

VIABILIDADE DA OBTENÇÃO DE CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO (UHPC) UTILIZANDO MATERIAIS REGIONAIS EM PALMAS, TOCANTINS

FEASIBILITY OF OBTAINING ULTRA HIGH-PERFORMANCE CONCRETE (UHPC) USING REGIONAL MATERIALS IN PALMAS, TOCANTINS

Rafael Cruz de Almeida 1

Fabício Machado Silva 2

André Soares Mendes 3

Resumo: Este estudo investigou a viabilidade técnica e econômica da produção de Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC) utilizando materiais regionais de Palmas, Tocantins. Foram formulados dois traços de UHPC: um com adição de fibra de polipropileno e outro sem fibra. Os resultados dos ensaios de compressão revelaram resistências significativas, indicando o potencial dos recursos locais para a produção de UHPC com propriedades adequadas para aplicações estruturais. Além disso, os ensaios de durabilidade demonstraram que ambos os traços possuem baixa permeabilidade e alta resistência química, características essenciais para ambientes agressivos. A utilização de materiais regionais pode reduzir custos e impactos ambientais, promovendo a sustentabilidade na construção civil. Este estudo também sugere que a combinação de materiais locais com técnicas otimizadas pode resultar em UHPC com desempenho comparável aos produtos comerciais, incentivando o desenvolvimento econômico regional e a inovação no setor. A produção local de UHPC pode proporcionar benefícios econômicos e ambientais significativos.

Palavras-Chave: UHPC. Fibra de Polipropileno. Palmas.

Abstract: This study investigated the technical and economic feasibility of producing Ultra High Performance Concrete (UHPC) using regional materials from Palmas, Tocantins. Two UHPC mixes were formulated: one with the addition of polypropylene fiber and the other without fiber. The results of the compression tests revealed significant strengths, indicating the potential of local resources for the production of UHPC with properties suitable for structural applications. Furthermore, durability tests demonstrated that both traits have low permeability and high chemical resistance, essential characteristics for aggressive environments. The use of regional materials can reduce costs and environmental impacts, promoting sustainability in civil construction. This study also suggests that combining local materials with optimized techniques can result in UHPC with performance comparable to commercial products, encouraging regional economic development and innovation in the sector. Local production of UHPC can provide significant economic and environmental benefits.

Keywords: Photovoltaic. Renewable. Irradiation. Palmas.

1 Acadêmico de Engenharia Civil - Centro Universitário UNITOP, Palmas, TO. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9740011805084175>. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8646-1880>. E-mail: rafael_almeidacr@hotmail.com

2 Dr. Tecnologia Ambiental, Eng. Civil, Ambiental, de Produção e de Segurança do Trabalho. Professor, Pesquisador e Coordenador do Curso de Engenharia Civil - Centro Universitário UNITOP. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0308861058772993>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8963-6659>. E-mail: fabricao_amb@yahoo.com.br

3 Especialista em engenharia Ambiental, graduado em Construção de Edifícios, Técnico em Edificações cursando mestrado, Professor, pesquisador e Coordenador adjunto do Curso de Engenharia Civil, Faculdade UNITOP. Coorientador voluntário. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0913349200518393>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7347-8297>, E-mail: andre.ift@gmail.com

Introdução

A construção civil busca constantemente novos materiais que proporcionem maior resistência e durabilidade às estruturas. O Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC) é uma solução promissora devido às suas propriedades mecânicas excepcionais e durabilidade superior.

Segundo Christ et al. (2022), o UHPC se destaca pela alta resistência à compressão, baixa permeabilidade e capacidade de absorção de energia. Essas características fazem do UHPC um material ideal para aplicações em estruturas que exigem alta performance e longevidade. O concreto é um material amplamente utilizado na construção civil, sendo responsável por boa parte da resistência e durabilidade das estruturas (LOPES et al. 2020).

A utilização de materiais locais na produção de UHPC pode trazer benefícios econômicos e ambientais significativos. O aproveitamento de recursos regionais reduz a dependência de materiais importados e diminui os custos de transporte, contribuindo para a sustentabilidade da construção civil. Além disso, a incorporação de materiais locais pode incentivar o desenvolvimento econômico regional e criar oportunidades de emprego.

O objetivo deste estudo é investigar a viabilidade técnica e econômica da produção de UHPC utilizando materiais disponíveis na região de Palmas, Tocantins. Este estudo se concentra em avaliar as propriedades mecânicas dos traços de UHPC desenvolvidos e comparar seus desempenhos com as especificações internacionais. A análise inclui a realização de ensaios laboratoriais para determinar a resistência à compressão, a durabilidade e outras propriedades essenciais do UHPC.

Metodologia

Estudos de dosagem dos concretos tem fundamentos científicos e tecnológicos fortes, mas sempre envolve uma parte experimental em laboratório e/ou campo, o que faz com que certos pesquisadores e profissionais considerem a dosagem do concreto mais como uma arte do que uma ciência (MEHTA & MONTEIRO, 2008). Para o preparo do UHPC, foi feita uma dosagem rigorosa de materiais específicos: cimento Portland, areia fina, pó de quartzo, sílica ativa, aditivo superplastificante e água, com adição de fibra de polipropileno em uma das formulações.

Levantamento Bibliográfico

Foi realizado um levantamento bibliográfico abrangente para entender as características do UHPC e os materiais utilizados em sua produção, incluindo estudos recentes sobre formulações, propriedades dos materiais, métodos de dosagem e critérios de desempenho. Segundo Christ et al. (2022), a combinação de materiais como cimento, agregados finos e pozolânicos é crucial para atingir as propriedades desejadas do UHPC.

Realização dos Ensaio

Coleta e Caracterização de Materiais

Foram coletadas amostras de cimento, agregados, aditivos e materiais pozolânicos disponíveis na região de Palmas, Tocantins. As amostras foram submetidas a análises de granulometria, composição química, finura e outras propriedades relevantes para determinar sua adequação para a produção de UHPC.

Dosagem e Produção de UHPC

O método é baseado em etapas, nas quais se determinam os quantitativos dos constituintes e, posteriormente, ocorre a validação, através da mistura (TUTIKIAN, 2022). Com base nas características dos materiais regionais (Tabela 1), duas diferentes formulações de dosagem de UHPC foram definidas, sendo a primeira sem fibra de polipropileno e a segunda com fibra.

Tabela 1. Traço utilizado na Produção de UHPC desta Pesquisa

ITEM	PESO (KG)
Cimento	1,24
Areia	1,365
Sílica Ativa	0,291
Pó de Quartzo	0,305
Aditivo	0,037
Água	0,224
Fibra	0,04

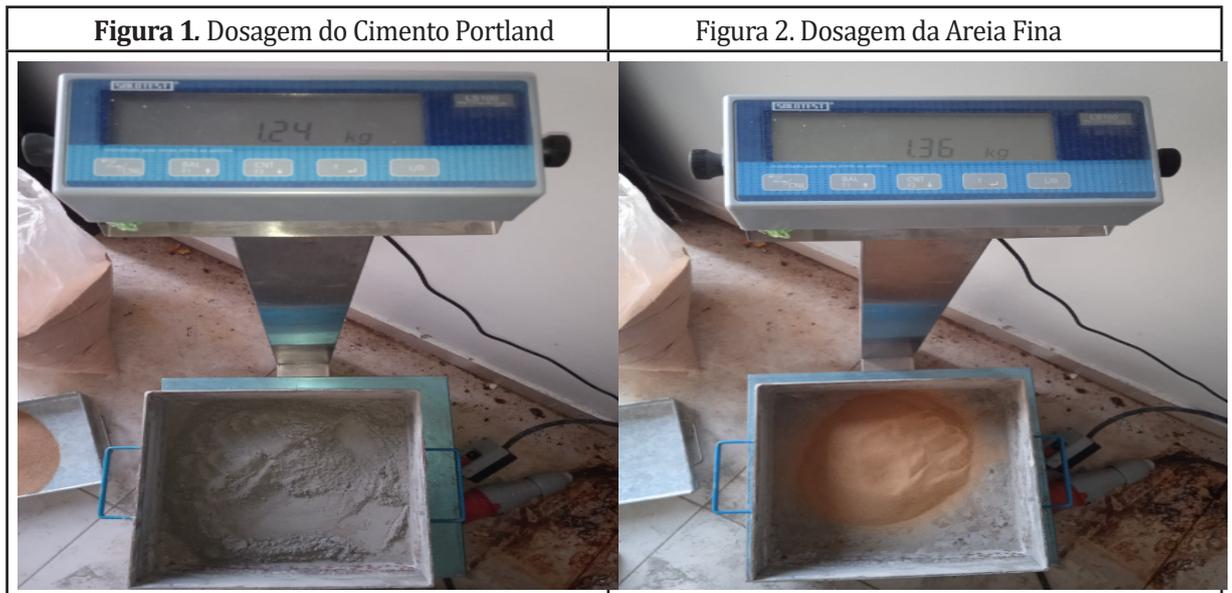
Fonte: AUTOR (2024).

Métodos para se obter a proporção ideal do UHPC com diferentes materiais foram desenvolvidos e são apresentados em diferentes pesquisas. Em praticamente todos estes trabalhos o traço é obtido através de uma mistura com elevado consumo de cimento, baixo consumo de água, adições de materiais muito finos e um elevado consumo de superplastificantes (ARORA et al. 2018).

Materiais Utilizados e Fornecedores

Cimento Portland CP-II: O principal aglomerante, responsável pela resistência mecânica e durabilidade do compósito. A dosagem foi de 1,24 kg, garantindo a reatividade necessária para o desenvolvimento das propriedades desejadas (Figura 1). Fornecido pela Edificar Materiais para Construção, empresa varejista de materiais de construção com 20 anos de atuação em Palmas, situada na quadra 706 Sul, Av. LO 19. Lotes 09/10 e 11.

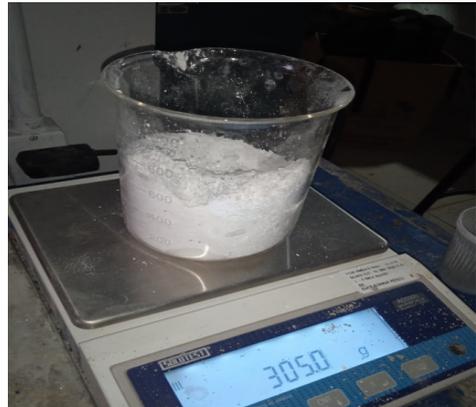
Areia Fina: Foi utilizada uma areia de granulometria controlada, com 1,365 kg, proporcionando uma matriz densa e homogênea, fundamental para a obtenção das características de ultra alto desempenho (Figura 2). Fornecida pela Mineração Cezar, empresa com 30 anos de atuação em Palmas, com foco na extração de areia e seixo sendo uma das mais renomadas empresas deste segmento para atender à demanda da construção civil na capital.



Fonte: AUTOR (2024).

Pó de Quartzo: O pó de quartzo (0,305 kg) atua como um material de preenchimento ultrafino, reduzindo a quantidade de água necessária e aumentando a compactidade da mistura. O pó de quartzo utilizado foi o micronizado malha 1000 (mil) fornecido pela Rolim-Tech, empresa atuante desde 2008 em Palmas no segmento de tecnologia para construção civil especializada em impermeabilização. O pó de quartzo malha 1000 é um material feito de quartzo que foi moído até atingir uma granulometria muito fina, correspondente a uma malha 1000 (Figura 3). Isso significa que as partículas do pó são suficientemente pequenas para passar por uma peneira com 1000 aberturas por polegada linear, resultando em um pó com partículas de aproximadamente 15 micrômetros ou menores.

Fibra de Polipropileno: Em uma das formulações, foram adicionados 0,04 kg de fibras de polipropileno. Essas fibras têm como função principal controlar a fissuração e melhorar o desempenho em tração e flexão, além de contribuir para a durabilidade ao reduzir a propagação de microfissuras. Fabricada pela Neomatex Fibras e Têxteis para Engenharia, fornecida pela Rolim-Tech. A adição de fibras de polipropileno ao concreto UHPC 1000 (Figura 4), oferece melhorias significativas em resistência à fissuração, tenacidade, resistência ao impacto, durabilidade e resistência ao fogo. Essas vantagens tornam o UHPC reforçado com fibras de PP uma escolha excelente para aplicações exigentes que requerem alto desempenho e longevidade.

<p>Figura 3: Dosagem de Pó de Quartzzo</p>	<p>Figura 4: Adição de Fibra de Polipropileno</p>
	

Fonte: AUTOR (2024).

Aditivo Superplastificante MC-POWERFLOW 4000: Para garantir a trabalhabilidade da mistura sem comprometer a baixa relação água/cimento, foi adicionado 0,037 kg de aditivo superplastificante à base de policarboxilato. Este aditivo foi utilizado para obter uma relação água/cimento adequada ao UHPC deste estudo (Figura 5). É fabricado pela empresa Mc-Bauchemie Brasil e fornecido pela Rolim-Tech. Fundada em 1961, a MC-Bauchemie é uma fabricante de agentes químicos para construção civil, como: Adesivos estruturais; Aditivos para argamassa, assentamento e rejunte; grautes; impermeabilizante e vários outros.

Sílica Ativa: Downsil TM Sílica Fume BR, com dosagem de 0,291 kg, a sílica ativa foi incorporada para promover a reação pozolânica, aumentando a densidade da matriz e reduzindo a porosidade, fatores que contribuem diretamente para a resistência e durabilidade (Figura 6). Fabricada pela Tecnosil Soluções Especiais, fornecida pela Concregel, empresa atuante no segmento de produção e fornecimento de concreto usinado em Palmas, sendo uma das concreteiras mais renomadas da cidade e arredores. Atualmente possui duas filiais no estado do Tocantins, sendo uma em Palmas e a outra em Gurupi.

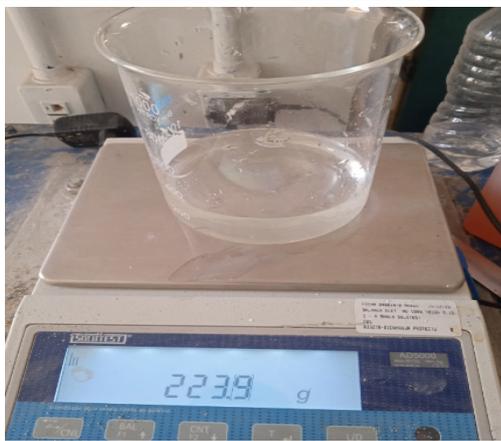
<p>Figura 5. Dosagem do Aditivo</p>	<p>Figura 6. Dosagem de Sílica Ativa</p>
	

Fonte: AUTOR (2024).

Água: A relação água/cimento foi rigorosamente controlada em 0,224 kg, visando o equilíbrio entre trabalhabilidade e resistência final (Figura 7).

Mistura dos materiais: A mistura dos materiais foi realizada conforme a proporção indicada. Inicialmente, todos os componentes secos foram colocados em um recipiente plástico

e misturados com o auxílio de uma batedeira por aproximadamente 2 minutos, até que fosse atingida uma homogeneidade satisfatória, conforme ilustrado na Figura 8.

<p>Figura 7. Dosagem da Água</p>	<p>Figura 8. Mistura dos Componentes Secos</p>
	

Fonte: AUTOR (2024).

Após essa etapa inicial, a água e o superplastificante foram gradualmente adicionados à mistura em pequenas quantidades, de forma contínua e controlada, garantindo uma distribuição uniforme dos materiais. Durante esse processo, a mistura foi mantida em alta velocidade por aproximadamente 3 minutos, o que favorece a dispersão das partículas finas, como a sílica ativa e o pó de quartzo, essenciais para a obtenção da densidade e homogeneidade características do UHPC. Esse procedimento contribui para a dispersão completa dos grãos de cimento, evitando a formação de aglomerados e potencializando o efeito do superplastificante, como mostrado na Figura 9.

Posteriormente, a velocidade do misturador foi gradualmente menor até que a consistência desejada fosse alcançada. Essa redução permite um melhor controle da consistência da mistura e evita a entrada excessiva de ar, que pode comprometer a compacidade do material. O controle preciso da adição de água e do superplastificante é crucial para o UHPC, pois define as propriedades reológicas da pasta e influencia diretamente a trabalhabilidade, a resistência mecânica e a durabilidade do concreto no estado resistido.

No caso do segundo traço, foi incorporada a fibra de polipropileno, conforme mostrado na Figura 10. Após a adição das fibras, a velocidade do misturador foi aumentada para promover a homogeneidade do concreto. Entretanto, no traço T2, a presença das fibras dificultou a obtenção de uma mistura uniforme. Para solucionar esse problema, foi necessária a adição de 15% de água, permitindo uma mistura homogênea entre os materiais.



Fonte: AUTOR (2024).

O consumo médio de cimento no UHPC é bastante variado, em função da composição granular da mistura. É possível reduzir de forma significativa o consumo de cimento, através do perfeito empacotamento das partículas (CHRIST, et al. 2022, p. 54).

Ensaio Laboratoriais

Os UHPCs desenvolvidos foram submetidos a uma série de ensaios laboratoriais para avaliar suas propriedades mecânicas e durabilidade, incluindo:

- Resistência à compressão, conforme a norma NBR 5739 (ABNT, 2018);
- Módulo de elasticidade, conforme a norma NBR 8522-2 (ABNT, 2022);
- Absorção de água, conforme a norma NBR 9778 (ABNT, 2009).
-

Resultados e Discussão

Ensaio de Absorção de Água

Para determinar a permeabilidade dos corpos de provas foi realizado um ensaio de absorção de água conforme ABNT NBR 9779 (2012). Dos resultados obtidos apresentados na Tabela 2, compara as porcentagens de absorção de água dos dois traços de UHPC, levando em conta os corpos de prova com e sem fibra de polipropileno. A porcentagem de absorção é calculada da seguinte forma:

Tabela 2. Porcentagem de Absorção de Água nos Corpos de Prova de UHPC

Tipo de Traço	Corpo de Prova (CP)	Peso Inicial (g)	Peso Após Absorção (g)	Diferença de Peso (g)	Porcentagem de Absorção (%)
Sem Fibra	1º CP	339	377	38	11,21%
Sem Fibra	2º CP	330	370	40	12,12%
Com Fibra	1º CP	296	328	32	10,81%
Com Fibra	2º CP	298	330	32	10,74%

Fonte: AUTOR (2024).

A comparação entre os traços de UHPC com e sem fibra de polipropileno revela diferenças importantes na absorção de água, que podem impactar diretamente na durabilidade

e resistência do material. De acordo com (DA SILVA; SILVA, 2022), o índice de absorção de água por capilaridade, propriedade que está diretamente relacionada à porosidade, tendo um resultado que quanto maior a adição de fibras menor será a sua absorção.

Nos corpos de prova sem fibra de polipropileno, observou-se uma absorção de água média de aproximadamente 11,67%. O primeiro corpo de prova apresentou uma absorção de 11,21%, enquanto o segundo apresentou uma absorção de 12,12%. Esses valores indicam que, sem a presença de fibras, o material absorve uma quantidade considerável de água, o que pode ser um ponto crítico em termos de durabilidade, uma vez que a absorção de água em concretos de alta resistência pode estar associada a uma maior suscetibilidade a processos de degradação, como ciclos de congelamento e descongelamento, e ataque químico.

Já nos corpos de prova com fibra de polipropileno, a absorção de água foi ligeiramente inferior, com uma média de 10,77%. Tanto o primeiro quanto o segundo corpo de prova apresentaram uma absorção de água similar, com valores de 10,81% e 10,74%, respectivamente. Essa redução na absorção de água sugere que a incorporação de fibras de polipropileno pode reduzir a permeabilidade do UHPC, contribuindo para um melhor desempenho do material em ambientes agressivos, em que a exposição à umidade e agentes químicos é elevada.

O efeito da relação água/cimento na permeabilidade e resistência do concreto é geralmente atribuído à relação que existe entre relação água/cimento e a porosidade da pasta de cimento hidratada no concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2008). A presença das fibras pode estar atuando de forma a melhorar a coesão interna do compósito, minimizando a formação de microfissuras que facilitariam a penetração de água. Além disso, as fibras de polipropileno, sendo hidrofóbicas, podem dificultar a propagação da água no interior da matriz de concreto.

Portanto, os resultados indicam que o uso de fibras de polipropileno no UHPC, além de potencialmente melhorar as propriedades mecânicas, pode também trazer benefícios em termos de durabilidade ao reduzir a absorção de água. Esse comportamento é particularmente relevante para aplicações em regiões com climas desafiadores, como é o caso de Palmas, Tocantins.

Ensaio de Compressão

Os resultados foram obtidos pelo processo de rompimento dos corpos de provas, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018). Nas Tabelas 3 e 4 constam os dados dos ensaios de compressão dos corpos de prova com 9 dias e 45 dias.

Tabela 3. Resistência à compressão dos CP com idade de 45 dias

Tipo de Traço	Corpo de Prova (CP)	Força de Ruptura (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Idade (Dias)
Sem Fibra	1º CP	10.581	52,8	45
Sem Fibra	2º CP	7.838	39,1	45
Sem Fibra	3º CP	12.933	64,6	45
Sem Fibra	4º CP	12.576	62,8	45
Com Fibra	1º CP	5.702	28,5	45
Com Fibra	2º CP	5.767	28,8	45
Com Fibra	3º CP	3.946	19,7	45

Fonte: AUTOR (2024).

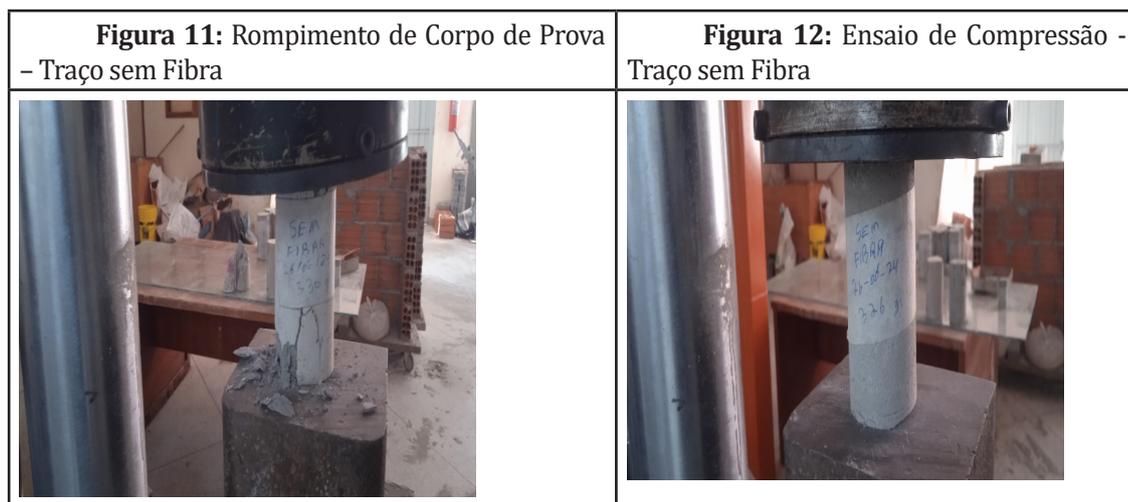
Tabela 4. Resistência à compressão dos CP com idade de 9 dias

Tipo de Traço	Corpo de Prova (CP)	Força de Ruptura (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Idade (Dias)
Sem Fibra	1º CP	8.131	40,6	9

Sem Fibra	2º CP	10.115	50,5	9
Com Fibra	1º CP	15.264	19,1	9
Com Fibra	2º CP	24.913	31,1	9

Fonte: AUTOR (2024).

A resistência à compressão é o parâmetro mais relevante para a avaliação do desempenho do concreto empregado nas estruturas (MALTAURO, 2023).



Fonte: AUTOR (2024).

Análise dos Resultados de Compressão

Os resultados dos ensaios de compressão mostram diferenças significativas nas resistências entre os traços com e sem fibra de polipropileno, tanto aos 9 dias quanto aos 45 dias.

Traço Sem Fibra

Aos 45 dias, os corpos de prova sem fibra (Figuras 11 e 12) apresentam uma resistência média de compressão de aproximadamente 54,8 MPa, com variação entre 39,1 MPa e 64,6 MPa. Esse resultado indica uma boa homogeneidade do UHPC, embora a variação de resistência seja um ponto que merece investigação, especialmente para identificar possíveis falhas de execução ou variações na mistura.

Já aos 9 dias, os corpos de prova sem fibra mostraram resistências de 40,6 MPa e 50,5 MPa, indicando que o UHPC sem fibra já atinge uma resistência significativa em idades iniciais. Esse comportamento é característico de concretos de ultra alto desempenho, que tendem a desenvolver resistências mais elevadas rapidamente.

Traço Com Fibra

Para o traço com fibra (Figura 13), aos 45 dias, as resistências foram significativamente mais baixas, variando entre 19,7 MPa e 28,8 MPa. Isso sugere que, embora as fibras possam contribuir para a ductilidade e controle de fissuração, elas podem influenciar negativamente na resistência à compressão quando usadas em elevadas dosagens.

Nos ensaios aos 9 dias, os resultados são contraditórios: enquanto o primeiro corpo de

prova apresentou uma resistência de 19,1 MPa, o segundo corpo de prova alcançou 31,1 MPa. Essa variação pode indicar falta de homogeneidade no material, ou até mesmo interferências durante a moldagem dos corpos de prova.

Figura 13. Ensaio de Compressão - Traço com Fibra



Fonte: AUTOR (2024).

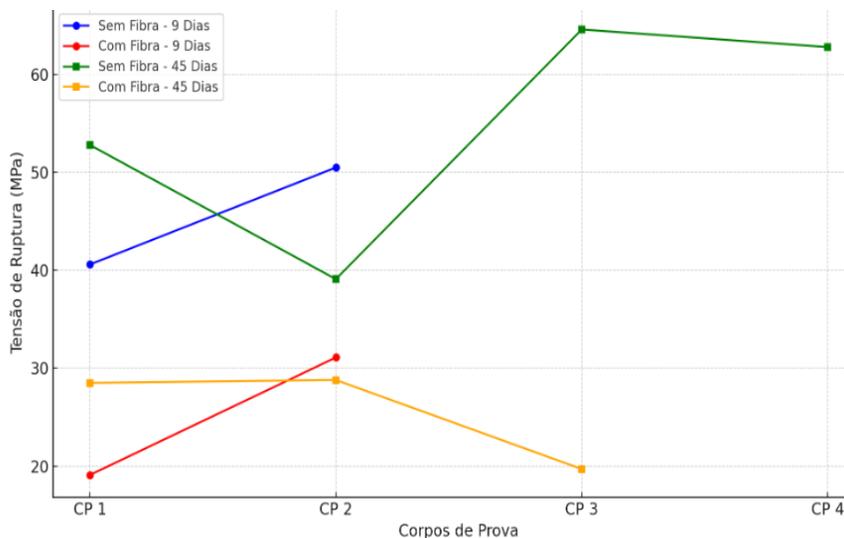
Análise Visual

A Figura 14 mostra a comparando dos resultados de compressão para os diferentes corpos de prova (CP), tanto para os traços com fibra quanto sem fibra, nas idades de 9 e 45 dias.

Os ensaios indicam que o UHPC sem fibra apresenta uma resistência à compressão mais estável e superior, especialmente em idades avançadas. Por outro lado, o traço com fibra, embora potencialmente mais resiliente em termos de controle de fissuras, mostra uma variação maior nos resultados e resistências inferiores.

Essas análises sugerem que a utilização de fibras no UHPC deve ser cuidadosamente dosada e avaliada, considerando o equilíbrio entre resistência à compressão e outras propriedades desejadas, como ductilidade e durabilidade.

Figura 14. Comparação dos Resultados de Compressão para Diferentes Idades e Traços de UHPC



Fonte: AUTOR (2024).

O gráfico compara os resultados de compressão para os diferentes corpos de prova (CP), tanto para os traços com fibra quanto sem fibra, nas idades de 9 e 45 dias, além de destacar a evolução das resistências ao longo do tempo.

- Sem Fibra - 9 Dias: Os corpos de prova (CP) mostraram tensões de ruptura entre 40,6 MPa e 50,5 MPa.
- Com Fibra - 9 Dias: Os CPs apresentaram variações significativas, com resistências entre 19,1 MPa e 31,1 MPa.
- Sem Fibra - 45 Dias: Houve uma maior estabilidade nas tensões de ruptura, com valores variando de 39,1 MPa a 64,6 MPa.
- Com Fibra - 45 Dias: As resistências foram menores, com valores de 19,7 MPa a 28,8 MPa.

Análise dos Resultados

A pesquisa buscou avaliar a viabilidade da obtenção de Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC) utilizando materiais regionais em Palmas, Tocantins. Foram analisados dois traços principais: um sem fibra de polipropileno e outro com fibra. Os resultados demonstraram diferenças significativas no desempenho em termos de absorção de água e resistência à compressão.

Os ensaios de absorção de água mostraram que o traço com fibras apresentou uma absorção média de 10,77%, enquanto o traço sem fibras apresentou uma absorção média de 11,67%. Esses resultados indicam que a adição de fibras auxilia na redução da permeabilidade do UHPC, o que contribui para a durabilidade do material em ambientes expostos a agentes agressivos.

Nos ensaios de compressão, aos 45 dias, o traço sem fibras obteve resistência média superior, variando entre 39,1 Mpa e 64,6 Mpa, enquanto o traço com fibras apresentou resistências variando entre 19,7 Mpa e 28,8 Mpa. Aos 9 dias, o traço sem fibras obteve resistências de 40,6 Mpa a 50,5 Mpa, e o traço com fibras apresentou variabilidade significativa, com tensões entre 19,1 Mpa e 31,1 Mpa.

Esses resultados indicam que, embora a fibra de polipropileno contribua para a durabilidade do UHPC, ela pode impactar negativamente a resistência à compressão. A distribuição heterogênea das fibras pode ter ocasionado pontos de fragilidade na matriz cimentícia, comprometendo a resistência mecânica. Isso aponta para a necessidade de uma dosagem otimizada para maximizar os benefícios das fibras.

Considerações Finais

Com base nos dados de resistência e na análise das características dos materiais regionais, pode-se concluir que a fabricação de UHPC com materiais de Palmas é viável, especialmente para traços sem fibra que demonstraram resistência mecânica adequada. No entanto, a variabilidade nos resultados e a resistência inferior dos traços com fibra indicam que uma abordagem cuidadosa e controlada é necessária para garantir a qualidade e a homogeneidade do produto.

A pesquisa demonstrou que o uso de materiais regionais na produção de UHPC apresenta desafios quanto ao ajuste da dosagem de fibras para alcançar um equilíbrio entre durabilidade e resistência mecânica. Os resultados indicam a possibilidade de desenvolvimento de concretos de alto desempenho com menor custo e impacto ambiental, desde que se realize uma calibração fina dos materiais utilizados.

Os resultados obtidos geraram *insights* relevantes para a formulação de novos produtos e tecnologias no campo dos materiais cimentícios de alto desempenho. O conhecimento adquirido contribuiu para o aprofundamento das discussões, promovendo o desenvolvimento de competências técnicas em engenharia.

Para desdobramentos futuros, sugere-se a realização de estudos complementares para investigar o comportamento do UHPC em longo prazo, incluindo sua resistência à fissuração e durabilidade em condições agressivas. Além disso, a adaptação dos métodos de dosagem para diferentes tipos e quantidades de fibras pode proporcionar avanços significativos na tecnologia do UHPC, ampliando sua aplicabilidade em diversas áreas da construção civil.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522-2: Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação. Parte 2: Módulo de elasticidade dinâmico pelo método das frequências naturais de vibração.** Rio de Janeiro, 2022.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2012.

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

ARORA, A. et al. Microstructural packing- and rheology-based binder selection and characterization for Ultra-high Performance Concrete (UHPC). **Cement and Concrete Research**, v. 103, n. October 2017, p. 179–190, 2018.

CHRIST, Roberto e TUTIKIAN, Bernardo Fonseca e HELENE, Paulo R. L. Método de Dosagem UNISINOS para UHPC. **Concreto & Construções**, v. 49, n. ja/mar. 2022, p. 30-41, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.4322/1809-7197.2022.105.0001>>. Acesso em: 30 out. 2024.

DA SILVA, Rozália Maria Barreto; SILVA, Fabrício Machado. Adição de Cinzas em Concreto. **Multidebates**, v. 6, n. 2, p. 57-65, 2022.

LOPES, H.M.T.; Peçanha, A.C.C.; Castro, A.L. Considerações sobre a eficiência de misturas de concreto de cimento Portland com base no conceito de empacotamento de partículas. **Revista Matéria**, v.25, n.1, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/nDMHgssYDsY6zL5fs6gp9gS/>>. Acesso em: 30 out. 2024.

MALTAURO, M., & ANGELA, Z. P. (2023). Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa dos coeficientes de correção. **Conhecimento Em Construção**, 10, 7–26. <https://doi.org/10.18593/cc.v10.32649>.

MEHTA, K.P.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: Editora Ibracon, 2008. Disponível em: <<https://pdfcoffee.com/concreto-microestrutura-propriedades-e-materias-mehta-e-paulo-monteiro-2-ed-2008-editora-ibraconpdf-pdf-free.html>>. Acesso em: 30 out. 2024.

Recebido em 6 de dezembro de 2024.
Aceito em 16 de dezembro de 2024.