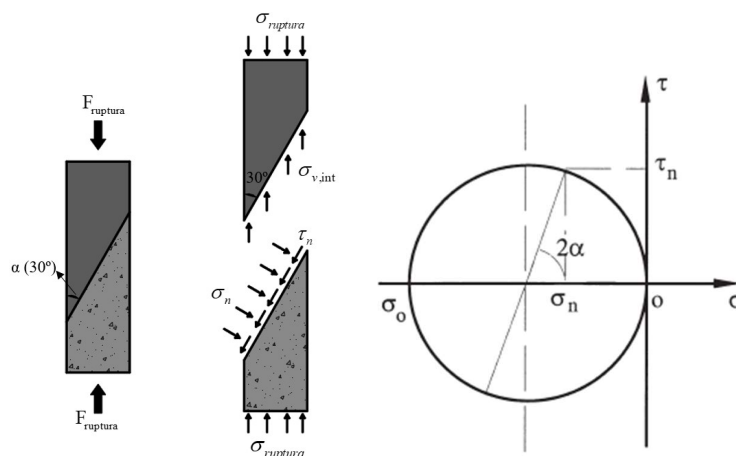
O elevado ganho a resistência à compressão no UHPC gera um comportamento frágil para o nível de resistência atingida, portanto, para eliminar sua ruptura explosiva é necessário o uso de fibras de aço de diferentes tamanhos, que precisam ter valores de módulo de elasticidade e resistência elevados (Prado, 2020). Além disso, a presença das fibras de aço resulta em um material com resistência à tração superior aos concretos convencionais, um comportamento dúctil e resistência à tração pós-fissuração (Graybeal 2006; Russell; Graybeal, 2013).

Portanto, o UHPC apresenta comportamento de *hardening* por deformação à flexão, resistência característica à compressão variando entre 150 MPa e 250 MPa, resistência característica à tração superior a 6,0 MPa e, por fim, um comportamento suficientemente dúctil quando sob tensão (IBRACON; ABECE, 2022, p.3-6).

Quando ocorre a associação entre concretos moldados em etapas distintas, é necessário determinar a resistência da interface para que a ruptura não ocorra na mesma. De acordo com o MC-10 (FIB, 2013, p. 289-290), os parâmetros que influenciam essa transferência mecânica entre os concretos de idades distintas são a rugosidade da superfície da interface, classe de resistência e qualidade da camada superior do concreto antigo, classe de resistência, qualidade e composição do novo concreto. Além disso, segundo o fib Model Code 2010 (2010), os mecanismos envolventes na transferência da interface de concretos são: transferência adesiva, relacionados aos componentes do concreto fresco com o concreto endurecido, nas quais o gel de cimento envolve os agregados do concreto endurecido, formando uma ligação entre eles; transferência mecânica: relacionada ao intertravamento dos agregados e a rugosidade superficial do concreto; Transferência por atrito: a força de compressão perpendicular à interface permite o desenvolvimento de forças de atrito, relacionada à intensidade da força normal e a rugosidade superficial.

Um dos ensaios para caracterizar o comportamento da interface de concreto está relacionado à norma ASTM C882 / C882M: 2013 – Método de ensaio para resistência à aderência de sistema de resina epóxi usada em concreto, também denominada cisalhamento inclinado, consiste no ensaio para caracterizar a resistência da ligação entre dois concretos endurecidos ou misturados na hora e colados com uma interface de resina epóxi (Figura 01). Mesmo que o ensaio seja para caracterizar esse tipo de ligação, autores tem adotado o método para investigar o comportamento da interface de dois concretos moldados em etapas distintas, usando diferentes geometria de corpos de prova e ângulos de inclinação variado (Santos; Julio, 2011; Tayeh *et al.*, 2013; Harris *et al.*, 2015; Zanotti; Banthia, 2016; Wichert, 2019; Jafarinejad *et al.*, 2019; Svecova; Semendary, 2020).

Figura 1- Esforços envolvidos no ensaio de cisalhamento inclinado e círculo de Mohr.



Fonte: Adaptado de Zanotti e Banthia (2016).

De acordo com Zanotti e Banthia (2016) o ensaio de cisalhamento inclinado consiste em um dos métodos de caracterização do estado de tensão da interface de dois materiais. O resultado fornecido pelo ensaio é uma combinação de tensões de cisalhamento e compressão ao longo da interface.

De acordo com os autores, o ensaio de cisalhamento inclinado é considerado um ensaio de fácil execução e com coeficientes de variações inferiores aos obtidos em outros ensaios. No entanto, as informações fornecidas pelo ensaio de cisalhamento inclinado podem ser enganosas, porque podem não ser totalmente representativas em relação ao tipo de interface analisada, já que a falha é dependente do ângulo de inclinação (α), impedindo que a mesma ocorra em um plano diferente (Zanotti;

Banthia, 2016). A geometria proposta na ASTM C882 / C882M: 2013 corrobora um ângulo de inclinação na região da interface com a vertical de 30°.

De acordo com a teoria de Coulomb, o critério de falha do material na interface por tensão de cisalhamento (τ_n) combinado com tensão normal (σ_n) ocorre quando a Equação (1) é satisfeita.

$$\tau_n = c + \sigma_n \cdot \mu = c + \operatorname{tg}(\phi) \cdot \sigma_n$$

$$\mu = \frac{\tau_n - c}{\sigma_n} \quad (1)$$

Baseado na teoria de Coulomb usada para descrever o critério de falha por cisalhamento da ligação, Austin, Robins e Pan (1999) desenvolveram um método analítico que correlaciona a tensão de cisalhamento e a tensão normal com o ângulo de inclinação entre a interface da ligação e o eixo longitudinal, Equações (2) e (3), respectivamente. Deste modo, a tensão aplicada para gerar a falha por cisalhamento ao logo da interface pode ser escrito pela Equação (4).

$$\tau_n = 0,5 \cdot \sigma_0 \cdot \sin 2\alpha \quad (2)$$

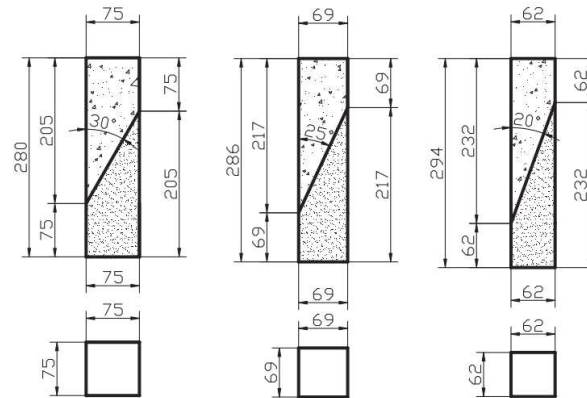
$$\sigma_n = \sigma_0 \cdot \sin^2 \alpha \quad (3)$$

$$\sigma_0 = c[\cot \alpha + \tan(\phi + \alpha)] \quad (4)$$

Os autores ainda destacam que a rugosidade da interface e o uso de materiais complementares de ligação, têm influência direta sobre a resistência ao cisalhamento. Superfícies muito lisas apresentam baixa aderência entre os concretos de idades distintas levando à ruptura da interface. No entanto, rugosidade excessiva tende a causar concentração de tensões, resultando em falhas na ligação.

Feng, Xiao e Li (2020) analisaram a resistência da interface do concreto de resistência normal e o UHPC por meio do ensaio de cisalhamento inclinado, sob diferentes ângulos de inclinação da interface com a vertical: 20°, 25° e 30° (Figura 2), e diferentes tratamentos de rugosidade da interface, deixando o agregado exposto. Estes autores observaram um aumento da resistência medida conforme o crescimento do ângulo, com a ruptura se desenvolvendo predominantemente no concreto de menor resistência e não na interface, tornando os resultados imprecisos.

Figura 2- Geometria dos prismas para o ensaio de cisalhamento inclinado (mm).



Fonte: Feng, Xiao e Li (2020).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo geral analisar experimentalmente a variação do ângulo de inclinação da interface das amostras com interface de concreto grupo I (C1) e concreto de altíssimo desempenho reforçado com fibras (UHPC) no ensaio de cisalhamento inclinado.

1.1.2 Objetivos Específicos

Seu objetivo específico é analisar a influência da variação do ângulo de inclinação da interface no ensaio de cisalhamento inclinado, de modo avaliar o efeito da tensão vertical máxima de compressão, tensão normal, tensão de cisalhamento e o modo de ruptura das amostras compostas por interface de concreto grupo I (C1) e concreto de altíssimo desempenho reforçado com fibras (UHPC).

Foram considerados dois ângulos de inclinação, 25° e 30°, para o estudo do comportamento. Além disso, analisou-se a rugosidade da interface, afim de determinar a presença ou ausência de intertravamento mecânico.

Na pesquisa também foi investigado o efeito do uso de cola adesiva epóxi na interface do C1 e UHPC para verificar o ganho da capacidade resistente do modelo frente às solicitações cisalhamento inclinado.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 METODOLOGIA

2.1.1 Dosagem e confecção dos corpos de prova

Os traços utilizados para o concreto convencional (C1) e para o concreto de altíssimo desempenho (UHPC) estão apresentados na Tabela 1. O traço do concreto de altíssimo desempenho reforçado com fibras (UHPC) foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa da EESC São Carlos. Os materiais utilizados na mistura do UHPC foram nacionais, exceto pelas fibras de aço retas com revestimento de cobre (Figuras 3 e 4), importada da China (Weixian Jinzhuwang Steel Fiber Manufacturing CO., LTD), cujo comprimento é de 12,0 mm +/- 10%, diâmetro de 0,2 mm.

Tabela 1 – Traços utilizados para C1 e UHPC.

Materiais	C1 (kg/m ³)	UHPC (kg/m ³)
Cimento CPV Ultra Rápido	420.00	757.20
Brita 0	900.00	-
Areia Média	550.00	-
Areia Fina	380.00	-
30/100 (Módulo de finura 80/100 - Mineração Jundu)	-	833.00
Sílica Ativa não densificada (Elkem)	-	189.30
Pó de Quartzo/SM 200	-	378.60
Aditivo Superplastificante (MC-PowerFlow 4001 - Aditivo redutor de água tipo 2 – RA2)	10.08	68.20
Água	151.20	151.40
Fibra (2% em volume)	-	157.00

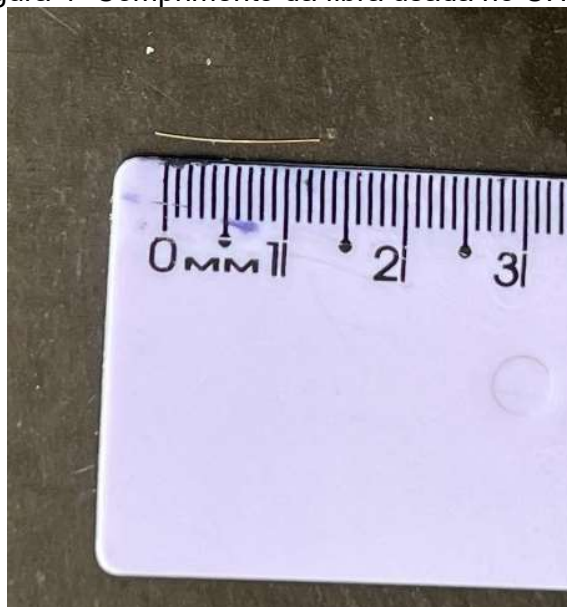
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 3- Fibras retas usadas no UHPC.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 4- Comprimento da fibra usada no UHPC.



Fonte: Autoria própria (2025).

A mistura dos materiais para produção do C1 consistiu na seguinte ordem: Materiais secos (cimento, brita 0, areia média, areia fina) e 20% da água na betoneira desligada, mistura dos materiais secos e água por 5 minutos, Acréscimo do superplastificante e 80% da água; Mistura por 7 minutos.

A mistura do UHPC foi realizada na betoneira e resumiu-se na seguinte ordem: Areia e 10% da água para umidificar por 1 minuto, depois de 1 minuto foi acrescentado o cimento, a sílica ativa, o pó de quartzo e 75% da água, batendo por mais 5 minutos, totalizando 6 minutos, finalizado esse tempo de batida, a betoneira foi desligada para limpar as bordas e retirar o excesso de material grudado nas paredes da betoneira, pois o material ainda estava seco, limpada as bordas, a betoneira foi religada e o aditivo superplastificante foi colocado na mistura aos poucos com o restante da água, batendo por 15 minutos. Após esse tempo, as fibras foram adicionadas com a betoneira ligada, batendo por mais 5 minutos.

Os corpos de prova foram moldados em forma prismática, com dimensões de $8,5 \times 7,5 \times 20,0$ cm com o concreto C1, conforme indicado na Figura 5. Para a delimitação das interfaces inclinadas a 25° e 30° em relação à vertical, foram utilizados moldes de isopor, possibilitando a adequada reprodução das geometrias especificadas, conforme ilustrado na Figura 6. A desmoldagem dos corpos de prova feita com o concreto C1 ocorreu dois dias após a concretagem (Figura 7). Os mesmos foram curados por 28 dias de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 5738:2016.

Finalizado o período de cura do concreto C1, realizou-se o preenchimento da segunda parte do corpo de prova com o UHPC. Imediatamente antes do preenchimento com o UHPC, as superfícies foram limpas e umedecidas. As superfícies que receberam cola adesiva na interface não foram umedecidas, em virtude da presença da cola. A cola adesiva usada na moldagem foi a Sikadur- Adesivo epóxi de média fluidez, para sua aplicação, procedeu-se à mistura das duas partes componentes do sistema epoxídico, seguindo as orientações do fabricante. Após a homogeneização completa, o adesivo foi espalhado uniformemente sobre a superfície do concreto convencional com o auxílio de uma espátula, garantindo a cobertura adequada da interface antes da etapa de moldagem. A Figura 8 apresenta o corpo de prova preenchido com os dois concretos (C1 e UHPC).

Para determinar a resistência à compressão dos concretos misturas, foram moldados corpos de prova cilíndricos de dimensão 10 cm x 20 cm para o concreto C1 e 5 cm x 10 cm para o UHPC. Foram produzidos oito corpos de prova prismáticos com ângulo de inclinação da interface de 25° , sendo quatro utilizados para a analisar a interface entre o C1 e o UHPC junto a cola adesiva estrutural, e quatro para analisar a interface entre o C1 e o UHPC sem cola adesiva estrutural. O mesmo procedimento foi realizado para os corpos de prova com ângulo de inclinação de 30° . Além dos

corpos de prova inclinados, foram produzidos cinco corpos de prova inteiriços de concreto convencional a fim de comparar com os resultados dos modelos com interface e três corpos cilíndricos de concreto UHPC.

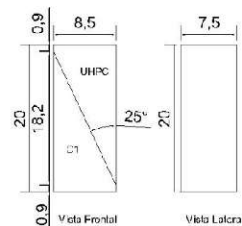
Após a moldagem dos corpos de prova com UHPC, os mesmos foram desmoldados após dois dias. Em seguida, foram submetidos à cura úmida por um período de 28 dias. O tempo total entre a moldagem e cura da primeira etapa com o concreto convencional (C1) e a moldagem e cura da segunda etapa com UHPC foi de 60 dias.

Após esse período, os corpos de prova foram retirados da cura úmida e mantidos em ambiente de laboratório, sob temperatura média de 22 °C e umidade relativa do ar ambiente, até a realização dos ensaios mecânicos. Esse intervalo totalizou 120 dias desde a primeira concretagem até a execução dos ensaios.

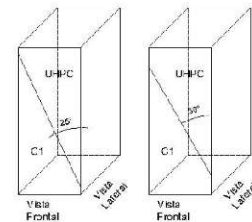
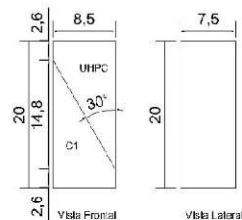
O ensaio de resistência à compressão para caracterizar a propriedade mecânica dos concretos misturados (C1 e UHPC) foram realizados em conjunto com os ensaios dos corpos de prova com interface. Os mesmos foram submetidos ao mesmo tipo de cura dos corpos de prova com interface.

Figura 5- Geometria dos corpos de prova.

(i) Geometria dos corpos de prova com interface de 25° (cm)



(ii) Geometria dos corpos de prova com interface de 30° (cm)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 6- Moldes de isopor.



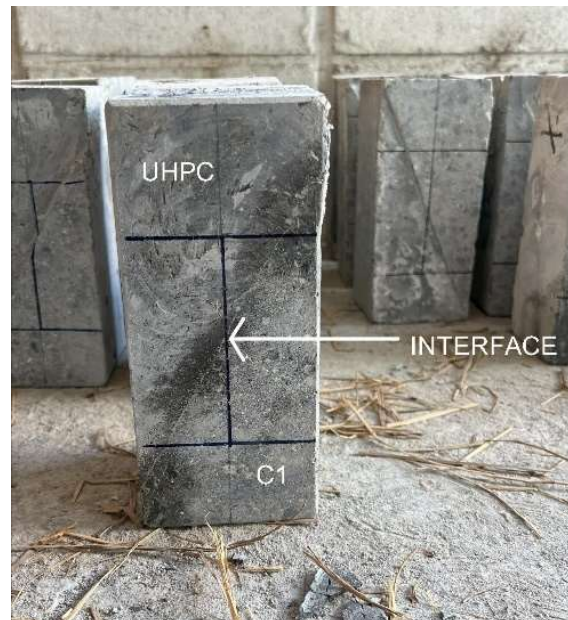
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 7- Corpos de prova de concreto C1 inclinados.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 8- Interface dos corpos de prova moldados com C1 e UHPC.



Fonte: Autoria própria (2025).

2.2 DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE

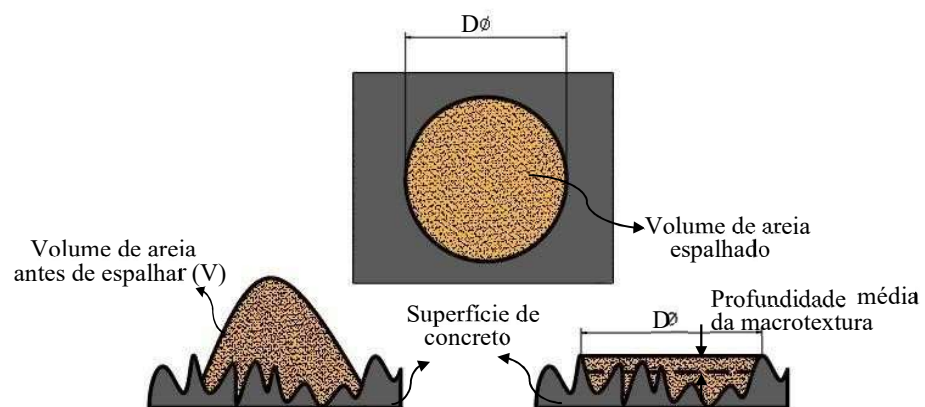
Para a determinação da rugosidade da superfície de corpos de prova de concreto convencional, foi empregado o método da mancha de areia. Originalmente utilizado para avaliação da macrotextura de pavimentos, esse procedimento pode ser adaptado para analisar a textura superficial de amostras de concreto.

O ensaio consiste na aplicação de um volume conhecido de areia seca sobre a superfície a ser analisada. A areia é espalhada por meio de movimentos circulares até formar uma mancha uniforme, rente à superfície, Figura 9. Em seguida, mede-se o diâmetro do círculo formado, repetindo-se a operação pelo menos três vezes. Com base nos diâmetros obtidos, calcula-se o valor médio, utilizado para determinar a área da mancha. A profundidade média da macrotextura da superfície ou rugosidade (H_s) é então calculada pela razão entre o volume de areia e a área média da superfície coberta (Equação 5). As Figuras 10 e 11 mostram o ensaio da mancha de areia executada nos corpos de prova moldados

$$H_s = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (5)$$

Sendo: H_s (mm), V (mm^3), D (mm).

Figura 9- Representação do ensaio da mancha de areia.



Fonte: Adaptado de Santos; Julio (2012).

Figura 10- Ensaio da mancha de areia corpo de prova 01.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 11- Ensaio da mancha de areia corpo de prova 02.



Fonte: Autoria própria (2025).

2.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MODELOS COM INTERFACE

Para o estudo da análise experimental da influência do ângulo de inclinação no ensaio de cisalhamento inclinado na interface do concreto C1 e concreto de altíssimo desempenho (UHPC), foi realizado o ensaio de cisalhamento inclinado através da aplicação da força de compressão na máquina universal da marca WPM Modelo EU100 eletro-hidráulica com capacidade de 100 toneladas, como ilustrado nas Figuras 12. A tensão vertical de compressão que gerou a ruptura do corpo de prova (σ_0) foi calculado de acordo com a Equação 6. Este ensaio foi realizado conforme exigido pela norma ABNT NBR 5739:2007 e durante todo o ensaio foi mantida a velocidade constante de 0,3MPa/s, com o carregamento sendo aplicado continuamente sem choques.

Figura 12- Ensaio de cisalhamento inclinado na máquina.



Fonte: Autoria própria (2025).

$$\sigma_0 = \frac{F_{ruptura}}{A_{con}} \quad (6)$$

Sendo: *Fruptura* força de ruptura, $A_{con} = 7,5(cm \times) 8,5(cm)$ (cm²) (área da seção transversal).

3 RESULTADOS

3.1 RUGOSIDADE

A partir dos resultados obtidos pelo método da mancha de areia, observou-se que os corpos de prova de concreto convencional com interfaces inclinadas de 25° e 30° apresentaram baixa rugosidade superficial, ou seja, são muito lisos e sem intertravamento mecânico, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2- Resultados do ensaio de determinação da rugosidade da superfície.

Rugosidade- Ensaio de Mancha de Areia	Diâmetro 1(mm)	Diâmetro 2(mm)	Diâmetro 3(mm)	Diâmetro 4(mm)	Diâmetro médio (mm)	Volume de areia (mm ³)	Rugosidade (m m)	Rugosidade (mm)
Corpo de prova 1: 25°	80,00	80,00	75,00	85,00	80,00	1,80	0,00113	0,00116
Corpo de prova 2: 25°	75,00	75,00	80,00	80,00	77,50	1,80	0,00120	
Corpo de prova 1: 30°	75,00	70,00	70,00	70,00	71,25	1,80	0,00142	0,00135
Corpo de prova 2: 30°	75,00	70,00	80,00	75,00	75,00	1,80	0,00128	

Fonte: Autoria própria (2025).

3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CONCRETOS

A Tabela 3 apresenta os resultados de resistência à compressão do concreto C1 e do UHPC aos 120 dias de concretagem. Os mesmos foram ensaiados no mesmo período que os corpos de prova com interface. Nota-se que a resistência média a compressão do concreto C1 foi de 24,51MPa, caracterizando como concreto do grupo C1, na qual compreende os concretos com resistência à compressão de até 50 MPa. Já a resistência média à compressão do UHPC foi acima de 100 MPa (129,77 MPa), caracterizando o mesmo como UHPC.

Tabela 3- Resistência à compressão aos 20 dias de idade para os concretos estudados.

Concreto Convencional	Resistência à compressão (MPa)	UHPC	Resistência à compressão (MPa)
1	19,34	1	129,50
2	23,73	2	128,50
3	30,47	3	131,00
Média	24,51	Média	129,67
Desvio Padrão	4,58	Desvio Padrão	1,03

Fonte: Autoria própria (2025).

3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA INTERFACE

Foram realizados ensaios laboratoriais para avaliar as propriedades mecânicas na interface com inclinações de 25° e 30° em relação à vertical, onde foi obtida a tensão de resistência à ruptura dos corpos de prova. Segundo os autores Austin, Robins e Pan (1999), a fim de descrever o critério de falha da por cisalhamento da ligação, criaram uma expressão na qual relacionava o ângulo de inclinação entre interface da ligação e o eixo longitudinal, e tensão de ruptura com a tensão de cisalhamento e a tensão normal, como mostra a Figura 1 e as Equações 2,3 e 4. Quando um corpo de prova está submetido a uma tensão normal (σ) ou cisalhante (τ) em um certo plano, e rotacionamos o eixo de análise (ângulo θ), surgem novas componentes de tensão normal e de cisalhamento. Dessa forma, a orientação da interface em relação ao carregamento influencia diretamente a proporção entre essas componentes. Quando a interface está perpendicular ao carregamento (vertical), o plano tende a apresentar tensão normal de compressão máxima e tensão de cisalhamento mínima. À medida que o plano é inclinado, a componente de cisalhamento no plano aumenta progressivamente, enquanto a componente normal de compressão se reduz. Em ângulos mais próximos da direção paralela ao carregamento, o comportamento se aproxima de cisalhamento puro, com a tensão normal tendendo a zero.

Antes de realizar os ensaios, os corpos de prova foram retificados nos topos. Para aferição da retífica, foi colocado o nível de bolha (Figura 13).

Figura 13- Aferição da retífica pelo nível de bolha.



Fonte: Aatoria própria (2025).

As características e as propriedades mecânicas dos corpos de prova com interface de 25° e 30° sem cola adesiva estão apresentadas nas Tabelas 4 e 5 e dos corpos de prova com interface sem cola adesiva de 25° e 30° nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Tabela 4- Propriedades mecânicas do ensaio de cisalhamento inclinado para a interface de 25°, sem cola adesiva.

25 sem cola adesiva	F(kN)	σ_0 (MPa)	T_n (MPa)	σ_n (MPa)
1	100,40	15,75	6,03	2,81
2	137,10	21,51	8,24	3,84
3	136,60	21,43	8,21	3,83
4	90,70	14,23	5,45	2,54
Média	116,20	18,23	6,98	3,26
Desvio Padrão	20,93	3,28	1,26	0,59
Área da seção (m ²)	0,0064			
α	25			

Fonte: Aatoria própria (2025).

Tabela 5- Propriedades mecânicas do ensaio de cisalhamento inclinado para a interface de 30°, sem cola adesiva.

30 sem cola adesiva	F(kN)	σ_0 (MPa)	τ_n (MPa)	σ_n (MPa)
1	104,40	16,38	7,09	4,09
2	144,80	22,71	9,84	5,68
3	182,50	28,63	12,40	7,16
4	139,90	21,95	9,50	5,49
Média	142,90	22,42	8,59	4,00
Desvio Padrão	27,67	4,34	1,66	1,09
Área da seção (m ²)	0,0064			
α	30			

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 6- Propriedades mecânicas do ensaio de cisalhamento inclinado para a interface de 25°, com cola adesiva.

25 com cola adesiva	F(kN)	σ_0 (MPa)	τ_n (MPa)	σ_n (MPa)
1	99,40	15,59	5,97	2,78
2	123,10	19,31	7,40	3,45
3	125,30	19,65	7,53	3,51
4	107,30	16,83	6,45	3,01
Média	113,78	17,85	6,84	3,19
Desvio Padrão	10,82	1,70	0,65	0,30
Área da seção (m ²)	0,0064			
α	25			

Fonte: Autoria própria (2025).

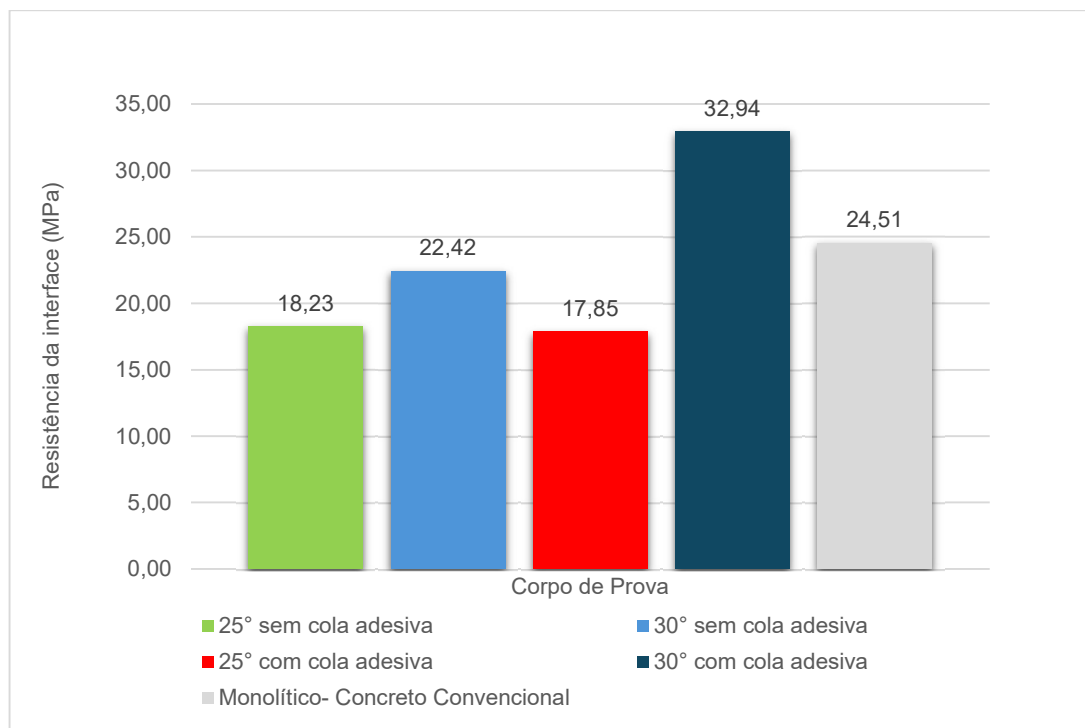
Tabela 7- Propriedades mecânicas do ensaio de cisalhamento inclinado para a interface de 30°, com cola adesiva.

30 com cola adesiva	F(kN)	σ_0 (MPa)	τ_n (MPa)	σ_n (MPa)
1	158,30	24,83	10,75	6,21
2	246,70	38,70	16,76	9,67
3	162,10	25,43	11,01	6,36
4	272,80	42,79	18,53	10,70
Média	209,98	32,94	12,62	5,88
Desvio Padrão	50,64	7,94	3,04	1,99
Área da seção (m ²)	0,0064			
α	30			

Fonte: Autoria própria (2025).

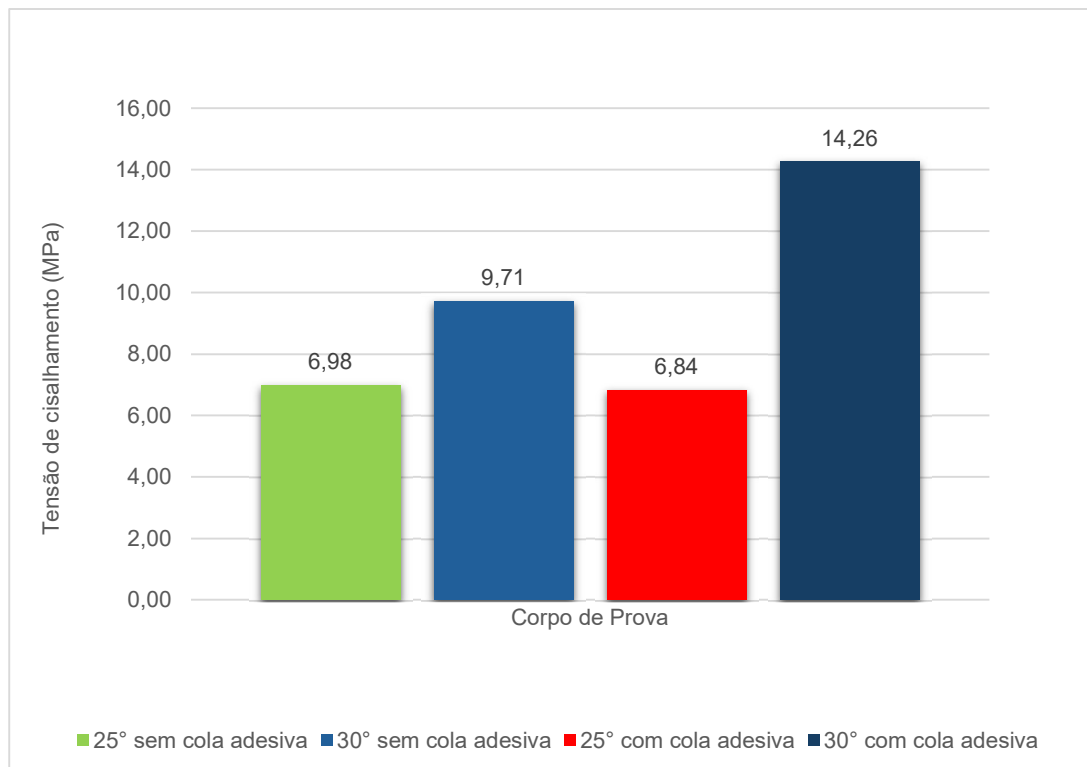
Observa-se que a resistência normal apresentou valores inferiores à resistência ao cisalhamento em todos os ângulos de inclinação. De acordo com os autores Austin, Robins e Pan (1999), mesmo que um material de origem cimentícia esteja sob tensão de cisalhamento, como acontece no ensaio de cisalhamento inclinado, a falha geralmente ocorre devido a fissuração por tração em vez de escorregamento por cisalhamento, pois a parte mais fraca do concreto é a zona de ligação entre a pasta de cimento e os agregados, tal fenômeno se explica através dos resultados acima. Além disso, conforme o fib Model Code 2010 (2010), durante o carregamento até a ruptura, desenvolvem-se tensões normais de compressão na interface, que provocam o esmagamento local e aumentam o atrito entre as superfícies, elevando a resistência ao cisalhamento. O uso de fibras no UHPC contribui adicionalmente para esse efeito, atuando como pinos (*dowel action*) que resistem ao deslizamento e aumentam o intertravamento mecânico entre as camadas, o que explica o aumento da tensão de cisalhamento observada em relação à tensão normal.

Figura 14- Resistência média da interface (MPa).



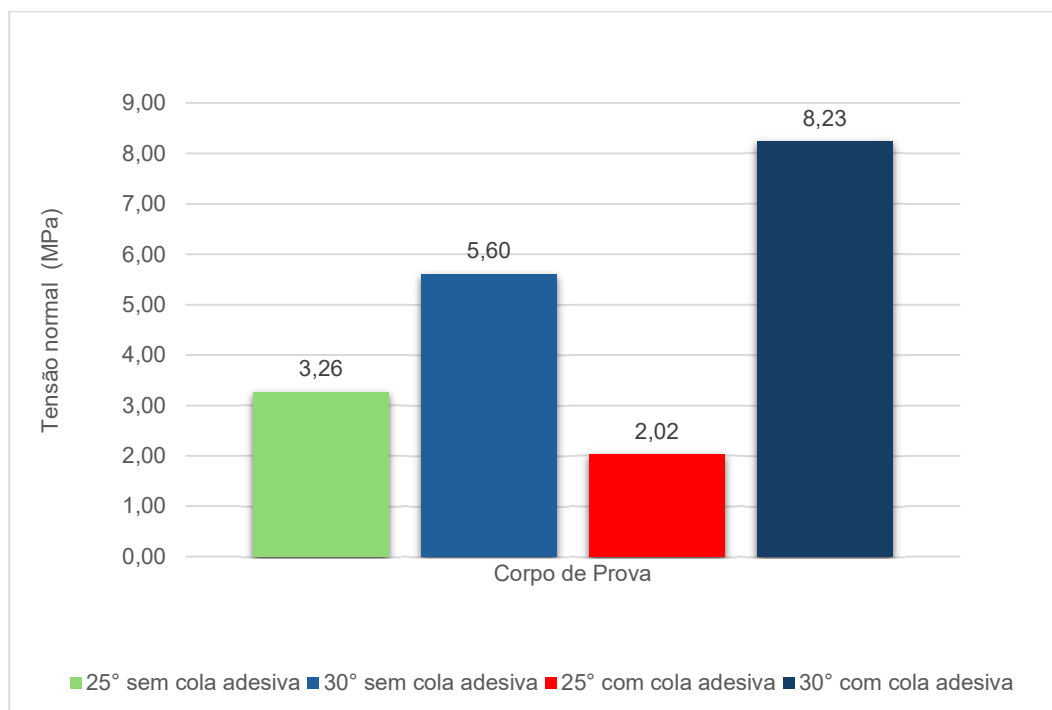
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 15- Tensão de cisalhamento média (MPa).



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 16- Tensão de normal de compressão média (MPa).



Fonte: Autoria própria (2025).

Nas Figuras 14, 15 e 16, observa-se que a interface com inclinação de 30° em relação à vertical apresentou maior capacidade resistente na interface frente aos corpos de prova com inclinação de 25° em relação à interface. Houve um acréscimo de 22,98% na resistência à ruptura da interface, de 39,03% na tensão de cisalhamento e de 72,14% na tensão normal quando o ângulo de inclinação da interface mudou de 25° para 30° nas interfaces sem o uso de cola adesiva.

O mesmo ocorreu com os corpos de prova com a interface com cola adesiva. Os resultados indicam que também houve um aumento da resistência de ruptura de 84,55% na interface com ângulo de inclinação de 30° em relação ao ângulo de inclinação de 25°. Para as tensões normais e de cisalhamento, nas quais o ângulo de inclinação exerce influência sobre os resultados, observou-se comportamento consistente, destacando-se o ângulo de 30° com o uso de cola adesiva como o mais resistente. É importante destacar que houve aumento de significativo entre o ângulo de 25° com cola adesiva para o ângulo de 30° com cola adesiva, correspondendo a 108,64% de incremento na tensão de cisalhamento e 306,72% na tensão normal. Tal comportamento ocorre porque, como o concreto tem maior resistência à compressão frente à resistência ao cisalhamento, quanto maior o ângulo de inclinação, maior é a solicitação da resistência à compressão em relação ao cisalhamento. Esse fenômeno físico é verificado caso haja ruptura na interface.

Para a interface com ângulo de 25° sem cola adesiva, a tensão vertical de compressão manteve-se próxima à observada na interface de 25° com cola, não apresentando alterações significativas nos resultados. Esse comportamento difere do observado nas interfaces de 30°, devido às diferentes distribuições de tensões.

Conforme destacado por Austin, Robins e Pan (1999), a resistência na interface tende a aumentar com a rugosidade superficial, uma vez que esta promove maior aderência por atrito e intertravamento mecânico, isso é comprovado ao comparar o ângulo de inclinação de 30° sem o uso de cola adesiva com aquele que recebeu a aplicação da cola, observou-se um aumento de aproximadamente 46% nas propriedades mecânicas. Esse ganho está associado à presença da cola adesiva em uma interface de baixa rugosidade, que favoreceu a adesão entre os materiais destacando o efeito positivo do uso da mesma. No entanto, os autores ressaltam que o excesso de rugosidade pode comprometer a ligação, evidenciando a importância de determinar a rugosidade ideal e o ângulo de inclinação crítico para alcançar a máxima resistência da interface.

Estes resultados vão de encontro com a geometria proposta na ASTM C882 / C882M: 2013 que corrobora um ângulo de inclinação na região da interface com a vertical de 30° para determinar a tensão vertical máxima na interface de concretos. No entanto, esse comportamento pode sofrer alteração a depender do tipo de resistência do concreto, pois se for concreto de alta resistência, a ruptura pode não ocorrer na interface para o ângulo de 30°, e conseqüentemente a força de ruptura pode sofrer alteração (Aquino *et al.*, 2025).

Figura 16 apresenta os resultados médios da tensão de compressão vertical de ruptura para os modelos com interface de 25° e 30° com e sem cola estrutural em comparação com os os modelos monolíticos de concreto C1. Os resultados apresentados do modelo monolítico foram inferiores aos resultados dos corpos de prova com inclinação de 30° sem cola adesiva e com inclinação de 20° com e sem cola adesiva. Por outro lado, a tensão média de compressão vertical de ruptura do modelo com interface de 30° e cola adesiva foi superior aos resultados do modelo monolítico.

3.4 CRITÉRIO DE RUPTURA

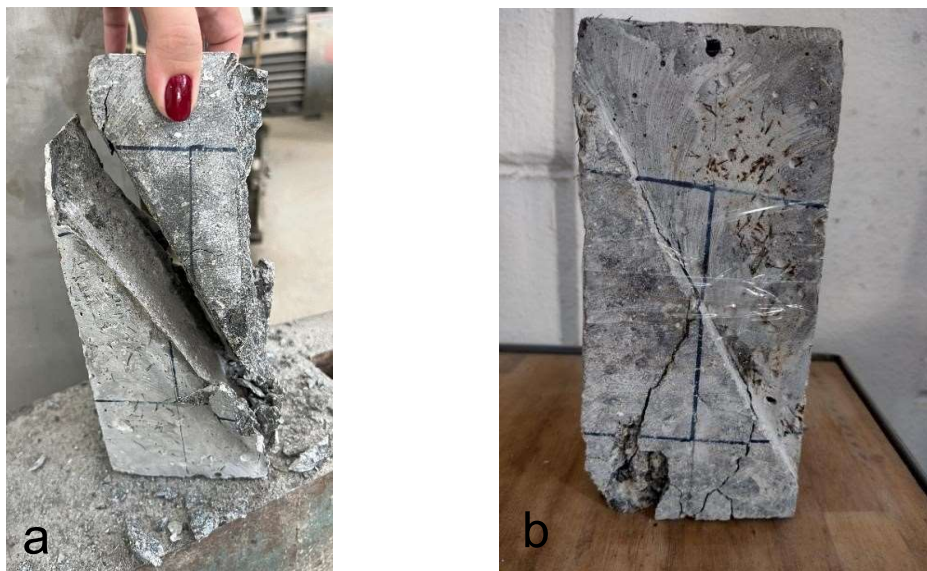
Os corpos de prova apresentaram ruptura predominante na interface, conforme apresentado na Figura 17, tanto para o ângulo de inclinação da vertical de 25° quanto de 30° sem cola adesiva. Como todos romperam na interface, isso evidencia a adequada execução dos ensaios. Para os corpos de prova com ângulo de 30° com cola adesiva, os mesmos romperam na interface e no concreto de menor resistência (C1), reforçando a boa resistência da interface (Figuras 18a e 18b).

Figura 17- Ruptura típica dos modelos com interface de 25° e 30° sem cola adesiva.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 18 (a) e (b)- Ruptura típica dos modelos com interface de 30° com cola adesiva.

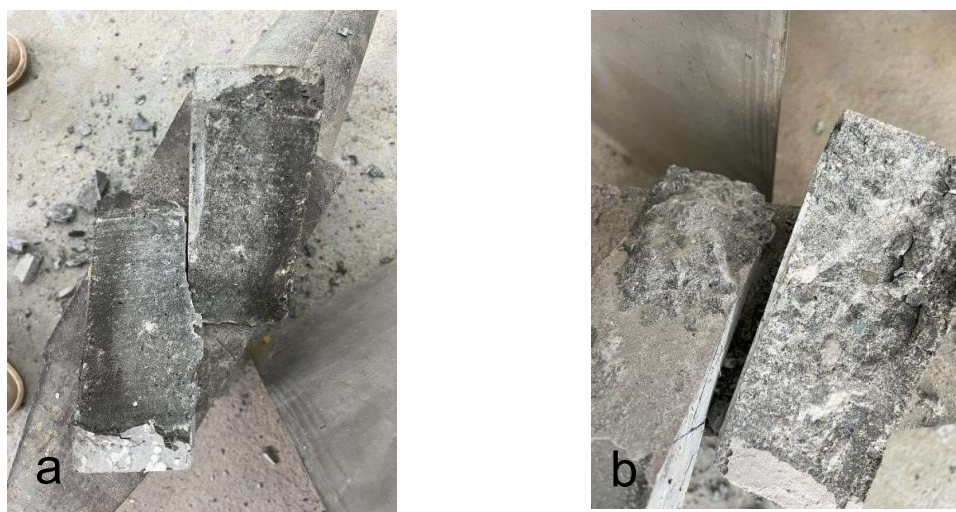


Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 19a apresenta a interface após a ruptura, considerando o ângulo de 30°, sem cola adesiva. Já a Figura 19b mostra a mesma geometria da interface, porém com cola adesiva. Nota-se que na interface com cola adesiva, o concreto de menor resistência ficou aderido no UHPC, ou seja, houve uma ruptura na interface e as fissuras se propagou para o concreto de menor resistência. Por outro lado, na interface sem cola adesiva, o concreto de menor resistência não ficou aderido no UHPC, ou

seja, houve ruptura somente na interface. Esse resultado corrobora os resultados experimentais, na qual a tensão vertical com cola adesiva foi maior, pois houve ruptura parcial na interface e no concreto de menor resistência. Tal comportamento ocorre porque a cola adesiva reage quimicamente com a matriz cimentícia fresca, criando uma ponte de aderência entre o substrato antigo e o novo concreto, aumentando a resistência da interface. Além disso, a presença da cola adesiva penetra nos poros e rugosidade da superfície de concreto, preenche a mesma, formando uma ancoragem mecânica na interface.

Figura 19- Interface de ruptura de 30° sem cola adesiva (a) e com cola adesiva (b).



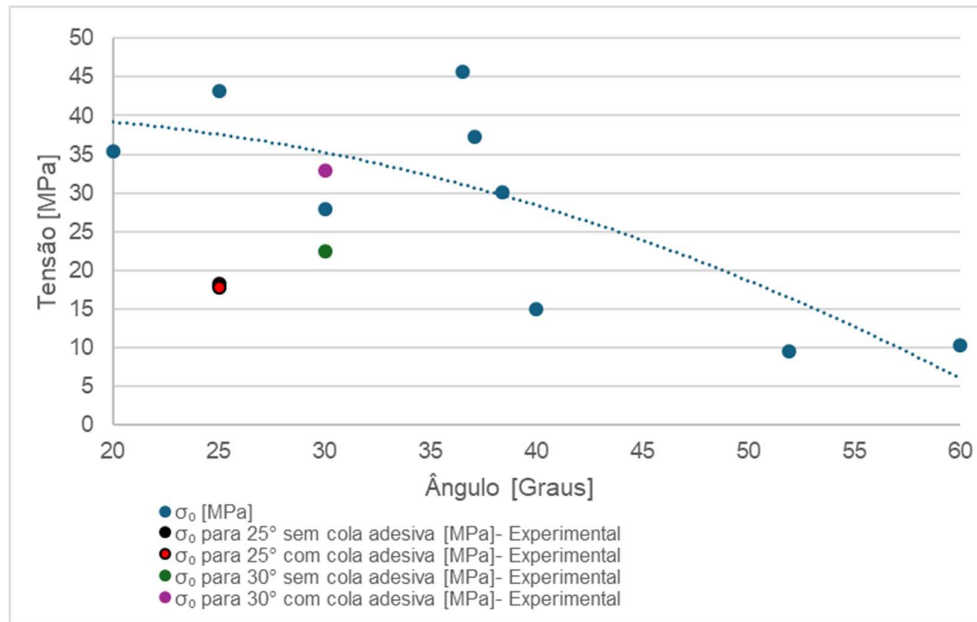
Fonte: Autoria própria (2025).

3.5 COMPARAÇÃO COM OS RESULTADOS DA LITERATURA

A Figura 20 mostra a relação entre tensão e ângulo de inclinação da interface UHPC/NSC de superfície lisa, ajustada por um modelo polinomial de grau 2, com R^2 próximo a 1 obtidos por Aquino (2025). Com os dados coletados o mesmo concluiu que a tensão σ_0 diminui com o aumento do ângulo e as curvas de tendência das tensões normal e cisalhante se cruzam em um ângulo de 47,60°. Além disso, a curva de resistência da interface UHPC/NSC com superfície lisa apresenta uma dependência da variação do ângulo, pois como não há rugosidade da interface, essas características tornam-se predominante no comportamento da resistência do concreto. Referente à interface lisa, esse comportamento da interface UHPC/NSC mostra que as propriedades mecânicas do concreto de menor resistência tem

influência em relação aos resultados obtidos (Aquino, 2025). De modo geral, os resultados obtidos foram próximos ao da literatura, devido a presença de poucos dados em relação a esse tipo de ensaio.

Figura 20- Relação tensão normal versus ângulo de inclinação da interface do modelo analítico e do modelo experimental.



Fonte: Autoria própria (2025).

A Tabela 08 apresenta uma comparação dos resultados obtidos pelas equações propostas por Aquino (2025) e os resultados obtidos experimentalmente. Percebe-se que houve uma diferença de 46,80% para o ângulo de 25°, sendo o modelo analítico o de maior valor, e de 16,65% a mais para a interface experimental de 30° quando comparada ao modelo analítico.

Tabela 8- Equações obtidas para cada interface e rugosidade em função do ângulo de inclinação com a vertical (α).

Interface	Classificação da rugosidade	Resistência da interface (σ_0) (MPa)	Tensão normal (σ_n) (MPa)	Tensão de cisalhamento (τ_n)(MPa)
UHPC/NSC				
Analítico		$\sigma_0 = 0,0166(\alpha)^2 - 2,1187(\alpha) + 76,844$	$\sigma_n = 0,0062(\alpha)^2 - 0,513(\alpha) + 16,196$	$\tau_n = 0,0067(\alpha)^2 - 0,8478(\alpha) + 30,999$
25	Lisa	34,26	7,25	13,99
30	Lisa	28,24	6,39	11,60
Experimental				
25	Lisa	18,23	3,26	6,98
30	Lisa	32,94	8,23	14,26

Fonte: Autoria própria (2025).

4 CONCLUSÃO

Com o objetivo de avaliar a viabilidade do uso do UHPC como material de reforço em elementos estruturais, como vigas e pilares, este estudo analisou experimentalmente o efeito da variação do ângulo de inclinação da interface (25° e 30°) em ensaios de cisalhamento inclinado. Foram avaliadas a resistência vertical, tensão normal, tensão de cisalhamento e o modo de ruptura em interfaces lisas entre concreto convencional (C1) e UHPC reforçado com fibras, bem como o impacto da aplicação de cola adesiva estrutural sobre a resistência da interface.

Os resultados demonstraram que a interface com ângulo de 30° em relação à vertical apresentou desempenho superior em comparação ao ângulo de 25° , tanto com quanto sem o uso de cola adesiva. Destaca-se que a combinação do ângulo de 30° com o uso do adesivo estrutural resultou nos maiores valores de resistência vertical da interface, em média, 33,84% superior à dos corpos de prova monolíticos de concreto convencional e 46,36% superior aos modelos com o mesmo ângulo, mas sem adesivo. Para a tensão normal e de cisalhamento este acréscimo se manteve em 46%. Tal comportamento é validado porque concreto tem maior resistência à compressão frente à resistência ao cisalhamento, quanto maior o ângulo de inclinação, maior é a solicitação da resistência à compressão em relação ao cisalhamento. Além disso, esse fenômeno foi validado através do critério de ruptura, na qual os corpos de prova apresentaram ruptura na interface. Através do mesmo critério foi possível avaliar o melhor desempenho do uso de adesivo estrutural na interface, pois os corpos de prova que utilizaram desse meio de ligação apresentaram ruptura na interface e o concreto de menor resistência ficou aderido ao UHPC, indicando a propagação de fissuras ao concreto de menor resistência, demonstrando mais resistência frente aos esforços, enquanto os sem o uso de cola adesiva romperam apenas na interface.

Além disso, a baixa rugosidade superficial observada nas interfaces reforça a importância do uso de adesivos estruturais para garantir a aderência entre os concretos, uma vez que, em superfícies lisas, o intertravamento mecânico é praticamente inexistente.

Este resultado vai de encontro com a geometria proposta na ASTM C882 / C882M: 2013 que corrobora um ângulo de inclinação na região da interface com a vertical de 30° para determinar a tensão vertical máxima na interface de concretos.

Diante desses resultados, pode-se considerar que o preenchimento com UHPC nas regiões solicitadas, considerando um ângulo de inclinação da interface de 30° atende o comportamento estrutural, tornando-se uma alternativa viável de reforço de um elemento. Para superfícies lisas, o uso de cola adesiva é uma alternativa viável para esse reforço a fim de produzir maior resistência da interface de ligação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL; INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. Estruturas de concreto de ultra-alto desempenho. São Paulo: IBRACON; ABECE, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7584**: concreto endurecido — avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7222**: concreto e argamassa – determinação da resistência à tração por compressão diametral por corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8522**: concreto - determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953**: concreto para fins estruturais – classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17246-1**: concreto de ultra-alto desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

AKEED, M.H. *et al.* Ultra-high-performance fiber-reinforced concrete. Part II: hydration and microstructure. **Case Studies In Construction Materials**, v. 17, e01289, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522004211>. Acesso em: 8 fev. 2025.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C882/C882M**: Standard test method for bond strength of epoxy-resin systems used with concrete by slant shear. West Conshohocken: ASTM International, 2013.

BREUGEL, K. V.; TUAN, N. V.; YE, G. Ultra-high-performance concrete made with rice husk ash for reduced autogenous shrinkage. In: INTERNATIONAL fib CONGRESS, 4., 2014, Mumbai. Proceedings [...]. Mumbai: Universities Press, 2014.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/288181924_Ultra_High_Performance_Concrete_made_with_Rice_Husk_Ash_for_Reduced_Autogenous_Shrinkage. Acesso em: 8 fev. 2025.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (FIB). **fib Model Code for Concrete Structures 2010**. Lausanne: fib, 2013.

FENG, S.; XIAO, H.; LI, H. Comparative studies of the effect of ultra-high-performance concrete and normal concrete as repair materials on interfacial bond properties and microstructure. **Engineering Structures**, Oxford, v. 222, 2020.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/343204368_Comparative_studies_of_the_effect_of_ultrahigh-performance_concrete_and_normal_concrete_as_repair_materials_on_interfacial_bond_properties_and_microstructure. Acesso em: 15 mar. 2024.

GRAYBEAL, B. A. **Material property characterization of ultra-highperformance concrete**. Washington, DC: Federal Highway Administration, Office of Infrastructure Research and Development, 2006. Disponível em:

<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/06103/06103.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2024.

HARRIS, D. *et al.* The challenges related to interface bond characterization of ultra-high-performance concrete with implications for bridge rehabilitation practices. **Advances in Civil Engineering Materials**, West Conshohocken, v.4, n. 2, 2014. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/276242649_The_Challenges_Related_to_Interface_Bond_Characterization_of_Ultra-High-Performance_Concrete_With_Implications_for_Bridge_Rehabilitation_Practices. Acesso em: 7 ago. 2025.

HUANG, B. *et al.* Effect of fiber content on mechanical performance and cracking characteristics of ultra-high-performance seawater sea-sand concrete (UHP-SSC).

Advances In Structural Engineering, London, v. 24, n. 6, 2021. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/345684871_Effect_of_fiber_content_on_mechanical_performance_and_cracking_characteristics_of_ultra-high-performance_seawater_sea-sand_concrete_UHP-SSC. Acesso em: 20 fev. 2025.

JAFARINEJAD, S.; RABIEE, A.; SHEKARCHI, M. Experimental investigation on the bond strength between ultra-high strength fiber reinforced cementitious mortar and conventional concrete. **Construction and Building Materials**, Oxford, v. 229, 2019. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/337662251_Experimental_investigation_on_the_bond_strength_between_Ultra_high_strength_Fiber_Reinforced_Cementitious_Mortar_conventional_concrete. Acesso em: 20 ago. 2025.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

- MOMAYEZ, A. *et al.* Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials. **Cement and Concrete Research**, Oxford, v. 35, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223682765_Comparison_of_methods_for_evaluating_bond_strength_between_concrete_substrate_and_repair_materials. Acesso em: 20 ago. 2025.
- NEHDI, M.; DUQUETTE, J.; EL DAMATTY, A. Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete. **Cement and Concrete Research**, Oxford, v. 33, n. 8, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223248096_Performance_of_Rice_Husk_Ash_Produced_Using_a_New_Technology_as_a_Mineral_Admixture_in_Concrete. Acesso em: 8 fev. 2025.
- PRADO, L. P. *et al.* Influência do ângulo de inclinação no ensaio de cisalhamento inclinado na interface concreto convencional/UHPC. **Concreto & Construções**, São Paulo, v. 118, 2025. Disponível em: https://www.ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/edicao118/pesquisa_angulo_118.pdf. Acesso em: 15 mar. 2024.
- PRADO L. P.; CARRAZEDO R; EL DEBS, M. Interface strength of high-strength concrete to ultra-high-performance concrete. **Engineer Structures**, Oxford, v. 252, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/356485806_Interface_strength_of_High-Strength_concrete_to_Ultra-High-Performance_concrete. Acesso em: 15 mar. 2024.
- PRADO, L. P. **Interface study of Precast Concrete and Ultra-High-Performance Reinforced Concrete**. 2020. Thesis (PhD. in Civil Engineering (Structures)) – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2020.
- RUSSELL, H. G.; GRAYBEAL, B. A. **Ultra-high-performance concrete: a state-of-the-art report for the bridge community**. Washington, DC: Federal Highway Administration, Office of Infrastructure Research and Development, 2013. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/hpc/13060/>. Acesso em: 4 jun. 2025.
- SANTOS, P. M. D.; JÚLIO, E. N. B. S. Development of a laser roughness analyser to predict in situ the bond strength of concrete-to-concrete interfaces. **Magazine of Concrete Research**, London, v. 60, n. 5, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250072636_Development_of_a_laser_roughness_analyser_to_predict_in_situ_the_bond_strength_of_concrete-to-concrete_interfaces. Acesso em: 20 mar. 2024.
- SANTOS, P. M. D.; JÚLIO, E. N. B. S. Factors affecting bond between new and old concrete. **ACI Materials Journal**, Farmington Hills, v. 108, n. 4, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267211766_Factors_Affecting_Bond_between_New_and_Old_Concrete. Acesso em: 20 mar. 2024.
- SEMENDARY, A. A.; SVECOVA, D. Interfacial parameters for bridge connections at high-strength concrete–ultrahigh-performance concrete interface. **Journal of**

Materials in Civil Engineering, Reston, v. 32, 2020. Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003107](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003107). Acesso em: 22 mar. 2024.

TAYEH, A. B.; BAKAR, A. H. A.; JOHARI, M. A. M. Characterization of the interfacial bond between old concrete substrate and ultra high performance fiber concrete repair composite. **Materials and Structures**, Dordrecht, v. 45, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257896334_Characterization_of_the_interfacial_bond_between_old_concrete_substrate_and_ultra_high_performance_fiber_concrete_repair_composite. Acesso em: 22 mar. 2024.

ZANOTTI, C.; BANTHIA, N. Modified slant shear cylinder test for inherent characterization of bond in concrete repairs. **The Indian Concrete Journal**, Mumbai, v. 90, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305654393_Modified_Slant_Shear_Cylinder_MSSC_Test_for_Inherent_Characterization_of_Bond_in_Concrete_Repairs. Acesso em: 15 mar. 2024.

WICHERT, M.; MATZ, H.; EMPELMANN, M. Grouted segment joints for structures made of ultra-high-performance concrete. **Concrete – Innovations in Materials, Design and Structures**, Copenhagen, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Henrik-Matz/publication/333603615_Grouted_segment_joints_for_structures_made_of_ultra-high_performance_concrete/links/5d14d1e1a6fdcc2462aa4580/Grouted-segment-joints-for-structures-made-of-ultra-high-performance-concrete.pdf. Acesso em: 6 ago. 2025.