

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GIAN DE FRAGA MOREIRA

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE DIFERENTES FIBRAS E TEORES EM
DISTINTAS MATRIZES DE UHPC, AVALIANDO O ESTADO REOLÓGICO E
MECÂNICO**

São Leopoldo

2022

GIAN DE FRAGA MOREIRA

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE DIFERENTES FIBRAS E TEORES EM
DISTINTAS MATRIZES DE UHPC, AVALIANDO O ESTADO REOLÓGICO E
MECÂNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr Roberto Christ

São Leopoldo

2022

À minha família,
por todo apoio, amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, aos meus familiares, que nas diversidades da vida ao longo desta trajetória acadêmica, estiveram comigo me fornecendo apoio e motivação para continuar sem hesitar.

Em especial, a minha mãe **Vera**, por ter priorizado ao longo da vida, condições para que eu e meus irmãos pudéssemos ter boa educação e caráter.

E aos meus irmãos **Renan e Rodrigo**, que são a maior motivação na minha vida, minha fonte de inspiração.

Ao **Sérgio, Thais, Renata, Recieri**, que sempre estiveram presentes, me auxiliando de todas as maneiras que puderam, com conselhos valiosos.

A minha namorada **Christiane**, por sua compreensão pela minha trajetória acadêmica, pelos conselhos, incentivos, companheirismo e amor.

Ao Professor **Dr. Roberto Christ**, pelo apoio, orientação e conhecimento transmitido não somente para que eu pudesse dar andamento a esta pesquisa, mas também em outras oportunidades onde sempre muito entusiasmado, me apresentou os caminhos para que eu pudesse crescer na pesquisa acadêmica referente aos concretos, muito obrigado.

Ao Instituto **itt Performance – Unisinos**, que me ensinou, projetou e inspirou para que hoje eu pudesse realizar este trabalho. Em especial, aos Professores **Dr. Bernardo Tutikian, Dra. Fernanda Pacheco, Dr. Vinicius Ortolan, Dr. Hinoel Ehrenbring**, também **Dr. Roberto Christ**, que contribuíram de alguma forma para que eu pudesse sempre aprender, me fornecendo oportunidades para participar de estudos e pesquisas nas quais lideraram, minha gratidão por tudo.

Aos Professores **Dr. Uziel Quinino e Dr. Fabrício Bolina**, do curso de Engenharia Civil da Unisinos, que me influenciaram, me ensinaram e me prepararam para as dificuldades que irei encontrar ao longo da vida profissional, vocês foram especiais em minha trajetória, meu agradecimento e gratidão.

Aos amigos que me forneceram ajuda para concluir a etapa experimental deste trabalho, que com certeza sou muito grato devido ao grande esforço e determinação para que os ensaios fossem concluídos da melhor maneira possível, são eles: **Patryck Bellorini, Michael Santos, Pedro Bellorini, André Stein, Leonardo Himmer, Igor Wiskow e Rafael Aires**, muito obrigado pelo suporte, foi determinante para mim.

Aos amigos que ao longo do curso contribuíram de alguma forma, com companheirismo, dividindo a rotina e dificuldades encontradas nas disciplinas, são eles: **Talles Lorensi, Gustavo Manica, Thomas Arnold, José Augusto Malvessi, Lorenzo Kerber, Matheus Donadello, Bruno Mendez, Nataly Ayumi, Arthur Fabbris**, entre outros, meu muito obrigado.

As empresas e seus representante, que forneceram os materiais para que eu pudesse realizar os estudos desta pesquisa, são eles: **Felipe Lima** da **Construrohr** pelo fornecimento do agregado, **Jadna Andrade** da **Votorantim** pelo fornecimento do cimento e **Marcelo Krumenauer** da **Concresul** pelo fornecimento da cinza volante.

Por fim, agradeço a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para este estudo, deixo aqui meus mais sinceros agradecimentos e gratidão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre partículas de CAD (esquerda) e UHPC (direita)	17
Figura 2 - Classificação das fibras de acordo com BISFA	20
Figura 3 - Tipos de fibras de aço e suas geometrias.....	21
Figura 4 - Ensaio de flexão em compósitos reforçados com fibras com volumes de fibras abaixo (A), acima (B) e igual (C) ao volume crítico de fibras	24
Figura 5 - Compatibilidade dimensional entre os agregados e as fibras	25
Figura 6 – Comportamento do UHPC no ensaio de compressão axial	27
Figura 7 – Comportamento do UHPC frente a flexão.....	28
Figura 8 – Área sob a curva de tensão x deformação, obtendo-se a tenacidade	29
Figura 9 - Classificação dos fluídos a partir do seu comportamento reológico	30
Figura 10 - Curva de escoamento de um fluído Binghamiano	31
Figura 11 - Influência das fibras na trabalhabilidade do UHPC	32
Figura 12 – Organização das etapas da pesquisa	34
Figura 13 – Materiais constituintes do UHPC neste estudo	35
Figura 14 - Distribuição granulométrica do cimento	36
Figura 15 - Curva granulométrica da sílica ativa	37
Figura 16 - Resultado da distribuição granulométrica da cinza volante	38
Figura 17 – Fibra metálica da DRAMIX OL 13/.02	40
Figura 18 – Fibra metálica da ASTRA 0,40x12,5	40
Figura 19 – Fibra metálica MACCAFERRI FS8.....	41
Figura 20 – Fibra de Vidro KURARAY AS RECS-15.....	42
Figura 21 - Fibra de PVA OWENS CORNING CEM-FIL 62	42
Figura 22 – Traços elaborados de UHPC	44
Figura 23 – Nomenclatura adotada para cada mistura	48
Figura 24 – Variáveis analisadas: definição das misturas entre traços e fibras	48
Figura 25 – Variáveis analisadas: definição dos teores de fibras.....	49
Figura 26 – Mesa de índice de consistência	50
Figura 27 - Ilustração do ensaio de compressão axial em corpos de prova 50x100mm, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018)	51
Figura 28 - Resultados e classificação de espalhamento médio dos traços de referência (sem fibras)	53
Figura 29 – Resultados do ensaio de IC em relação ao tipo de IDE	56

Figura 30 - Resultados e classificação de todos os traços com a fibra A61.....	61
Figura 31 - Resultados e classificação de todos os traços com a fibra A31.....	63
Figura 32 - Resultados e classificação de todos os traços com a fibra A33.....	66
Figura 33 - Resultados e classificação de todos os traços com a fibra V857.....	68
Figura 34 - Resultados e classificação de todos os traços com a fibra P120.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala entre os compósitos UHPC e CAD	17
Tabela 2 - Definições de UHPC de acordo com a referência	19
Tabela 3 - Propriedades das fibras de aço	22
Tabela 4 - Propriedades físicas e químicas do cimento utilizado	36
Tabela 5 – Propriedades e distribuição granulométrica do agregado	39
Tabela 6 – Propriedades da fibra metálica da DRAMIX OL 13/02	39
Tabela 7 – Propriedades da fibra metálica da ASTRA 0,40x12,5	40
Tabela 8 – Propriedades da fibra metálica MACCAFERRI FS8.....	41
Tabela 9 – Propriedades da fibra de vidro KURARAY AS RECS-15	41
Tabela 10 – Propriedades da fibra de PVA OWENS CORNING CEM-FIL 62	42
Tabela 11 – Traços elaborados de UHPC.....	43
Tabela 12 – Teor de fibras calculados	46
Tabela 13 - Resultados e classificação de espalhamento médio dos traços de referência (sem fibras)	53
Tabela 14 – Consumo de materiais para cada IDE.....	54
Tabela 15 – Resultados de espalhamento e classificação dos IDEs com a fibra A61	57
Tabela 16 - Resultados de espalhamento e classificação dos IDEs com a fibra A31	57
Tabela 17 - Resultados de espalhamento e classificação dos IDEs com a fibra A33	58
Tabela 18 - Resultados de espalhamento e classificação dos IDEs com a fibra V857	58
Tabela 19 - Resultados de espalhamento e classificação dos IDEs com a fibra P120	58
Tabela 20 - Resultados e classificação dos traços com a fibra A61.....	60
Tabela 21 - Resultados e classificação dos traços com a fibra A31.....	63
Tabela 22 - Resultados e classificação dos traços com a fibra A33.....	65
Tabela 23 - Resultados e classificação dos traços com a fibra V857.....	68
Tabela 24 - Resultados e classificação dos traços com a fibra P120.....	70
Tabela 25 – Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 149	74

Tabela 26 - Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 152	75
Tabela 27 - Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 158	76
Tabela 28 - Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 163	77
Tabela 29 - Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 174	78
Tabela 30 - Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 177	79
Tabela 31 – Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 149.....	90
Tabela 32 - Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 152.....	91
Tabela 33 - Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 158.....	92
Tabela 34 - Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 163.....	93
Tabela 35 - Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 174.....	94
Tabela 36 - Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 177.....	95
Tabela 37 – Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 149.....	96
Tabela 38 - Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 152	97
Tabela 39 - Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 158	98
Tabela 40 - Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 163	99
Tabela 41 - Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 174	100
Tabela 42 - Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 177	101
Tabela 43 – Resultados do ensaio de compressão do IDE 149.....	102
Tabela 44 - Resultados do ensaio de compressão do IDE 152.....	102
Tabela 45 - Resultados do ensaio de compressão do IDE 158.....	103
Tabela 46 - Resultados do ensaio de compressão do IDE 163.....	103
Tabela 47 - Resultados do ensaio de compressão do IDE 174.....	104
Tabela 48 - Resultados do ensaio de compressão do IDE 177.....	104
Tabela 49 - Resultados e classificação do traço IDE 149 com todas as fibras	105
Tabela 50 - Resultados e classificação do traço IDE 152 com todas as fibras	105
Tabela 51 - Resultados e classificação do traço IDE 158 com todas as fibras	106
Tabela 52 - Resultados e classificação do traço IDE 163 com todas as fibras	106
Tabela 53 - Resultados e classificação do traço IDE 174 com todas as fibras	107
Tabela 54 - Resultados e classificação do traço IDE 177 com todas as fibras	107

LISTA DE SIGLAS

A/AGL	Relação água/aglomerantes no concreto
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute (Instituto Americano do Concreto)
ASTM	American society for testing and materials (Sociedade americana de testes e materiais)
CP	Corpo de Prova
IC	Ensaio de Índice de Consistência
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
REF.	Referência
Rpm	Rotação por minuto
UHPC	Ultra-High-Performance-Concrete (Concreto de ultra alto desempenho)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 TEMA	14
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo geral	15
1.3.2 Objetivos específicos	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE.....	17
2.2 AS FIBRAS QUE CONSTITUEM O UHPC	19
2.2.1 Fibras Metálicas	21
2.2.2 Fibras de Vidro	22
2.2.3 Fibras de PVA	23
2.3 TEORES DE FIBRAS.....	23
2.4 GEOMETRIA DAS FIBRAS.....	25
2.5 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO	26
2.5.1 Resistência à compressão do UHPC	26
2.5.2 Resistência à tração na flexão do UHPC	27
2.5.3 Tenacidade do UHPC	28
2.6 REOLOGIA.....	29
2.6.1 Trabalhabilidade	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 ETAPAS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL	34
3.2 ETAPA 1 – MATERIAIS CONSTITUINTES.....	35
3.2.1 Cimento	35
3.2.2 Sílica Ativa	37
3.2.3 Cinza Volante	37
3.2.4 Agregados	38
3.2.5 Fibras	39
3.3 ETAPA 2 – DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS E TEORES DE FIBRAS	43
3.3.1 Mistura de UHPC pelo método Unisinos	43
3.3.2 Teor de fibras pelo método de Martinie, Rossi, Roussel	44

3.4 ETAPA 3 - CONFECÇÃO DAS MISTURAS, ENSAIO NO ESTADO FRESCO E MOLDAGEM	46
3.4.1 Configuração das variáveis analisadas.....	47
3.4.2 Ensaio no Estado Fresco – Espalhamento	49
3.4.3 Moldagens.....	50
3.5 ETAPA 4 - ENSAIO NO ESTADO ENDURECIDO	51
3.5.1 Resistência à compressão axial	51
4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	52
4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS NO ESTADO FRESCO	52
4.1.1 Análise do ensaio de índice de consistência em relação ao tipo de IDE ..	52
4.1.2 Análise do ensaio de índice de consistência em relação ao tipo de fibra incorporado	56
4.1.3 Análise do ensaio de índice de consistência em relação a incorporação de diferentes teores de fibras nas misturas	60
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO	73
4.2.1 Estado do corpo de prova pós moldagens	73
4.2.2 Ensaio de compressão axial	74
5 CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS.....	83
APÊNDICE A	90
APÊNDICE B	96
APÊNDICE C	102
APÊNDICE D	105

1 INTRODUÇÃO

O concreto é na atualidade o componente mais significativo entre os materiais de construção civil, mesmo sendo descoberto no final do século XIX, teve-se grande produção e utilização desde material no século subsequente e até os dias atuais, isso devendo-se as suas propriedades entre outras de durabilidade melhorando assim a qualidade de vida da humanidade e tornando-o elemento mais utilizado depois da água (HELENE & ANDRADE, 2017).

Para Mehta & Monteiro (2014), existem três razões para o qual o concreto é tão difundido no mundo, primeiro pela sua resistência à água, onde entre outros materiais mais utilizados como aço e madeira, o concreto acaba sendo o material que menos se deteriora ao longo do tempo em função de sua exposição. Segundo pela facilidade de obter-se elementos em formas geométricas distintas devido a consistência plástica do concreto em seu estado fresco. E terceiro, pelo baixo custo e facilidade de aquisição dos materiais componentes do concreto.

Historicamente, os materiais que compõem o concreto moderno já eram utilizados em misturas para obtenção de argamassas primitivas, ocorrendo ainda a mais de 4000 anos atrás no antigo Egito e ao longo dos anos estas misturas foram evoluindo. Entretanto, somente em meados dos anos de 1820 que foram buscados avanços significativos com a criação do concreto de Cimento Portland, patenteado pelo inglês Joseph Aspdin, substituindo assim os considerados antigos tipos de concretos (BRUNAUER & COPELAND, 1964).

Hoje, a NBR 12655 (ABNT, 2015b) define como concreto um elemento que pode conter na mistura aglomerantes hidráulicos, como Cimento Portland e materiais pozolânicos em geral, agregados miúdos, fílers, agregados graúdos, água, aditivos químicos, entre outros componentes minoritários. Desta forma, misturando homogeneamente os materiais citados, tem-se o concreto em seu primeiro estado físico, fresco, posteriormente com as reações químicas concluídas, obtém-se o concreto em seu segundo estado físico, estando endurecido.

O concreto fresco nada mais é que a forma plástica ou fluída da pasta de cimento que neste configuração é facilitada o rearranjo das partículas, que propriamente dito é causado por uma força dinâmica qualquer (SOBRAL, 2000). O termo reologia refere-se ao comportamento do concreto em seu estado fresco, e possui características determinantes na aplicação, estabilização, durabilidade e

resistência à compressão do concreto, sendo trabalhabilidade, consistência, capacidade de escoamento algumas das propriedades (CASTRO ET AL., 2011).

No estado endurecido do concreto, estão as propriedades mais relevantes do elemento, destacando-se a resistência à compressão, resistência à tração e durabilidade possuem maior atenção (NEVILE, 2013). A resistência do concreto quando submetido a compressão tornou-se uma referência no estudo do concreto devido a influência que esta propriedade possui nas outras propriedades, como módulo de elasticidade, impermeabilidade, estanqueidade por exemplo, podem ser deduzidas a partir da resistência à compressão (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

Por outro lado, o concreto possui limitações consideráveis em relação a resistência a tração, podendo ter um comportamento frágil e baixa capacidade de deformação na pré-ruptura (QUININO, 2015). Desta forma, Mehta & Monteiro (2014) e Figueiredo (2011a) afirmam que para a tração, a resistência acaba sendo muito baixa em relação à compressão, tendo uma queda de desempenho chegando em torno de 7% a 11%.

A partir disto, para amenizar está limitação, é necessário a inclusão da armadura de aço no concreto, sendo posicionado convenientemente na região de tração (BASTOS, 2006). Entretanto, Quinino (2015) afirma que mesmo com a inclusão das barras de aço, as mesmas não são capazes de conter a fissuração ocorrente no elemento de concreto, acabando por comprometer a durabilidade da peça.

Neste contexto, com o intuito de combater as fissuras e microfissuras presentes no concreto, uma alternativa técnica capaz de atenuar estas, é o acréscimo de fibras na matriz, contribuindo com diversas propriedades, reforçando o elemento (FIGUEIREDO, 2011).

Contudo, Velasco (2008) afirma em seu estudo que no estado plástico do concreto contendo fibras, sua trabalhabilidade acaba sendo reduzida onde proporcionalmente quanto mais o volume de fibra na matriz, mais enrijecida ficará a mesma. Também afirma que em matrizes de concreto reforçados com fibras é importante a dispersão uniforme das fibras pois deve-se evitar a segregação e a formação de novelos, onde estes ocasionam a redução das propriedades mecânicas do concreto.

Desta forma, Figueiredo (2011b) argumenta que quando as fibras são utilizadas de forma apropriada, em teores, em formatos, e material, tende-se a confeccionar um

concreto reforçado com fibras com propriedades que agregam resistência e durabilidade ao elemento.

Porém, ainda faltam estudos que relacionam a densidade dos materiais utilizados no concreto, teores de fibras diversas existentes, e com o índice de vazios que acabam existindo na matriz, mesmo com concretos mais atuais e duráveis como o UHPC. O desenvolvimento de estudos no estado reológico é fundamental devido a importância que o mesmo possui na resistência mecânica e durabilidade do material frente a situações de agentes físicos e químicos que será exposto ao longo de sua vida útil.

1.1 TEMA

Influência de diferentes traços com teores de materiais diferentes, bem como a influência da incorporação de diferentes fibras na matriz do concreto de ultra alto desempenho (UHPC), com teores de fibras distintas, e análise e classificação da trabalhabilidade das misturas, bem como análise da resistência à compressão.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente estudo foi realizado nos laboratórios acadêmicos de Engenharia Civil da Universidade. Para as análises das matrizes de concreto serão utilizados materiais de uso comum na região sul do Brasil, como cimento Portland CP-V-ARI, agregados miúdos finos e com granulometrias diferentes, pozolanas como sílica ativa, aditivos superplastificantes, e por fim diferentes tipos de fibras, como metálicas de diferentes fatores de forma, densidade, geometrias etc.

Para as moldagens e análises tanto no estado reológico quanto no estado endurecido, foram utilizados misturador de eixo vertical com controle de velocidade, cone para verificação de coesão, câmara de temperatura controlada e armazenamento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar experimentalmente a reologia do concreto de ultra alto desempenho (UHPC) analisando a trabalhabilidade através da incorporação do teor de agregado e reforçando com diferentes propriedades e teores de incorporação de fibras, também, apresentar a influência no comportamento mecânico.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Analisar experimentalmente a trabalhabilidade do UHPC com diferentes misturas;
- b) Analisar experimentalmente a trabalhabilidade do UHPC com o acréscimo de diferentes fibras em sua matriz e avaliar a consistência da matriz com diferentes teores de fibras;
- c) Avaliar no estado endurecido o aspecto visual das moldagens de cada mistura com suas variáveis, bem como o comportamento mecânico de resistência à compressão axial de cada uma;

1.4 JUSTIFICATIVA

Até o momento, grande parte dos estudos que englobam o concreto de UHPC analisam e comparam as propriedades mecânicas e reologia que ele apresenta, como resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade, tenacidade, viscosidade, trabalhabilidade. Entretanto, existem poucos estudos que avaliam a influência de diferentes fibras, com diferentes teores de incorporações em diferentes traços de UHPC.

Estudos de Martinie et al.(2010), apresentam informações referentes a teores de fibras ideias para UHPC, mas acabam não englobando informações relativas ao tipo de fibras e diferentes traços, e o quanto que resulta na influência do estado reológico do UHPC.

Referente ao estudo do UHPC, existem diversas pesquisas relacionadas as propriedades mecânicas Koumoulentzos et al. (2020), Christ (2019), Ryu et al.(2011),

Shafieifar et al.(2017), Su et al.(2016) e pesquisas no reológico existem estudos de CHOI et al.(2016), Khayat et al.(2019), Meng & Khayat (2018), Arora et al.(2018), Sadrmomtazi et al.(2018), Wu et al.(2019), que fazem referências diretas a incorporação de fibras e citam os teores ideias referente a cada estudo.

Isto Posto, existe a necessidade de aprofundar-se nos estudos que foquem em determinar um teor de fibras ideal levando em consideração a densidade da matriz x a densidade das fibras que serão empregadas, para assim identificar a influência que diferentes fibras metálicas, bem como diferentes densidades que a matriz tenha, estejam agregando ou não no estado reológico e resistência mecânica do UHPC.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE

O concreto de ultra alto desempenho (CUAD) ou Ultra-high-Performance-Concrete (UHPC, termo utilizado em inglês), é um composto desenvolvido a partir dos anos 80, com o intuito de suprir a necessidade de determinadas situação específicas de carregamentos, exigindo de maiores resistências mecânicas, deformações e durabilidade, que concretos já existentes não possuem (Christ, 2019).

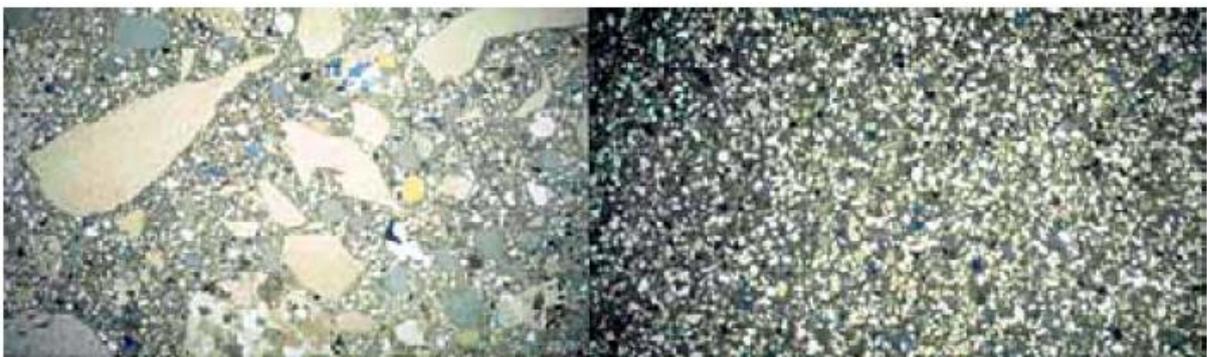
O UHPC é basicamente constituído de partículas finas, tanto de aglomerantes quando de agregados sem possuir agregados graúdos, com tamanho médio de partículas de 0,2 mm (TUTIKIAN ET AL., 2011). Aïtcin (1998) apresenta em proporção comparando com o CAD (Concreto de Alto Desempenho) os tamanhos das partículas constituintes entre ambos os concretos, onde a proporção fica entre 1:100, como apresentado na Tabela 1 e Figura 1.

Tabela 1 - Escala entre os compósitos UHPC e CAD

COMPÓSITO	AGREGADOS D _{máx} (mm)	FIBRAS/ARMADURAS Φ (mm)	FIBRAS/ARMADURAS L (mm)
UHPC	0,2	0,2	12
CAD	20	20	1200

Fonte: Adaptado AÏTCIN (1998)

Figura 1 - Relação entre partículas de CAD (esquerda) e UHPC (direita)



Fonte: Resplendino (2006) apud Tutikian et al.(2011)

Com a utilização de partículas muito pequenas, tende-se a proporcionar ao elemento maior compactidade, tornando-o mais empacotado, portanto, aumentando seu desempenho em durabilidade, restringindo a entrada de agentes agressivos em

seu interior por conta da quase inexistência de porosidade na matriz (FEHLING, EKKEHARD; BUNJE, KAI; LEUTBECHER, 2004), (LERCH ET AL., 2018).

Outro fator que prevalece é o aumento da resistência mecânica destes elementos, através dos quais oportunizou a projeção de elementos mais esbeltos, diminuindo o peso próprio das peças fabricadas ou moldadas in loco, agregando a possibilidade de ideias arquitetônicas mais audaciosas (ALMEIDA, 2015). O autor também diz que o aumento desta propriedade proporcionou um impacto direto na utilização deste material, devido a diminuição de material utilizado para mistura, contribuindo para confecção de elementos de fachada, elementos estruturais para pontes, vigas, lajes, ou peças quaisquer de arte.

Entretanto, a utilização de fibras no UHPC, tendem a aumentar ainda mais, principalmente a resistência à flexão dos elementos, contribuindo com a deformação, diminuição de fissuras ou segurar as fissuras surgidas na matriz (GARCEZ, 2005), (CARDOSO, 2009).

Para Tutikian et al.(2011) o acréscimo de fibras na matriz de UHPC torna-o mais resistente e com maior ductibilidade, isto ocorre devido ao uso de fibras com relação diâmetro/comprimento desejada.

A partir dos estudos e divulgação do UHPC na comunidade acadêmica, foram sendo criadas definições quanto a matriz, resistência, uso, através de instituições, autores pesquisadores. A Tabela 2 apresenta as principais definições e requisitos mínimos para um elemento ser UHPC.

Tabela 2 - Definições de UHPC de acordo com a referência

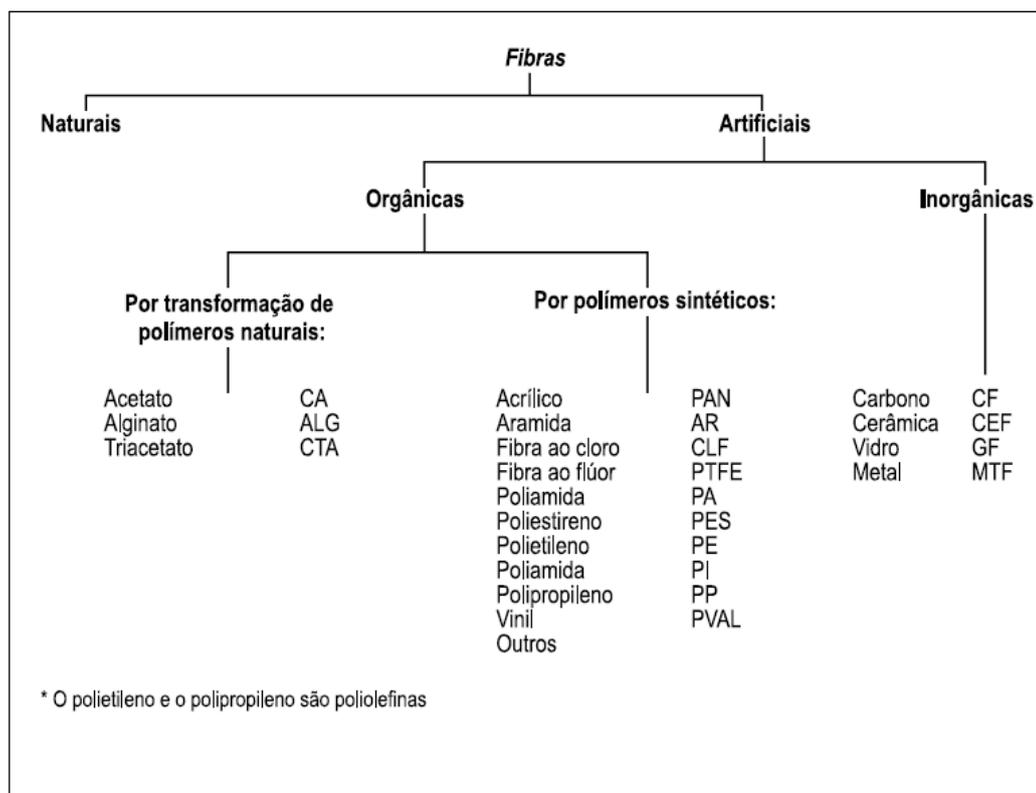
Referência	Possui fibra	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Resistência à flexão (MPa)	Ano
Associação Francesa de Engenharia Civil (AFGC)	Sim	150	8	-	2013
ACI 239	Sim	150 – 250	6 – 12	-	2013
AFNOR NF P 18-470	Sim	150 – 250	6	-	2016
ASTM C1856M - 17	Sim	120	-	-	2017
FEHLING	Sim	150	-	15 - 40	2014
Wang	Sim	200 - 800	25 – 150	30- 140	2015
Greybeal B.A Hartman JL <i>Ultra High-Performance Concrete – material</i>	Sim	150	-	20	2003
<i>properties. TRB Annual meeting, Washington, USA.</i>					
Romel Dias Vanderlei	Sim	180 – 200	7	30-50	2004
Lei Voo & Foster	Sim	120 – 800	7	40	2010
Akhnoukh & Buckhalter	Sim	120	-	-	2021

Fonte: Elaborado pelo autor

2.2 AS FIBRAS QUE CONSTITUEM O UHPC

De acordo com Almeida (2015), o acréscimo de fibras na composição do UHPC melhora as propriedades mecânicas, através da utilização de teor de aproximadamente 2% em relação ao volume. Entretanto, existem diversos tipos de fibras, desde fibras naturais a fibras artificiais, onde são classificadas como orgânicas ou inorgânicas. A Figura 2 apresenta de forma geral como são classificadas as fibras de acordo com a BISFA.

Figura 2 - Classificação das fibras de acordo com BISFA



Fonte: MACCAFERRI (2009)

Essas fibras, além de sua composição, podem apresentar diversas formas, como em fios, mantas, distribuídas de forma contínua ou descontínua, dispersas aleatoriamente ou alinhadas (SILVA, 2003).

As fibras naturais podem ser analisadas conforme a sua origem, onde são oriundas de minerais, vegetais ou animal. Destas, as fibras mais utilizadas são as vegetais por serem compostas por micro fibras de lignina, possuírem fator de forma elevado possibilitando melhor aderência com a matriz, e também possuírem baixo consumo de energia para produção (BERNARDI, 2003)

O autor ainda cita que essas fibras são uma alternativa na construção civil devido a ao material ser um recurso natural de fonte renovável, entretanto a desvantagem deve-se a sua durabilidade, onde a alcalinidade da matriz acaba prejudicando a fibra de origem vegetal, diminuindo a vida útil.

Para este estudo, não será utilizado este tipo de fibra, logo não será aprofundado mais conhecimento neste assunto.

As fibras artificiais são classificadas como orgânicas e inorgânicas, conforme a Figura 2, onde basicamente todas essas foram em algum momento

transformada de seu estado natural para fibras sintéticas, por algum processo específico com material específico. Para fins deste estudo, serão detalhadas somente as fibras que serão utilizadas no programa experimental.

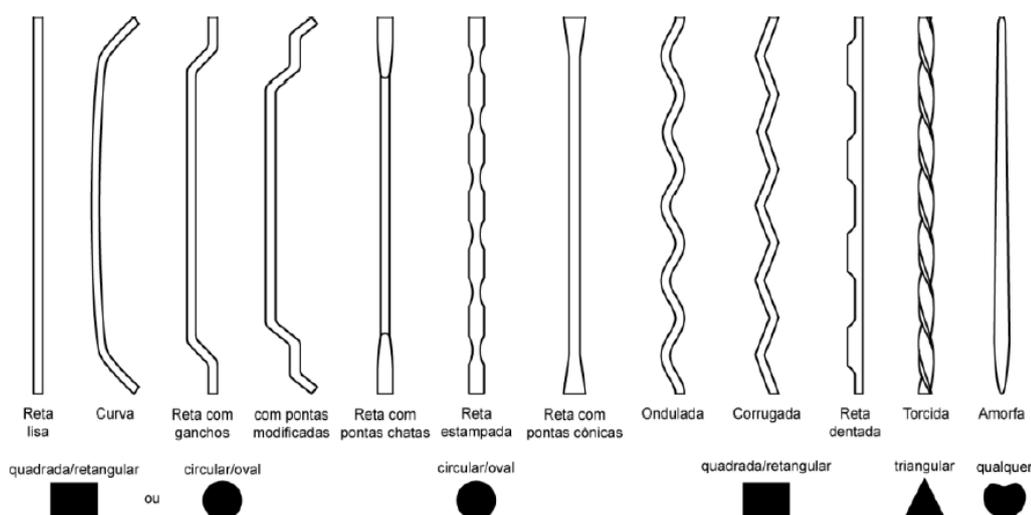
2.2.1 Fibras Metálicas

As fibras metálicas são as fibras mais utilizadas quando se trata de reforço para o concreto Figueiredo (2011), Quinino (2015), Pereira (2017), Góis (2010), apresentam módulo de elasticidade alto em relação a matriz de concreto, permitindo assim ótimo desempenho frente a tenacidade, controle de fissuras, resistência a flexão, compressão, fadiga e resistência ao impacto ACI 544.1R-96 (ACI, 2009). Estas fibras acabam por ser mais utilizadas em construções como em lajes, revestimento de painéis e tuneis, reparos de uma gama de construções como rodovias, tabuleiros, barragens, pisos industriais, entre outros (GÓIS, 2010).

As fibras metálicas apresentam classificações que abordam origem, geometria, resistência mecânica, entre outras propriedades. De acordo com a ASTM.A820(2016) as fibras podem ser classificadas conforme sua origem e tipo, a ACI.544.3R (2008) classifica de acordo com a geometria, a EN 14889-2(2006), exige resistência à tração e densidades mínimas (PEREIRA, 2017).

Para estas classificações, serão apresentadas a seguir a Figura 3 que ilustra as geometrias existentes das fibras, a Tabela 3 apresenta as propriedades.

Figura 3 - Tipos de fibras de aço e suas geometrias



Fonte: Pereira (2017)

Tabela 3 - Propriedades das fibras de aço

PROPRIEDADES DAS FIBRAS METÁLICAS				
REFERÊNCIAS	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	TRAÇÃO (MPa)	ALONGAMENTO (%)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
SERGIO GOMES CARDOSO (2009)	7,85	275	2,5	150
NEVILLE (2013)	7,84	100 a 320	3 a 4	200
QUININO (2015)	7,84	50 – 200	0,5 - 3,5	190-210
BEAUDOIN (1990), SANTOS (2002)	7,8	100 a 300	2	200
BENTUR E MINDESS (1990)	7,84	50 a 200	0,5 - 3,5	200
EM 14889 (2006)	7,85	345	-	-

Fonte: Adaptado a partir das referências citadas

2.2.2 Fibras de Vidro

As fibras de vidro são feitas de um material frágil, entretanto elas apresentam propriedades satisfatórias para uso no concreto, tais como: baixo coeficiente de expansão térmica, resistência à tração e vibração, manutenção das propriedades mecânicas e altas temperaturas, alto alongamento na ruptura, facilidade de processamento, baixo custo em comparação com outras fibras maleáveis. A justificativa para a maior resistência das fibras de vidro em relação ao concreto é o menor número de defeitos microscópicos, tendo o primeiro em relação ao segundo, defeitos que são responsáveis pelo enfraquecimento dos materiais (PERUZZI, 2002).

Estas fibras são atraentes devido ao seu baixo custo frente a alta resistência a tração considerando sua densidade e módulo de elasticidade alto, tornando viável sua utilização como reforço. Um cordão de vidro possui em torno de 40 a 2000 filamentos que são unidos para formar um fio, possuindo diâmetros em torno de 12 a 30 µm (Giese, 2019).

As fibras de vidro podem apresentar algumas características específicas, como alta resistividade elétrica (fibra de vidro E), alta resistência à tração (fibra de vidro S), resistentes quimicamente (fibras de vidro C), resistentes a ambientes com alta alcalinidade (fibras de vidro AR) (GIESE, 2019).

As fibras com características AR surgiram devido a necessidade de utilização deste tipo de reforço em concretos e possuir durabilidade em meio alcalino. Também, podem ser utilizadas de forma picada, melhorando ainda mais suas propriedades, em teores de 3 a 5% em relação a massa total (BRESOVIT, 2021).

2.2.3 Fibras de PVA

Dentre os novos compósitos cimentícios estudados em todo mundo, como o ECC (Engineered Cementitious Composites), as fibras de PVA acabam por ser as mais utilizadas devido ao seu desempenho mecânico como resistência à compressão e à flexão, em relação a outros materiais (ARAIN ET AL., 2019).

As fibras de PVA (álcool polivinílico) são compostas deste material sintético, sendo utilizada em diversas áreas como na indústria têxtil, de emulsões, petrolíferas, etc, possuindo alta resistência à tração, durabilidade em meios alcalinos, aderência ao composto cimentício, bem como diminuindo o peso no concreto devido a seu baixo peso específico (DIAS, 2019).

Essas fibras vem ganhando destaque quando refere-se ao reforço polimérico em concretos devido as suas propriedades mecânicas e físicas agindo contra microfissuras, que as mesmas contribuem para o concreto, apresentando-se como uma ótima alternativa para matrizes cimentícias especiais, dentre elas o UHPC (EHRENBRING, 2017).

2.3 TEORES DE FIBRAS

Em seu estudo, Quinino (2015) discute que o teor de fibra é essencial para uma capacidade de reforço das fibras em relação ao elemento, visto que está relação é proporcional, ou seja, quanto maior o teor de fibras na matriz, maior será a quantidade de fibras atuantes no momento de fissuração que ajudarão, através da ponte de transferência de tensão ocorrida, a conter as fissuras, agindo como reforço de concretos, como o UHPC.

Para Bentur, A.; Mindess (2007), mesmo com a utilização de teores baixos de fibras, ainda assim estas influenciam no controle de abertura no momento de pós-fissuração do UHPC, determinando assim mudanças no comportamento plástico e na tenacidade.

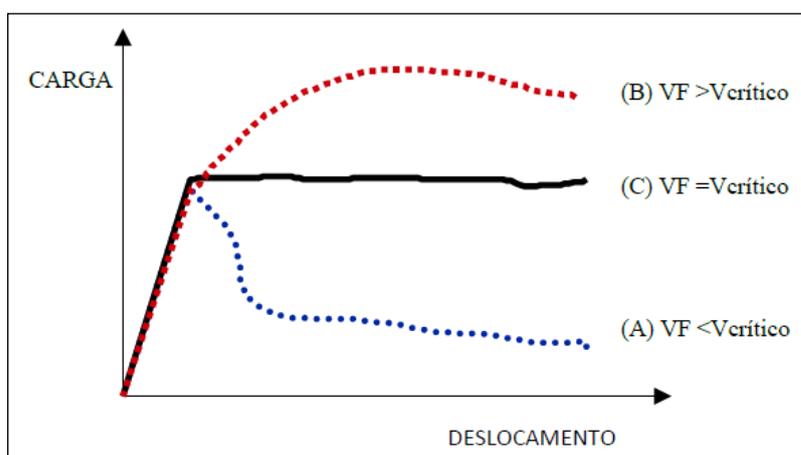
Desta forma, Aveston et al.(1971), apresentam um modelo onde o volume de fibras (V_f), que acaba convertendo o teor de fibras, define o comportamento do compósito no primeiro momento quando estimado. Quinino (2015), afirma que existe uma dificuldade de encontrar autores que abordam uma quantidade de fibras utilizadas através do volume total a ser incorporado. Também, discute que através da

adição de fibras, podem ocorrer casos em que as fibras não beneficiam as propriedades mecânicas do elemento, bem como no estado reológico.

Neste sentido, Figueiredo (2011b), aponta que deve-se definir um volume máximo de fibras, visando a quantidade ideal para que além disso não tenha malefícios nas propriedades do concreto. (NAAMAN, 2008), apresenta uma classificação dos compósitos reforçados com fibras guiada pelo desempenho delas, havendo duas classes de compósitos, sendo strain-softening e strain-hardening. A primeira, relacionada a perda de capacidade resistente a partir da fissuração, a segunda relacionada ao ganho de capacidade resistente a partir da fissuração.

Desta forma, é possível definir que o volume crítico corresponde ao teor de fibras que permite manter a capacidade resistente do concreto após a fissura da matriz, onde abaixo do volume crítico ocorre o strain-softening, e acima do volume crítico ocorre o strain-hardening (FIGUEIREDO, 2011). A Figura 4 ilustra essas classificações através de ensaios de flexão de prismas de concreto reforçado com fibras.

Figura 4 - Ensaio de flexão em compósitos reforçados com fibras com volumes de fibras abaixo (A), acima (B) e igual (C) ao volume crítico de fibras



Fonte: Figueiredo (2011)

A partir disso, é possível afirmar que a incorporação de fibras em concretos tende a desempenhar um papel fundamental nas resistências mecânicas e estado reológico da mistura do UHPC. Autores como Fehling, Ekkehard; Bunje, Kai; Leubecher (2004), afirmam que os aspectos mais relevantes a serem considerados com a incorporação das fibras no UHPC são teor de fibras a serem postos na mistura, geometria da fibra, fator de forma da fibra, acúmulo ou não de fibras compostas por

muitos filamentos como fibras poliméricas, e também a orientação que as fibras possuem na peça confeccionada.

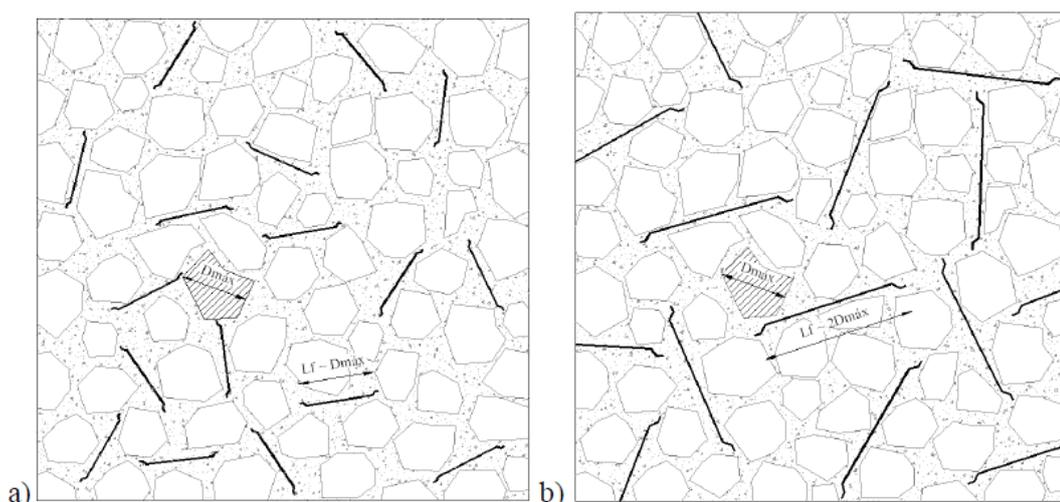
2.4 GEOMETRIA DAS FIBRAS

Para Figueiredo (2011b), a influência do desempenho do concreto no pós-fissuração é devido ao comprimento das fibras utilizadas como reforço. Isto ocorre, pois, quanto maior seu comprimento, maior será seu embutimento no elemento, contribuindo para maior resistência ao arrancamento da fibra como reforço.

Quinino (2015) cita que a geometria da fibra utilizada no compósito tem grande relevância na aderência, no desempenho no pós-fissuração e na ductibilidade, permitindo assim a utilização de variedades e fibras no concreto.

As propriedades geométricas das fibras podem ser variáveis, como a forma da seção transversal, comprimento, diâmetro, superfície, lembrando que se deve possuir compatibilidade dimensional (Figura 5) entre os agregados e as fibras, este devendo ser no mínimo duas vezes maior em comprimento que a dimensão máxima do agregado da mistura, proporcionando reforço no elemento em um todo (SALVADOR, 2013).

Figura 5 - Compatibilidade dimensional entre os agregados e as fibras



Fonte: Quinino (2015)

Conforme Bentur, A.; Mindess (2007), um fator relacionado a eficiência das fibras é o comprimento crítico (l_c), onde este é o comprimento no qual a carga submetida na fibra causa a ruptura da mesma e não seu arrancamento da matriz. Desta forma, o

autor definiu que fibras com comprimentos abaixo do comprimento crítico são arrancadas da matriz por não possuírem resistência de aderência maior que a resistência à tração. Da mesma forma aplica-se o conceito para fibras com comprimento acima do crítico que são comumente rompidas.

A seção transversal das fibras utilizadas possuem determinada relevância no desempenho pós-fissuração, conforme Salvador (2013), considerando um comprimento da fibra determinado, quanto maior o seu diâmetro, tende-se a maior contato da fibra com a matriz, permitindo então a fibra suportar maiores cargas durante o momento de arrancamento.

Entretanto, o teor de fibras interfere diretamente na trabalhabilidade da mistura, conforme Khalil (2013), desta forma sendo importante a análise da quantidade de fibras na matriz sem prejudicar o estado reológico do UHPC.

2.5 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

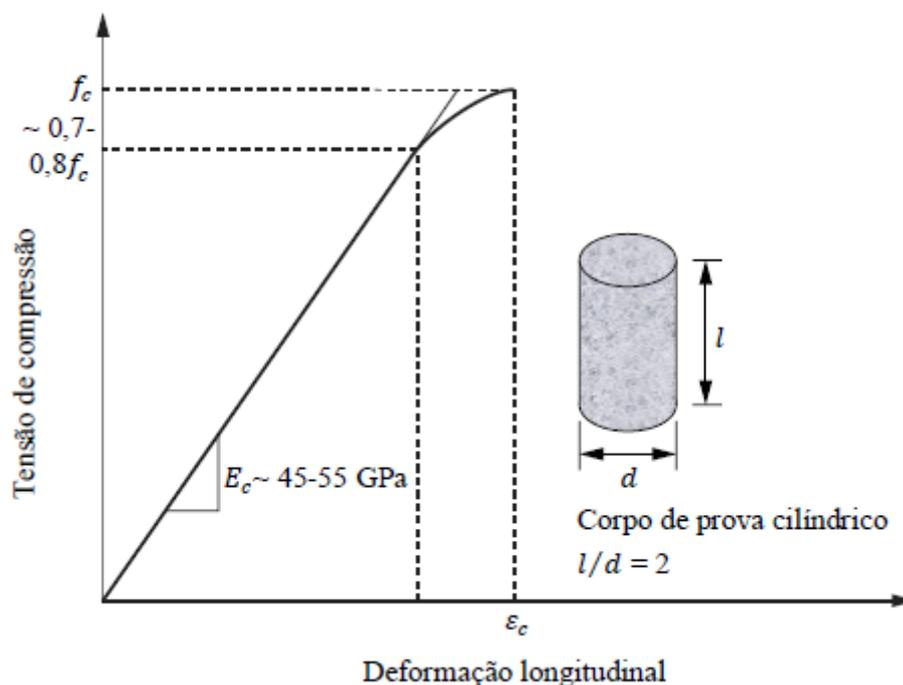
2.5.1 Resistência à compressão do UHPC

A propriedade que define o UHPC é a resistência à compressão máxima que este material resiste. Tem como principais fatores determinantes as influências da quantidade de material aglomerante na mistura, o relação água/ aglomerante (a/agl) e a compatibilidade dos superplastificantes com a mistura (TORREGROSSA, 2013). Oliveira (2019) afirma que partículas inertes muito pequenas, menores que 2 mm, podem gerar aumento de resistência à compressão do UHPC, devido ao melhoramento do empacotamento.

De acordo com Christ (2019) a relação a/agl é fundamental, isto deve-se pela influência que acaba tendo na resistência à compressão, trabalhabilidade e durabilidade, devendo esta relação estar entre 0,16 a 0,20 com aditivos superplastificantes incorporados.

No ensaio de compressão axial, o corpo de prova (CP) do UHPC possui um comportamento elástico linear variando entre 70% a 80% de sua resistência, gerando um comportamento frágil, e falha brusca e explosiva (OLIVEIRA, 2019). A Figura 6 apresenta o comportamento do UHPC quando submetido ao ensaio de compressão.

Figura 6 – Comportamento do UHPC no ensaio de compressão axial



Fonte: Oliveira (2019)

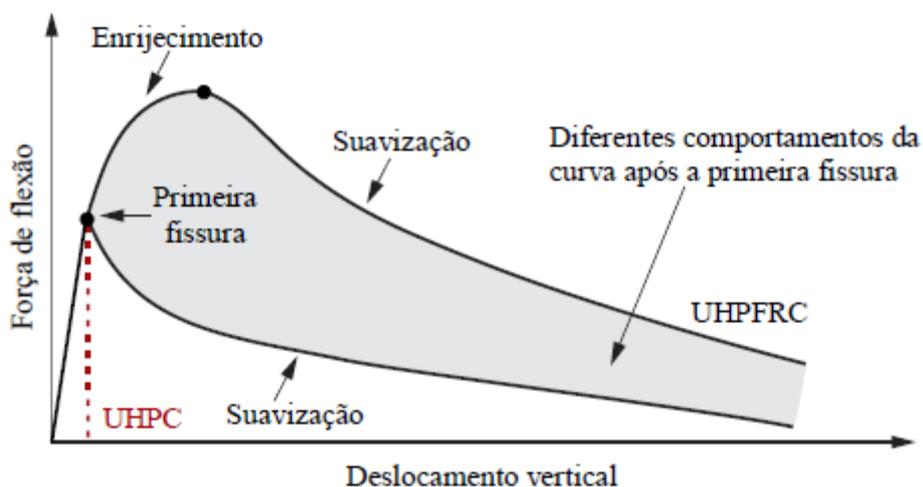
No estudo de Torregrosa (2013), o autor discute se há a influência quando acrescentado fibras de aço na matriz, no aumento da resistência à compressão do UHPC, e apresenta estudos que teores próximos a 2% podem aumentar a resistência à compressão em até 10%.

2.5.2 Resistência à tração na flexão do UHPC

Quando teores de fibras são adicionadas em compósitos como o UHPC, tende-se a um aumento na resistência a tração direta ou indireta, devido à baixa capacidade que o concreto possui a tensões de tração, sendo que a maior influência das fibras acabam sendo na fase de pós fissuração, com teores entre 1,5% e 2% (GÓIS, 2010).

Assim como no comportamento a compressão, o UHPC possui comportamento frágil na flexão, quando sem teores de fibras, e quando acrescentadas passa a ter comportamento dúctil, onde a carga aplicada aumenta até a primeira fissura, onde após passa pro estágio onde as fibras atuam como enrijecedoras da matriz, e posterior a queda da carga e suavização (OLIVEIRA, 2019). A Figura 7 apresenta o comportamento do UHPC frente a flexão.

Figura 7 – Comportamento do UHPC frente a flexão



Fonte: Oliveira (2019)

2.5.3 Tenacidade do UHPC

De acordo com Quinino (2015), a tenacidade de compósitos de concretos especiais como o UHPC, é a propriedade que define a capacidade de absorção de energia aplicada por uma carga quando o elemento está submetido a deformações estáticas ou dinâmicas, geralmente realizado no ensaio de flexão.

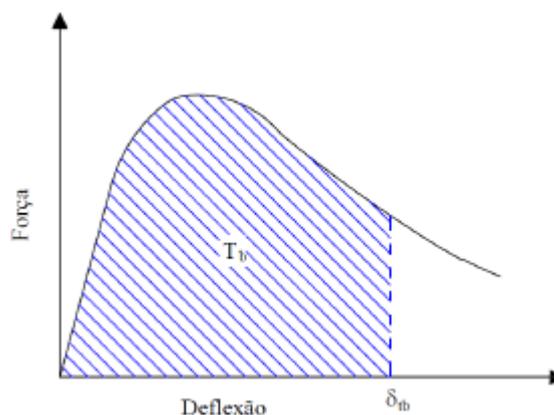
A propriedade que melhor beneficia-se quando acrescentadas fibras em sua matriz é a tenacidade, visto que comparando com concretos sem fibras, a mesma possui ruptura caracterizada após a fissuração, mantendo a integridade e coesão do material (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

Para Arif (2014), existem alguns fatores que influenciam na tenacidade do UHPC reforçado com fibras, como tamanho e geometria do CP avaliado, pois quanto maiores são as dimensões da seção analisada, maior tende a ser a energia absorvida; resistência das fibras utilizadas, quando utilizadas fibras com alto módulo de elasticidade, tende-se a diminuir a fragilidade do elemento, tornando-o mais dúctil e assim absorvendo mais energia; orientação das fibras, onde tem-se como preferência a redução do espaçamento entre as mesmas, aumentando a resistência a tração e a absorção de energia; entre outros.

Conforme o documento da JSCE-SF4(1984), o cálculo da tenacidade por ser adquirida através da área sob a curva tensão x deformação do ensaio de flexão realizado, levando em consideração alguns fatores de ensaio com dimensão do CP,

do carregamento etc. A Figura 8 apresenta o comportamento e obtenção da área para tenacidade.

Figura 8 – Área sob a curva de tensão x deformação, obtendo-se a tenacidade



Fonte: ARIF (2014)

Desta forma, a incorporação de fibras no UHPC tende a proporcionar melhor eficiência frente a formação e propagação de fissuras ocorridas nas zonas mais tracionadas do elemento, possibilitando assim maior desempenho do UHPC (Christ, 2019).

2.6 REOLOGIA

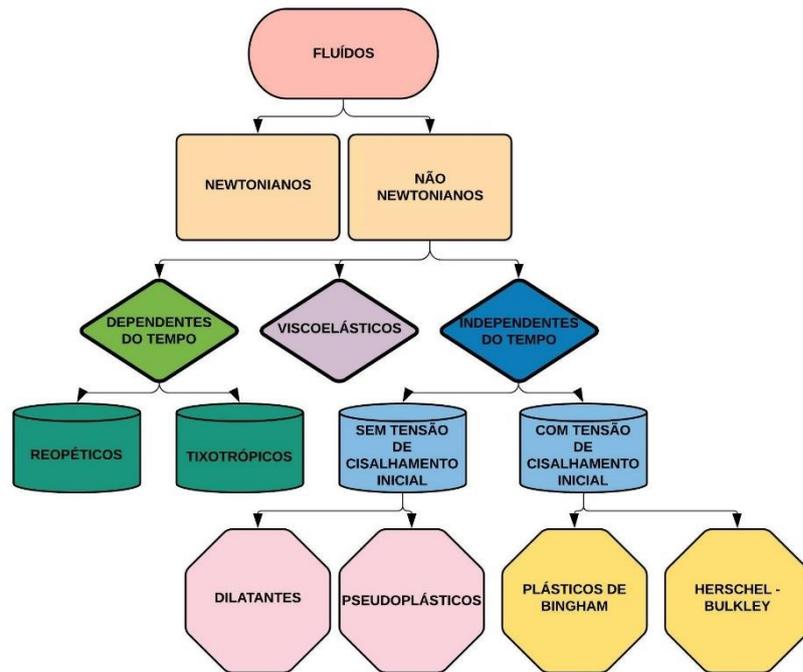
Reologia se trata do estudo do fluxo e da deformação dos materiais quando estes recebem uma carga ou força na sua superfície, geralmente sendo aplicado nos estudos de fluídos homogêneos, como líquidos, emulsões e suspensões de partículas (WATANABE et al., 1989).

As grandezas que definem o comportamento dos fluídos no estado reológico são viscosidade η e tensão de escoamento τ_0 , onde a primeira pode ser definida com o constante de proporcionalidade que relaciona a taxa $\dot{\gamma}$ com a tensão de cisalhamento τ aplicada, e a segunda é a tensão mínima necessária para o escoamento do fluído começar (ROMANO ET AL., 2008).

O comportamento dos fluídos podem ser classificados como fluídos newtonianos ou fluídos não newtonianos, onde o comportamento do primeiro representa a forma mais simples de comportamento de fluídos como água, óleo etc., onde a tensão de cisalhamento é proporcional à taxa de cisalhamento, e em contra

partida, o comportamento de fluídos não newtoniano apresentam maior complexidade em seu comportamento, dependendo de fatores como velocidade de fluxo, inércia, densidade do fluído, entre outros (Roussel, 2012). A Figura 9 apresenta de forma ampla a classificação dos fluídos através dos seus comportamentos.

Figura 9 - Classificação dos fluídos a partir do seu comportamento reológico



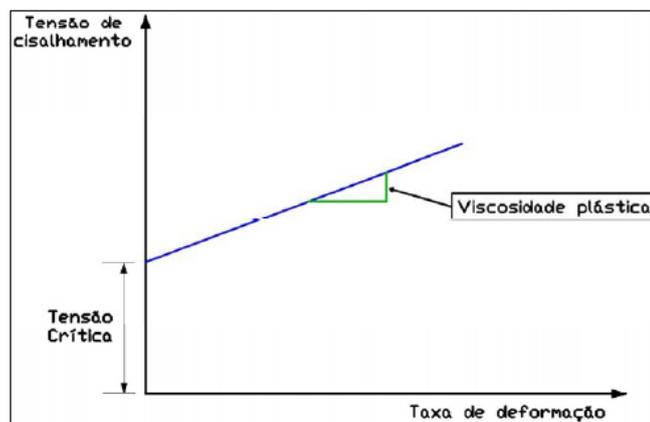
Fonte: Adaptado Apostila USP (link 1)

Dentre esses comportamentos apresentados dos fluídos, para o concreto (elemento composto por partículas em suspensão), é necessário uma tensão inicial maior que zero, com o intuito de que seu comportamento mude de material para comportamento de um líquido, iniciando assim o início do escoamento, onde desta forma, o modelo que melhor se insere é de fluído de comportamento Bingham (REIS, 2008).

Isto deve-se ao fato de que um fluído Binghamiano em seu estado de repouso é rígido devido sua estrutura tridimensional, capaz de resistir a tensões inferiores à tensão de escoamento, onde caso esta seja excedida, a estrutura irá desintegrar-se e seu comportamento será de um fluído newtoniano, sob uma tensão de cisalhamento. Na condição de que o cisalhamento seja reduzido a valores menores que a tensão de escoamento, a estrutura tridimensional é reajustada (TANNER, 1988). A Figura 10

ilustra o gráfico de tensão de cisalhamento x taxa de deformação, de um fluido Binghamiano.

Figura 10 - Curva de escoamento de um fluido Binghamiano



Fonte: (REIS, 2008)

Desta forma, considerando que o comportamento do concreto em seu estado fresco seja de um fluido Binghamiano, é possível avaliá-lo em duas constantes, sendo elas a tensão de escoamento e a viscosidade plástica (CHRIST, 2019; REIS, 2008). A constante relacionada a tensão de escoamento tem como relação o abatimento do concreto, já a segunda constante está para a diferença entre a trabalhabilidade do concreto, sendo estes mais trabalháveis ou não (DE LARRARD, 2002).

CHOI ET AL. (2016) apresentam que seja possível associar os ensaios que medem a trabalhabilidade, como ensaio de abatimento de mini-slump, com parâmetros reológicos, estes sendo viscosidade plástica, utilizando um reômetro em ensaio. Christ (2019) apud Ferrara et al.(2012) mostram que há relação entre parâmetros do ensaio de mini-slump e a viscosidade encontrada no ensaio com reômetro, sendo que é proporcional à medida que a viscosidade aumenta o espalhamento máximo leva mais tempo para ser alcançado.

Existem estudos, como os de Tattersall & Banfill (1983), Hu & De Larrard (1996), em que apresentam outros parâmetros ao concreto, como o comportamento de um fluido tixotrópico, bem como dilatante. Estes fatores são atribuídos a aumento de tensão de escoamento enquanto repouso e volume de finos na mistura respectivamente.

Para Reis (2008), alguns fatores influenciam as características reológicas tanto da pasta de cimento que se insere na argamassa, quanto da argamassa que se insere

no concreto, sendo esses fatores: Relação água/cimento, cura, origem das adições químicas e minerais dos aglomerantes utilizados nas misturas, dimensão e forma do agregado, aditivos químicos, tipo de misturador, temperatura, entre outros.

Outro fator importante relacionado a reologia citado no estudo de (REIS, 2008) é a influência que a distribuição granulométrica e o empacotamento das partículas possuem, onde a relação entre fluidez e a granulometria são diretas. A fluidez que se inicia de concretos é dependente da distribuição granulométrica, do índice de forma e da textura das partículas (BONEN & SARKAR, 1995).

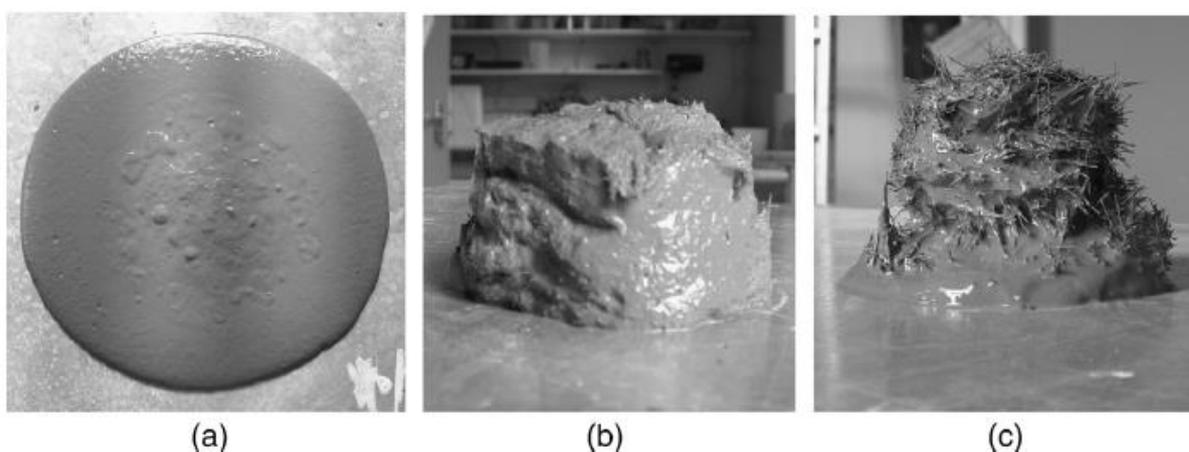
Desta forma, com é apresentado a seguir algumas propriedades relevantes ao estudo em questão:

2.6.1 Trabalhabilidade

Para Mehta & Monteiro (2014), diversos fatores influenciam na trabalhabilidade de compósitos como UHPC reforçados com fibras, entre eles a utilização de agregados com dimensões maiores que 2 mm acabam por interferir na fluidez do compósito.

Martinie et al.(2010), apresentam em seu estudo uma relação entre fração volumétrica das fibras e a trabalhabilidade, dividindo-as em três situações, onde podem influenciar muito pouco na trabalhabilidade, medianamente, e influenciar de forma a comprometer o compósito. A Figura 11, a, b e c apresenta essa situação respectivamente conforme citado.

Figura 11 - Influência das fibras na trabalhabilidade do UHPC



Fonte: Martinie et al.(2010)

Para Quinino (2015), influências com o teor de fibras e fator de forma dessas, podem provocar problemas relativos a perda da homogeneidade, como a segregação e formação de ouriços (Vide Figura 11, ilustração c), isto somado ao que Mehta & Monteiro (2014) afirmam que também geram problemas a influência de tamanho e geometria dos agregados, relação a/agl e também o processo de mistura utilizado.

Ainda sobre trabalhabilidade, a norma NF P18-470: Concreto – UHPC reforçado com fibras – Especificação, desempenho, produção e conformidade (AFNOR, 2016), apresenta a classificação do UHPC referente ao seu espalhamento, organizando em três classes referente ao seu estado de trabalhabilidade após o ensaio já mencionado. A norma classifica como:

- a) CA – UHPC autoadensável, capaz de se deslocar sem auxílio de vibração e auxílio mecânico;
- b) CV – UHPC viscoso, geralmente capaz de se deslocar com auxílio de vibração, entretanto sem necessitar ainda de auxílio mecânico;
- c) CT – UHPC muito viscoso, geralmente capaz de se deslocar somente com auxílio mecânico, mas quando em repouso permanece estático.

A norma apresenta também que, quando seguido o ensaio da C 230/C 230M (ASTM, 2021), deve-se utilizar da classificação conforme estes espalhamentos medidos após ensaio:

CA \geq 270 mm

CV entre 230 mm e 270 mm

CT < 230

Conforme a norma NF P18-470, após traduzida no literal, a trabalhabilidade apresentada por cada mistura é chamada de viscosidade, entretanto não foi realizado ensaios que analisavam a viscosidade. Desta forma, aqui foi apresentada os resultados como trabalhabilidade.

Isto dito, é possível então definir que:

CA = UHPC autoadensável

CV = UHPC com média trabalhabilidade

CT = UHPC com pouca trabalhabilidade

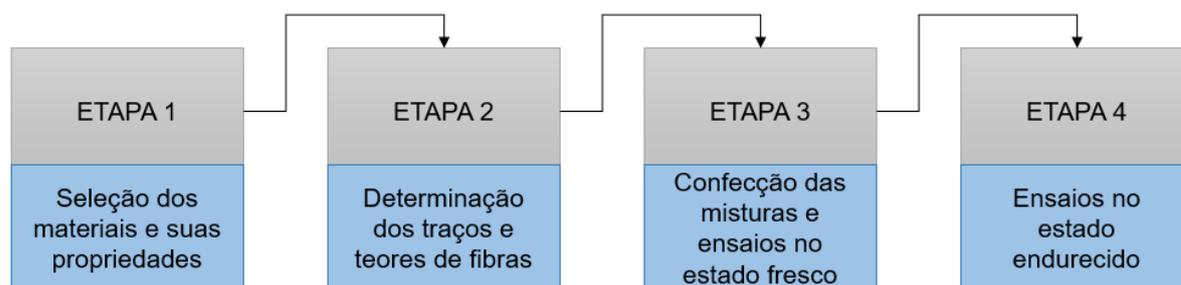
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado o planejamento experimental deste trabalho, assim como os materiais utilizados e métodos de ensaios realizados.

3.1 ETAPAS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com o intuito de atingir os objetivos propostos neste trabalho, foi desenvolvido um programa experimental que apresentasse um entendimento do comportamento do concreto de UHPC no estado reológico, com diferentes traços, atribuindo a estes a incorporação de fibras com características distintas, bem como, com teores diferentes de cada tipo fibra. Para isto, foram utilizados estudos teóricos, ensaios laboratoriais, tais quais foram guiados pelas normas técnicas nacionais e internacionais. Então, foi organizado em 4 etapas o programa experimental, como apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Organização das etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

A Etapa 1 compreendeu em selecionar os materiais que irão englobar as misturas a serem confeccionadas, bem como foi realizado a caracterização destes materiais. Na Etapa 2, através de métodos e estudos teóricos, foi determinado os traços que serão utilizados bem como os teores de fibras incorporados nas misturas. A Etapa 3 consistiu em confeccionar as misturas propostas e realizar os ensaios no estado fresco, analisando a influência das variáveis nas características reológicas do UHPC, finalizando esta etapa com as moldagens das misturas. Por último, a Etapa 4 apresenta os resultados do ensaio de compressão axial no estado endurecido e a influência das variáveis nestes resultados.

3.2 ETAPA 1 – MATERIAIS CONSTITUINTES

Visto que a pesquisa proposta é referente ao UHPC, é necessário determinar os materiais a serem utilizados de forma conjunta e que consigam uma resistência mecânica satisfatória, bem como trabalhabilidade. Desta forma, baseado em pesquisas já realizadas, como a de Christ (2019), e também pela fácil acessibilidade na região de Porto Alegre – RS, foi determinado a utilização de matérias como cimento, sílica ativa, cinza volante e agregado miúdo, conforme apresenta a Figura 13. A partir disto, foi realizado caracterização destes materiais para elaborar posteriormente os traços a serem utilizados.

Figura 13 – Materiais constituintes do UHPC neste estudo



Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.1 Cimento

O material aglomerante do UHPC é de fundamental importância no desempenho e resistência, principalmente pelo fator de pureza e tamanho da partícula. Tutikian et al.(2011) afirmam que se deve escolher o tipo de cimento mais puro sendo este o cimento Portland tipo I, entretanto a fabricação deste cimento no sul do Brasil é inexistente, optando-se pelo cimento Portland Tipo V que apresenta características semelhantes.

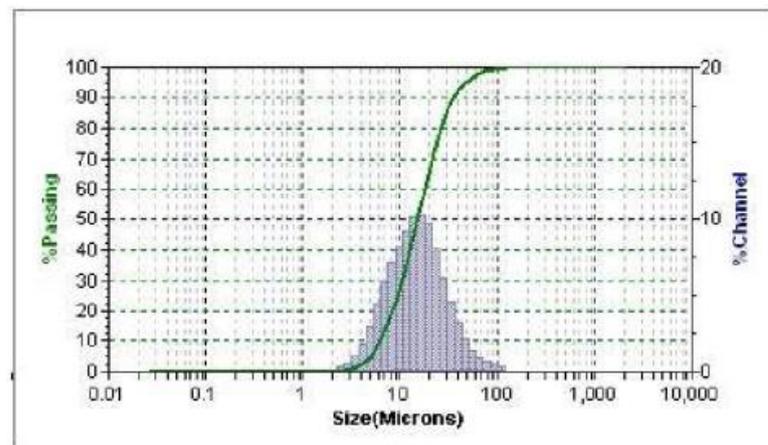
Desta forma, as características químicas e físicas do cimento utilizado estão expostos na Tabela 4 a seguir, também é apresentado para identificação da distribuição granulométrica, o ensaio de granulometria a laser, os dados deste ensaio são apresentados na Figura 14.

Tabela 4 - Propriedades físicas e químicas do cimento utilizado

Propriedades físicas	Resultado
Exp. quente (mm)	0,18
Tempo início de pega (s)	197
Tempo fim de pega (s)	245
Cons. normal (mm)	30,1
Blaine	4,42
#200	0,07
#325	0,33
1 dia	23,9
Resistência à compressão (MPa)	3 dias 39,9
	7 dias 45,9
	28 dias 54,3
Teor de elementos e compostos (%)	Resultado
Al ₂ O ₃	4,42
SiO ₂	19,39
Fe ₂ O ₃	3,05
CaO	62,26
MgO	1,89
SO ₃	3,11
CaO	3,67
CaO livre	1,17
Resíduos Insol.	0,85
Equiv.alcal	0,7

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14 - Distribuição granulométrica do cimento



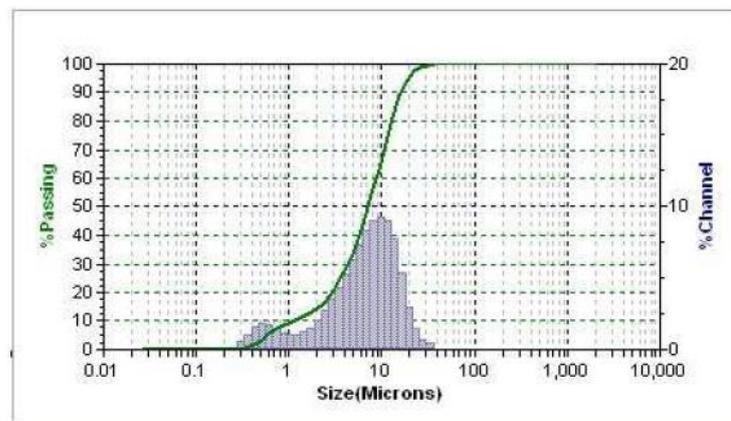
Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.2 Sílica Ativa

Com o intuito de diminuir o teor de cimento na matriz e o CO₂ emitido, é necessário o acréscimo de material pozzolânico na dosagem do UHPC, onde materiais como a sílica ativa e cinza volante trazem benefícios quando acrescentadas a mistura, tanto quimicamente quanto fisicamente, afetando inclusive a reologia do UHPC.

Desta forma, para identificação da distribuição granulométrica da sílica ativa, foi realizada o ensaio de granulometria a laser, os dados deste ensaio são apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Curva granulométrica da sílica ativa

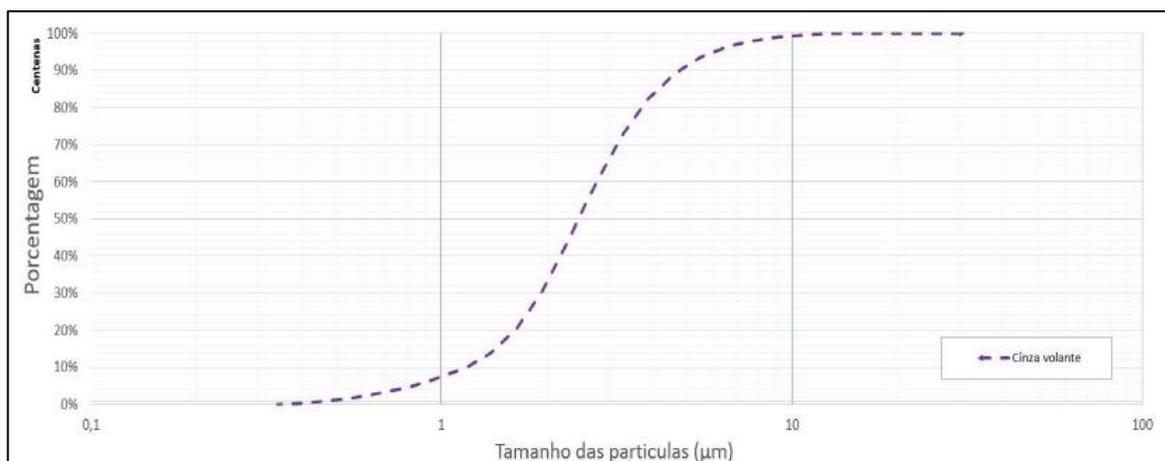


Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.3 Cinza Volante

A cinza volante utilizada neste estudo foi fornecida por empresa da região de Novo Hamburgo, onde a cinza gerada tem origem de termoelétricas. A granulometria deste material é apresentada na Figura 16. A massa específica encontrada, através das diretrizes da NBR 16605 (ABNT, 2017), foi de 2,10 g/cm³.

Figura 16 - Resultado da distribuição granulométrica da cinza volante



Fonte: (Christ, 2019)

3.2.4 Agregados

Os agregados constituintes do UHPC possuem fundamental importância em relação ao empacotamento das partículas, conforme Christ (2019). Deve-se ao fato de que quanto mais variações de partículas e quanto mais finas forem, mais empacotado gerará assim menos vazios e conseqüentemente maiores resistência mecânica.

O agregado utilizado para cada traço de UHPC foi a areia fina natural do rio, devido a seu fácil acesso, sendo utilizada pelo setor da construção na região sul do Brasil. Para a caracterização do agregado utilizado, foi seguidas as diretrizes das normas NBR 16972 (ABNT, 2021b), NBR 16916 (ABNT, 2021a), onde determinam respectivamente massa unitária e massa específica. Para determinar as características de distribuição granulométrica do agregado, foi seguido as orientações da ABNT NBR NM 45:2006 e ABNT NBR NM 52:2009 (ABNT, 2006, 2009). Os resultados são expressos na Tabela 5.

Tabela 5 – Propriedades e distribuição granulométrica do agregado

PENEIRA (mm)	AREIA FINA	
	RETIDA (%)	ACUMULADA (%)
6,3	0,0	0,0
4,8	0,0	0,0
2,4	0,0	0,0
1,2	0,0	0,0
0,6	1,2	1,2
0,3	20,0	21,2
0,2	74,6	95,8
Fundo (<0,15)	4,2	100,0
Dimensão Máxima	0,6mm	
Módulo de finura	1,18	
Massa Unitária	1,58g/cm ³	
Massa Específica	2,63g/cm ³	

Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.5 Fibras

As fibras determinadas para este estudo foram escolhidas com o intuito de analisar a influência de suas propriedades, como comprimento, fator de forma, densidade, geometria, no estado reológico do UHPC, bem como na resistência à compressão axial.

As fibras de aço que são utilizadas na pesquisa possuem propriedades distintas, geometria, fator de forma, com e sem ancoragens nas extremidades. A Figura 17, Figura 18, Figura 19, ilustram as fibras metálicas a serem utilizadas, bem como suas propriedades expressar nas Tabelas 6, 7 e 8.

Também, foram utilizadas fibras outros dois tipos de fibra na pesquisa, as fibras de vidro e PVA, estas são ilustradas nas Figuras 20 e 21, e suas propriedades nas Tabelas 9 e 10. Neste momento, as fibras são apresentas conforme nomenclatura das empresas fornecedoras.

Tabela 6 – Propriedades da fibra metálica da DRAMIX OL 13/.02

FIBRA METÁLICA DRAMIX OL 13/.02	
COMPRIMENTO (mm)	13
DIÂMETRO (mm)	0,21
FATOR DE FORMA	61,9
DENSIDADE (g/cm ³)	7,87
MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)	200
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	>1100
FORMA DA FIBRA	RETA

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 17 – Fibra metálica da DRAMIX OL 13/.02



Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 7 – Propriedades da fibra metálica da ASTRA 0,40x12,5

FIBRA METÁLICA ASTRA 0,40x12,5	
COMPRIMENTO (mm)	12,5
DIÂMETRO (mm)	0,40
FATOR DE FORMA	31,25
DENSIDADE (g/cm ³)	7,87
MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)	200
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	>1100
FORMA DA FIBRA	RETA

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 18 – Fibra metálica da ASTRA 0,40x12,5



Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 8 – Propriedades da fibra metálica MACCAFERRI FS8

FIBRA METÁLICA MACCAFERRI FS8	
COMPRIMENTO (mm)	25
DIÂMETRO (mm)	0,75
FATOR DE FORMA	33,33
DENSIDADE (g/cm ³)	7,87
MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)	210
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	>1100
FORMA DA FIBRA	ANCORAGEM

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 19 – Fibra metálica MACCAFERRI FS8



Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 9 – Propriedades da fibra de vidro KURARAY AS RECS-15

FIBRA VIDRO KURARAY AS RECS-15	
COMPRIMENTO (mm)	12
DIÂMETRO (mm)	0,014
FATOR DE FORMA	857,14
DENSIDADE (g/cm ³)	2,6
MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)	72
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	1700
FORMA DA FIBRA	RETA

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 20 – Fibra de Vidro KURARAY AS RECS-15



Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 10 – Propriedades da fibra de PVA OWENS CORNING CEM-FIL 62

FIBRA PVA OWENS CORNING CEM-FIL 62	
COMPRIMENTO (mm)	12
DIÂMETRO (mm)	0,1
FATOR DE FORMA	120
DENSIDADE (g/cm ³)	1,4
MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)	41
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	1600
FORMA DA FIBRA	RETA

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 21 - Fibra de PVA OWENS CORNING CEM-FIL 62



Fonte: Elaborada pelo autor

3.3 ETAPA 2 – DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS E TEORES DE FIBRAS

3.3.1 Mistura de UHPC pelo método Unisinos

A mistura do UHPC foi determinada a partir do método Unisinos desenvolvido por Christ (2019), e tem como resistências mínima esperadas de 120 MPa de compressão axial.

O intuito deste método é determinar o índice de desvio do empacotamento (IDE), através de equações e análises determinadas por FUNK & DINGER (2013), apresentadas e configuradas pelo método Unisinos, onde este, através da ferramenta Excel, utilizada dos dados de ensaios de granulometria dos materiais utilizados para a mistura e determina então o IDE.

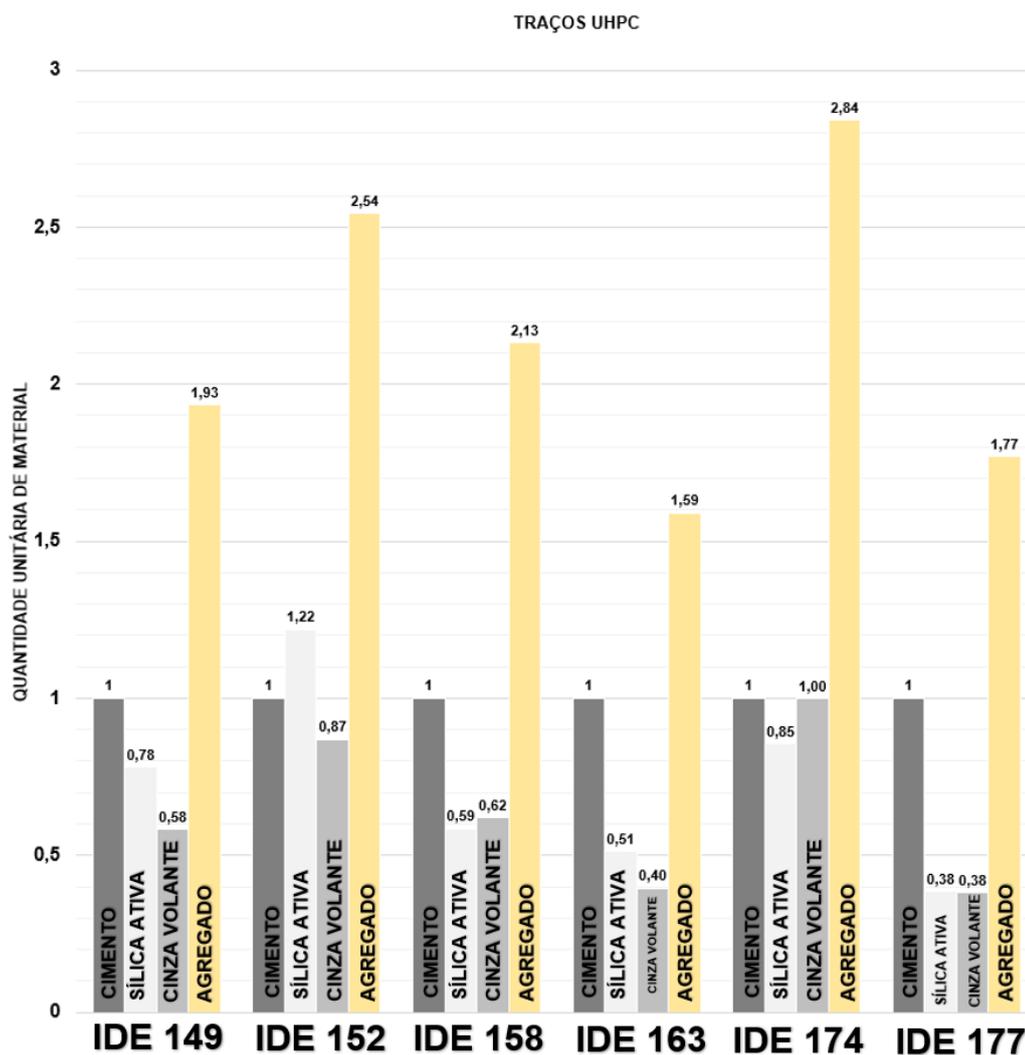
Nesta pesquisa, foram determinadas 6 tipos diferentes de traços, identificadas como IDE 149, IDE 152, IDE 158, IDE 163, IDE 174 e IDE 177, conforme apresentam a Tabela 11 e Figura 22, em proporção sobre a massa de cimento, chamado de traço unitário. O objetivo de avaliar 6 misturas diferentes se dá pela influência de diferentes empacotamentos no estado reológico do UHPC, bem como na resistência à compressão axial. Importante destacar que a quantidade de água e aditivo na mistura se mantiveram o mesmo para todos os traços. Desta forma, determinado uma relação a/agl de 0,20 e de aditivo superplastificante PowerFlow 4001 da MC Bauchemie de 2% em relação ao cimento.

Tabela 11 – Traços elaborados de UHPC

IDE 149		IDE 152		IDE 158	
CIMENTO	1,00	CIMENTO	1,00	CIMENTO	1,00
SÍLICA ATIVA	0,78	SÍLICA ATIVA	1,22	SÍLICA ATIVA	0,59
CINZA VOLANTE	0,58	CINZA VOLANTE	0,87	CINZA VOLANTE	0,62
AGREGADO	1,93	AGREGADO	2,54	AGREGADO	2,13
A/AGL	0,20	A/AGL	0,20	A/AGL	0,20
S.P (%)	0,02	S.P	0,02	S.P	0,02
IDE 163		IDE 174		IDE 177	
CIMENTO	1,00	CIMENTO	1,00	CIMENTO	1,00
SÍLICA ATIVA	0,51	SÍLICA ATIVA	0,85	SÍLICA ATIVA	0,38
CINZA VOLANTE	0,40	CINZA VOLANTE	1,00	CINZA VOLANTE	0,38
AGREGADO	1,59	AGREGADO	2,84	AGREGADO	1,77
A/AGL	0,20	A/AGL	0,20	A/AGL	0,20
S.P	0,02	S.P	0,02	S.P	0,02

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 22 – Traços elaborados de UHPC



Fonte:Elaborado pelo autor

3.3.2 Teor de fibras pelo método de Martinie, Rossi, Roussel

Para a quantificação de fibras a serem utilizadas no UHPC, foi definido o método de Martinie et al.(2010), onde este estudo apresenta um melhor desempenho tratando-se de quantificar as fibras no UHPC, pois é um método que leva em consideração o teor máximo de fibras em função da massa específica da matriz de UHPC a ser utilizada. Desta forma, o teor máximo de fibras é encontrado através da equação 1 a seguir, baseando-se nas adaptações do estudo de Christ (2019).

Equação 1: Equação de determinação do teor máximo de fibras

$$T_{fibras} = \frac{400}{r} * \left(1 - \frac{M.\text{unitária}}{M.\text{específica}}\right)$$

Onde:

T_{fibras} – Teor máximo de fibras a ser incorporado na mistura, em (%);

r – Fator de forma da fibra utilizada;

$M.\text{unitária}$ – Massa unitária do agregado utilizado;

$M.\text{específica}$ – Massa específica do agregado utilizado;

A partir da equação 1, foi possível determinar os teores de fibras a serem incorporadas nas misturas de UHPC já definidas. Com o objetivo de analisar a influência da incorporação das fibras nas misturas, foi definido que 3 teores serão utilizados para cada tipo de fibra, norteado pela equação 1, onde esta vai determinar o volume crítico e cada fibra, e também por estudos de autores que determinam os melhores teores ou que são comumente usados para determinada fibra.

Desta forma, seguindo a equação 1, foi identificado o volume crítico de cada fibra, apresentado na Tabela 12, na cor cinza. A partir destes teores encontrados, também foi considerado teores de estudos como de Mehta & Monteiro (2014), onde apresentam a utilização de teores de 1% a no máximo 2% de fibras de aço sem prejudicar a trabalhabilidade. Para fibras de vidro, é comumente usados teores entre 0,3% a 2%, como apresenta ALMEIDA (2015). Por fim, para fibras de PVA, estudos com o de Ehrenbring (2020) apresentam teores comumente utilizados em torno de 1% a 2% em relação ao volume. Na Tabela 12 é evidenciado os 3 teores de incorporação para cada tipo de fibra. Importante ressaltar que para o cálculo de volume crítico de fibras de vidro, encontrou-se um teor (em cinza) abaixo do habitual, desta forma seguiu-se a referência citada.

Tabela 12 – Teor de fibras calculados

FIBRA METÁLICA DRAMIX OL 13/.02		FIBRA METÁLICA ASTRA 0,40x12,5	
FATOR DE FORMA	61,90	FATOR DE FORMA	61,90
MASSA UNITÁRIA (g/cm ³)	1,56	MASSA UNITÁRIA (g/cm ³)	1,56
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,63	MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,63
	2,63		5,20
TEOR DE FIBRAS (%)	1,00	TEOR DE FIBRAS (%)	1,00
	2,00		2,50
FIBRA METÁLICA MACCAFERRI FS8		FIBRA VIDRO KURARAY AS RECS-15	
FATOR DE FORMA	61,90	FATOR DE FORMA	61,90
MASSA UNITÁRIA (g/cm ³)	1,56	MASSA UNITÁRIA (g/cm ³)	1,56
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,63	MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,63
	4,88		0,18
TEOR DE FIBRAS (%)	1,00	TEOR DE FIBRAS (%)	0,30
	2,50		0,61
			1,36
FIBRA PVA OWENS CORNING CEM-FIL 62			
FATOR DE FORMA	61,90		
MASSA UNITÁRIA (g/cm ³)	1,56		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,63		
	1,36		
TEOR DE FIBRAS (%)	0,50		
	2,00		

Fonte: Elaborada pelo autor

3.4 ETAPA 3 - CONFECÇÃO DAS MISTURAS, ENSAIO NO ESTADO FRESCO E MOLDAGEM

A Etapa 3 consiste em confeccionar as misturas propostas com a incorporação das fibras já mencionadas, onde foi utilizado uma argamassadeira de bancada, de movimento planetário com capacidade de 5 litros, onde foi utilizado para todas as misturas a velocidade lenta de rotação (140 ± 5 rpm) e revolução (62 ± 5 rpm).

Para as confecções, foi padronizado a forma de preparo das misturas até a realização do ensaio no estado fresco, permitindo assim resultados com menor influência de agentes externo, onde ficou definido assim:

- 1) Primeiramente, foi acrescentado 100% dos materiais, que são cimento, cinza, sílica e agregado, e deixou misturar por aproximadamente 1 minuto, para que homogeneizasse os materiais;
- 2) Após, foi acrescentado 50% da água e 50% do aditivo superplastificante, onde misturou por 2 minutos;

- 3) Na sequência, foi acrescentado o restante da água e aditivo, e misturado por mais tempo até que a mistura desenvolvesse aspecto de um fluido Binghamiano. Foi percebido que para os traços com maior volume de areia, precisava-se de mais tempo de mistura, aonde os traços IDEs 174 e 152 levaram cerca de 7 minutos após o acréscimo final de água e aditivo. O restante dos IDEs precisou ser misturado por 4 minutos aproximadamente.
- 4) Por fim, foram incorporadas as fibras em pequenas porções em um tempo equivalente de 45 segundos e deixado misturas após o acréscimo de 100% destas, 2 minutos.

Desta forma, ao fim de cada confecção, que tiveram duração entre 9 minutos para os traços IDEs 149, 158, 163, 177 e 12 minutos para os traços IDEs 152 e 174, foram realizados os ensaios no estado reológico e posteriormente a moldagem.

3.4.1 Configuração das variáveis analisadas

Para este trabalho, foi necessário adotar um sistema de nomenclatura que pudesse resumir as informações dos traços, fibras e teores a serem analisados. Desta forma, através da nomenclatura apresentada na Figura 23, é possível identificar na seguinte ordem as informações:

- 1) Primeiramente é informado o tipo de traço relacionado ao Índice de desvio de Empacotamento (IDE) onde foram apresentados na Tabela 11;
- 2) Após, é informado a inicial do material da fibra a ser avaliada, como "A" para aço, "V" para vidro e "P" para PVA;
- 3) Na sequência, é informado o fator de forma da fibra a ser avaliada, este é apresentado nas Tabelas 6 a 10;
- 4) Por fim, é informado o teor incorporado de fibras na mistura, onde este foi determinado e apresentado na Tabela 12.

Importante destacar que para os traços sem fibras, foi identificado como tipo de traço acompanhado da sigla REF.

Figura 23 – Nomenclatura adotada para cada mistura

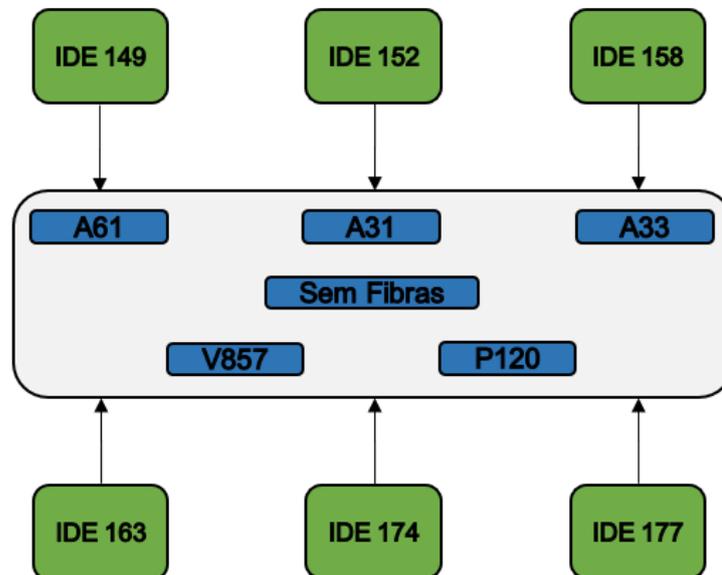


Fonte: Elaborado pelo autor

Desta forma, foi possível planejar as misturas e separar os materiais para a confecção. A Figura 24 apresenta os traços definidos para avaliação e suas interações com cada tipo de fibras, além de existir para cada traço, uma mistura sem incorporação de fibras.

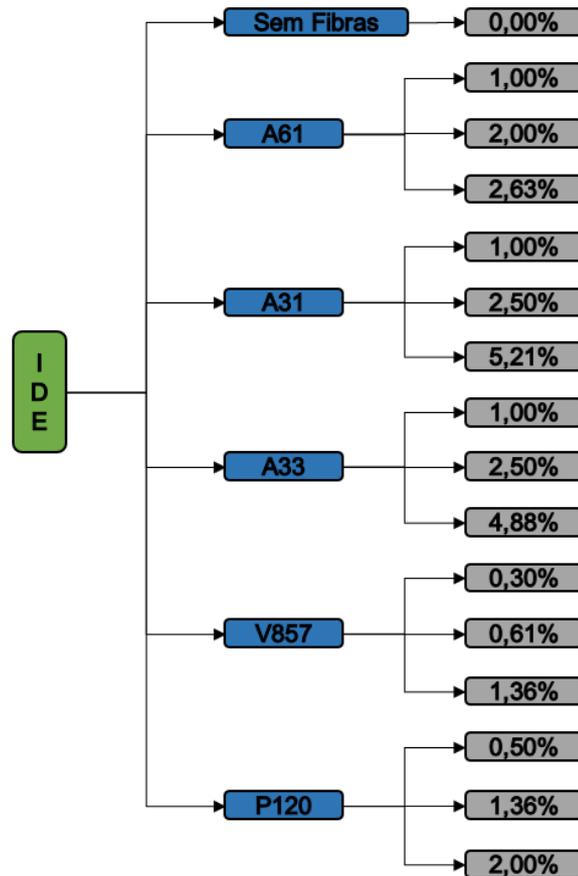
A Figura 25 apresenta, a partir da análise de um traço qualquer já apresentado neste estudo, o teor de incorporação necessária para cada tipo de fibra a ser avaliada. Desta forma, é possível identificar que ao todo, foram realizadas 96 misturas distintas de UHPC com o intuito de analisar o seu estado reológico.

Figura 24 – Variáveis analisadas: definição das misturas entre traços e fibras



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25 – Variáveis analisadas: definição dos teores de fibras



Fonte: Elaborado pelo autor

3.4.2 Ensaio no Estado Fresco – Espalhamento

Foi utilizado para a avaliação da consistência das misturas o ensaio de espalhamento conforme as diretrizes da NBR 13276 (ABNT, 2016), C 230/C 230M (ASTM, 2021) e posterior classificação conforme a NF P18-470 (AFNOR, 2016). Estas diretrizes foram seguidas devido a semelhança da reologia do UHPC ser semelhante ao CAA, conforme analisa Christ (2019) em seu estudo. A Figura 26 apresenta o início do ensaio em questão.

Figura 26 – Mesa de índice de consistência



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a análise dos resultados no estado fresco das misturas, definiu-se que primeiramente será analisado as misturas que não tiveram fibras em suas composições, ou seja, os traços referências, com o intuito de avaliar a classificação no espalhamento conforme NF P18-470 (AFNOR, 2016) x quantidade de materiais constituintes de cada traço. Após esse item avaliado, será posteriormente, analisada todas as misturas com as fibras A61 e seus teores, com o intuito de identificar a classificação no espalhamento e se manteve a classificação referência ou se o acréscimo desta fibra influenciou na consistência. Desta mesma forma será analisada para cada tipo de fibra subsequente.

3.4.3 Moldagens

Ao término de cada ensaio no estado fresco, foi realizada a moldagem das misturas de acordo com a NBR 5738 (ABNT,2015), sendo utilizados ao todo seis moldes com dimensões de 50mm x 100mm para cada mistura confeccionada. Também, foi utilizado desmoldante nos moldes com o intuito de facilitar a desforma posteriormente.

Para a moldagem, foi necessário o adensamento das misturas nos moldes, através de quatro camadas praticamente iguais e executadas 30 golpes com o soquete metálico em cada camada, também foi realizado após o adensamento por golpes a utilização de vibração, onde cada molde foi vibrado por 30 segundos.

Após a desmoldagem de cada mistura, efetuada 24 horas após as moldagens, os CPs foram identificados conforme nomenclatura da Figura 26 e armazenados em

sala de cura, com temperatura controlada de 23 ± 2 °C e umidade relativa acima de 98% até o momento do ensaio no estado endurecido.

3.5 ETAPA 4 - ENSAIO NO ESTADO ENDURECIDO

3.5.1 Resistência à compressão axial

Para a determinação da compressão axial dos compósitos de UHPC moldados, será seguido as diretrizes da NBR 5739 (ABNT, 2018), ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. As dimensões serão seguidas pela NBR 5738 (ABNT, 2015a), moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos, com geometria cilíndrica de 50mm x 100mm, isto devido ao consumo de material, visando a redução de descarte de material.

Os ensaios de compressão serão obtidos aos 28 e 56 dias de cura dos corpos de prova, com total de 3 corpos de prova por idade/traço utilizado. A Figura 27 ilustra a realização do ensaio.

Figura 27 - Ilustração do ensaio de compressão axial em corpos de prova 50x100mm, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018)



Fonte: Elaborada pelo autor

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como intuito apresentar os resultados obtidos nos ensaios realizados, para cada mistura confeccionada, onde será dividido as análises em resultados dos ensaios no estado fresco do UHPC e resultados dos ensaios no estado endurecido.

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS NO ESTADO FRESCO

Serão apresentadas neste capítulo as análises dos resultados no estado fresco do UHPC, conforme as variáveis existentes ao longo das misturas, sendo organizadas a partir dos ensaios de índice de consistência em relação ao tipo de IDE utilizado, tipo de fibra incorporado, e diferentes teores. Importante ressaltar que para as análises feitas neste capítulo, utilizou-se da média aritmética simples de três valores de espalhamento de cada mistura analisada. Também, é apresentado no APÊNDICE A, as Tabelas 31, 32, 33, 34, 35 e 36, que ilustram o espalhamento obtido nos ensaios de índice de consistência, para os respectivos IDEs 149, 152, 158, 163, 174 e 177 e no APÊNDICE D é apresentado os resultados dos ensaios de índice de consistência nas Tabelas 49, 50, 51, 52, 53 e 54, referentes aos IDEs e todas as fibras e teores que foram incorporadas.

4.1.1 Análise do ensaio de índice de consistência em relação ao tipo de IDE

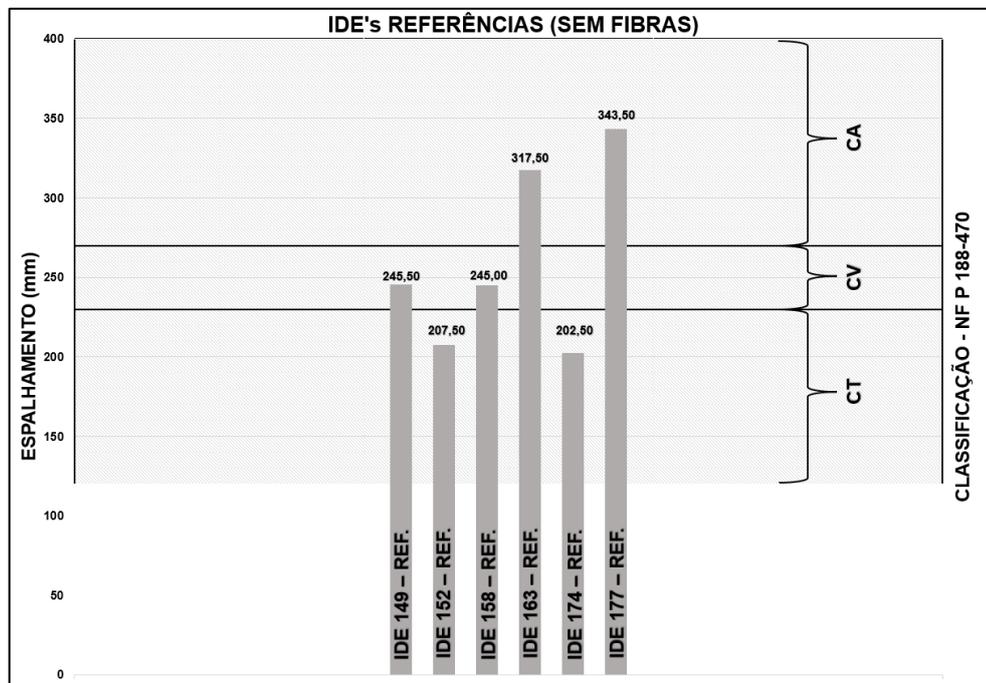
Analisando os resultados obtidos através dos ensaios de índice de consistência (classificação conforme a norma NF P18-470), foi possível identificar que os seis traços utilizados neste estudo, apresentaram diferentes espalhamentos (média), conforme apresentam a Tabela 13 a Figura 28. Entretanto, a classificação dos traços apresentou que estes tiveram pelo menos um semelhante em classificação. Os IDEs 149 e 158 foram classificados como CV ou com média trabalhabilidade, os IDEs 152 e 174 foram classificados como CT ou com pouca trabalhabilidade, e os IDEs 163 e 177 foram classificados como CA ou autoadensáveis.

Tabela 13 - Resultados e classificação de espalhamento médio dos traços de referência (sem fibras)

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
IDE 149 - REF.	245,50	CV
IDE 152 - REF.	207,50	CT
IDE 158 - REF.	245,00	CV
IDE 163 - REF.	317,50	CA
IDE 174 - REF.	202,50	CT
IDE 177 - REF.	343,50	CA

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 28 - Resultados e classificação de espalhamento médio dos traços de referência (sem fibras)



Fonte: Elaborada pelo autor

Foi possível então, correlacionar estes resultados com os dados apresentados na Tabela 14, onde apresentada o consumo de material utilizado em cada traço.

Tabela 14 – Consumo de materiais para cada IDE

IDE	CONSUMO kg/m ³								CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
	CIMENTO	MÉDIA	SÍLICA	MÉDIA	CINZA	MÉDIA	AREIA	MÉDIA	
149	232,7		181,5		135,6		450,1		CV
152	177,5		216,5		154,4		451,7		CT
158	230,7	230,9	135,0	156,4	142,7	138,1	491,7	474,6	CV
163	285,8		146,6		113,0		454,6		CA
174	175,7		150,0		175,4		498,9		CT
177	283,0		108,7		107,7		500,5		CA

Fonte: Elaborada pelo autor

Para os IDEs 163 e 177, classificados como CA, foram identificados que estes tiveram consumo de cimento maior, em relação à média dos traços analisados, em aproximadamente 23,00% em ambos. Também é visto que ambos tiveram consumo de sílica e cinza volante abaixo da média em 6,25% e 30,49% em relação a sílica e 18,18% e 22,01% para IDE 163 e 177 respectivamente. O consumo de agregado, para o IDE 163 foi de 4,26% abaixo da média, enquanto o IDE 177 teve média elevada, em relação à média dos demais traços em 5,45%.

Para os IDEs 149 e 158, classificados como CV, foram identificados que estes tiveram consumo de cimento próximo a média, acima 0,77% e abaixo em 0,08% respectivamente, em relação à média dos traços analisados. O consumo de sílica do IDE 149 foi de 16,00% maior que a média, enquanto o IDE 158 foi abaixo em 13,68%. Para a cinza volante, ambos tiveram consumos próximo a média, sendo abaixo 1,81% e acima da média em 3,33% respectivamente. O consumo de agregado, para o IDE 149 foi de 5,16% abaixo da média, enquanto o IDE 158 teve média maior, em relação à média dos demais traços em 3,60%.

Por fim, para os IDEs 152 e 174, classificados como CT, foram identificados que estes tiveram consumo de cimento abaixo da média dos demais traços, sendo aproximadamente 23% abaixo em ambos os IDEs. Para a sílica ativa, é visto que para o IDE 152 o consumo foi superior à média, em 38,43% e para o IDE 174 foi de 4,09%, abaixo da média. Para a cinza, ambos tiveram o consumo elevado em relação à média, em 11,80% e 27,00% respectivamente. Para o agregado, o IDE 152 teve consumo 11,14% abaixo da média, enquanto o IDE 174 acima da média, em 3,65%.

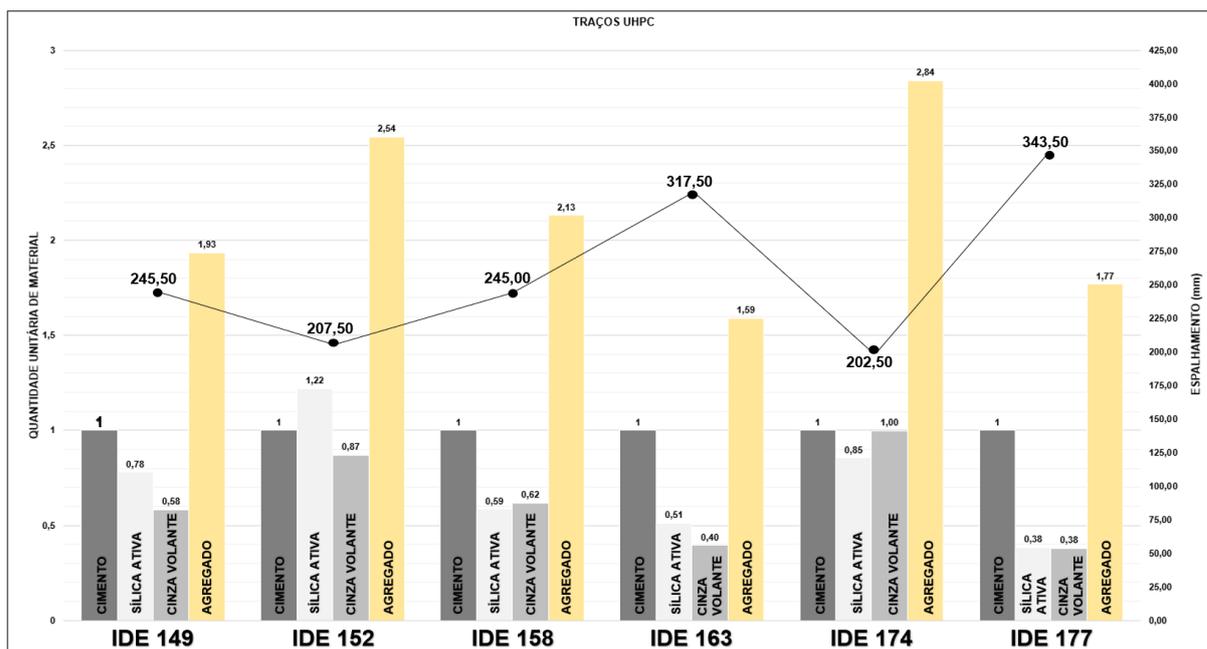
Autores como Tutikian (2007), Fabro et al.(2011), Guetti,(2012), Shimosaka,(2017) afirmam que misturas para poderem fluir de forma livre, necessitam de deformabilidade, propriedade que visa a homogeneidade e distribuição

uniforme das partículas constituintes do concreto. Para isto, deve-se reduzir o atrito entre partículas, diminuir a quantidade de agregados graúdos/miúdos e por consequência aumentar o volume da pasta, também podendo incorporar finos à mistura.

Autores como Khayat et al.(2019), apresentam também que através da substituição ou acréscimo de materiais finos como o cimento na mistura, tendem a aumentar o empacotamento de partículas, indicando melhor trabalhabilidade. O mesmo estudo indica que quando utilizado areia muito fina, tende-se também a melhorar a trabalhabilidade da mistura, ocorrendo devido a partículas de areia possuírem área de superfície específica maior e, portanto, necessária mais pasta de cimento para atingir a trabalhabilidade.

Desta forma, é apresentada a Figura 29, onde apresenta a relação entre o traço unitário dos materiais utilizados para cada IDE e o espalhamento obtido nos ensaios realizados. Pode-se então, afirmar que existe uma tendência entre quantidade de cimento utilizado e o espalhamento, onde quantidades elevadas de consumo de cimento tendem a resultar em maior trabalhabilidade. Para o restante dos materiais, não foi possível identificar um padrão comportamental e proporcional que influenciasse diretamente o espalhamento, entretanto, como já citado, quanto mais finos nas misturas, maior o empacotamento e por consequência, melhor a trabalhabilidade.

Figura 29 – Resultados do ensaio de IC em relação ao tipo de IDE



Fonte: Elaborada pelo autor

4.1.2 Análise do ensaio de índice de consistência em relação ao tipo de fibra incorporado

De forma a comparar os resultados já obtidos dos IDEs referências, foi acrescentada variáveis. Estas, foram cinco tipos de fibras com aspectos característicos que diferem umas das outras, como já apresentado conforme o item 3.2.5, Tabelas 6 a 10, deste trabalho. De forma a padronizar a análise destes resultados, se utilizou um teor volumétrico como referência, sendo este o volume crítico, já apresentado no item 3.3.2 deste trabalho, na Tabela 12, onde foram teores de 2,63%; 5,21%; 4,88%; 0,30% e 1,36% para as fibras A61, A33, A31, V857 e P120 respectivamente.

Desta forma, são apresentadas as Tabela 15, 16, 17, 18 e 19, com os resultados de espalhamento e as classificações obtidas conforme foram inseridas nos IDEs os tipos de fibras A61, A31, A33, V857 e P120 respectivamente.

Tabela 15 – Resultados de espalhamento e classificação dos IDEs com a fibra A61

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470) - REF.	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
IDE 149 - A61 - 2,63%	260,00	CV	CV
IDE 152 - A61 - 2,63%	162,50	CT	CT
IDE 158 - A61 - 2,63%	197,50	CV	CT
IDE 163 - A61 - 2,63%	260,00	CA	CV
IDE 174 - A61 - 2,63%	150,00	CT	CT
IDE 177 - A61 - 2,63%	292,50	CA	CA

Fonte: Elaborada pelo autor

Então, através da apresentação dos resultados na Tabela 15, é possível afirmar que após as fibras tipo A61 serem incorporadas nas misturas, teve-se influência na trabalhabilidade quando se possui esta característica. Como visto, os IDEs 158 e 163 mudaram sua classificação de CV para CT e CA para CV respectivamente, tornando suas consistências menos trabalhosas. Entretanto, os IDEs 149 e 177 não apresentaram mudança de classificação. Os IDEs 152 e 174 também não apresentaram mudanças nas suas classificações, como já era esperado devido seu traço referência já ter a classificação menos trabalhosa.

Tabela 16 - Resultados de espalhamento e classificação dos IDEs com a fibra A31

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470) - REF.	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
IDE 149 - A31 - 5,21%	202,50	CV	CT
IDE 152 - A31 - 5,21%	180,00	CT	CT
IDE 158 - A31 - 5,21%	227,50	CV	CT
IDE 163 - A31 - 5,21%	285,00	CA	CA
IDE 174 - A31 - 5,21%	175,00	CT	CT
IDE 177 - A31 - 5,21%	267,50	CA	CV

Fonte: Elaborada pelo autor

Através da apresentação dos resultados na Tabela 16, é possível afirmar que após as fibras tipo A31 serem incorporadas nas misturas, teve-se influência na trabalhabilidade quando se possui esta característica. Como visto, os IDEs 149 e 158 mudaram sua classificação de CV para CT e o IDE 177 mudou de CA para CV, tornando suas consistências menos trabalhosas. Entretanto, o IDE 163 não apresentou mudança de classificação. Os IDEs 152 e 174 também não apresentaram mudanças nas suas classificações, como já era esperado devido seu traço referência já ter a classificação menos trabalhosa.

Tabela 17 - Resultados de espalhamento e classificação dos IDEs com a fibra A33

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470) - REF.	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
IDE 149 - A33 - 4,88%	225,00	CV	CT
IDE 152 - A33 - 4,88%	192,50	CT	CT
IDE 158 - A33 - 4,88%	230,00	CV	CV
IDE 163 - A33 - 4,88%	280,00	CA	CA
IDE 174 - A33 - 4,88%	160,00	CT	CT
IDE 177 - A33 - 4,88%	290,00	CA	CA

Fonte: Elaborada pelo autor

Através da apresentação dos resultados na Tabela 17, é possível afirmar que após as fibras tipo A33 serem incorporadas nas misturas, não se teve-se grande influência na trabalhabilidade quando se possui esta característica. Como visto, somente o IDE 149 mudou sua classificação de CV para CT, o restante dos IDEs não apresentou mudanças de classificação para os seus teores críticos de fibras

Tabela 18 - Resultados de espalhamento e classificação dos IDEs com a fibra V857

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470) - REF.	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
IDE 149 - V857 - 0,30%	230,00	CV	CV
IDE 152 - V857 - 0,30%	170,00	CT	CT
IDE 158 - V857 - 0,30%	232,50	CV	CV
IDE 163 - V857 - 0,30%	270,00	CA	CA
IDE 174 - V857 - 0,30%	182,50	CT	CT
IDE 177 - V857 - 0,30%	270,00	CA	CA

Fonte: Elaborada pelo autor

Através da apresentação dos resultados na Tabela 18, é possível afirmar que após as fibras tipo V857 serem incorporadas nas misturas, não obteve influência alguma na trabalhabilidade quando se possui esta característica.

Tabela 19 - Resultados de espalhamento e classificação dos IDEs com a fibra P120

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470) - REF.	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
IDE 149 - P120 - 1,36%	225,00	CV	CT
IDE 152 - P120 - 1,36%	170,00	CT	CT
IDE 158 - P120 - 1,36%	222,50	CV	CT
IDE 163 - P120 - 1,36%	292,50	CA	CA
IDE 174 - P120 - 1,36%	182,50	CT	CT
IDE 177 - P120 - 1,36%	270,00	CA	CA

Fonte: Elaborada pelo autor

Por fim, através da apresentação dos resultados na Tabela 19, é possível afirmar que após as fibras tipo P120 serem incorporadas nas misturas, teve-se influência na trabalhabilidade quando se possui esta característica. Como visto, os IDEs 149 e 158 mudaram sua classificação de CV para CT, tornando suas consistências menos trabalhosas. Entretanto, os IDEs 163 e 177 não apresentaram mudança de classificação. Os IDEs 152 e 174 também não apresentaram mudanças nas suas classificações, como já era esperado devido seu traço referência já ter a classificação menos trabalhosa.

Khayat et al.(2019) apresenta, que o tipo de fibra tem grande influência na trabalhabilidade, onde fibras rígidas tendem a aumentar a tensão de escoamento entre as partículas, e fibras flexíveis tendem a aumentar a viscosidade. Entre as fibras rígidas, fibras com ancoragem podem influenciar mais na viscosidade do que fibras retas, isto ocorre, pois, a extremidade deformada tem efeito coesivo e âncora. Já as fibras flexíveis podem influenciar devido a deformação das fibras e ocasionar emaranhados, também podem ocorrer o bloqueio do movimento das partículas devido ao aumento da viscosidade e cisalhamento por causa da flexibilidade das fibras.

Shimosaka (2017) e Figueiredo (2011b), citam que a perda de trabalhabilidade que o concreto sofre devido ao acréscimo de fibras se dá também pelo acréscimo de superfície específica, aumentando a área de molhagem e então diminuindo a quantidade de água para fluidificar a mistura.

Nestes resultados apresentados, foi possível analisar que as fibras de aço influenciaram diretamente a trabalhabilidade das misturas, mudando suas classificações com acréscimo de fibras para menos trabalhosas. Ainda sobre as fibras de aço, foi possível identificar que fibras menores e retas (A61 e A31) influenciaram mais do que a fibra maior (A33), onde a última influenciou somente o IDE 149, já as outras influenciaram nos IDEs 158, 163 e 149, 158 e 177 respectivamente.

Das fibras não metálicas utilizadas neste estudo, apenas a fibra de PVA apresentou influência na trabalhabilidade, mudando a classificação dos IDEs 149 e 158. Já as fibras de vidro utilizadas, não apresentaram nenhuma influência na trabalhabilidade no teor crítico.

4.1.3 Análise do ensaio de índice de consistência em relação a incorporação de diferentes teores de fibras nas misturas

De forma a comparar os resultados já obtidos dos IDEs referências e do acréscimo de fibras, também foi acrescentada outros teores de fibras nas misturas, conforme apresenta item 3.3.2 deste trabalho, na Tabela 12, onde foi inserido teores de 1,00%, 2,00% e 2,63% para as fibras tipo A61; 1,00%, 2,50% e 5,21% para as fibras tipo A31; 1,00%, 2,50% e 4,88% para as fibras tipo A33; 0,30%, 0,61% e 1,36% para as fibras tipo V857 e por fim 0,50%, 1,36% e 2,00% para as fibras P120.

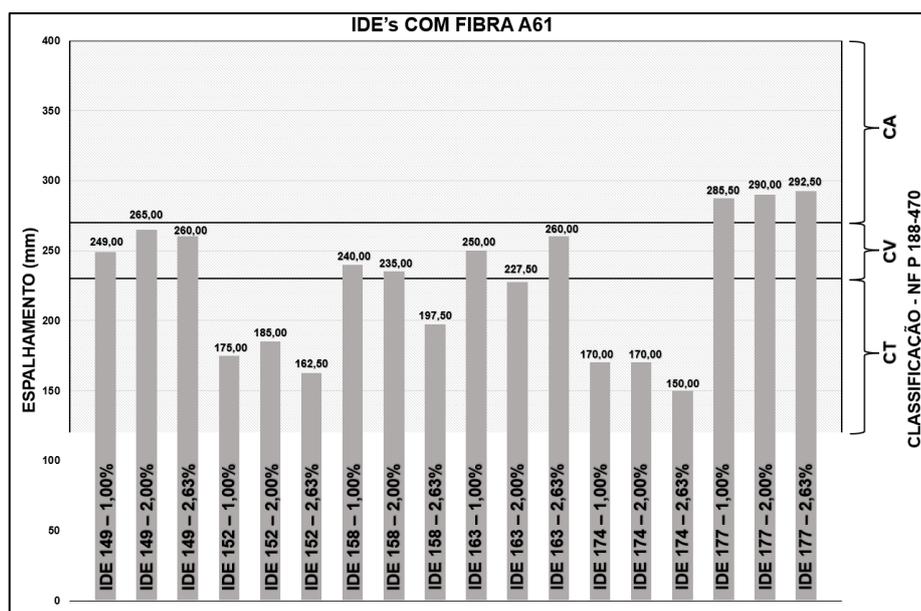
Desta forma, é apresentado a seguir os resultados do acréscimo de diferentes teores de fibras de mesma propriedade nos IDEs utilizados. A Tabela 20 apresenta os resultados de espalhamento obtidos nos ensaios utilizando o tipo de fibra A61 e suas classificações, tomando como base para análise a classificação dos traços referência. A Figura 32 ilustra esses resultados, em função da classificação obtida para cada resultado.

Tabela 20 - Resultados e classificação dos traços com a fibra A61

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470) - REF.	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
IDE 149 - A61 - 1,00%	249,00		CV
IDE 149 - A61 - 2,00%	265,00	CV	CV
IDE 149 - A61 - 2,63%	260,00		CV
IDE 152 - A61 - 1,00%	175,00		CT
IDE 152 - A61 - 2,00%	185,00	CT	CT
IDE 152 - A61 - 2,63%	162,50		CT
IDE 158 - A61 - 1,00%	240,00		CV
IDE 158 - A61 - 2,00%	235,00	CV	CV
IDE 158 - A61 - 2,63%	197,50		CT
IDE 163 - A61 - 1,00%	250,00		CV
IDE 163 - A61 - 2,00%	227,50	CA	CT
IDE 163 - A61 - 2,63%	260,00		CV
IDE 174 - A61 - 1,00%	170,00		CT
IDE 174 - A61 - 2,00%	170,00	CT	CT
IDE 174 - A61 - 2,63%	150,00		CT
IDE 177 - A61 - 1,00%	287,50		CA
IDE 177 - A61 - 2,00%	290,00	CA	CA
IDE 177 - A61 - 2,63%	292,50		CA

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 30 - Resultados e classificação de todos os traços com a fibra A61



Fonte: Elaborado pelo autor

Desta forma, com os resultados apresentados na Tabela 20 e ilustrados na Figura 32, foi possível analisar que para o IDE 149, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação para mais trabalhosa, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 149 apresentou espalhamento médio de 245,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A61, teve-se um aumento no espalhamento em 1,43%, para 2,00% incorporado teve-se aumento de 7,94% e para 2,63% incorporado teve-se diminuição em relação ao teor anterior, mas ainda acima da referência em 5,90%.

Para o IDE 152, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, como esperado devido essa já ser a mais trabalhosa sem fibras, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 152 apresentou espalhamento médio de 207,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A61, teve-se diminuição no espalhamento em 15,66%, para 2,00% incorporado teve-se diminuição de 10,84% em relação à referência e para 2,63% incorporado teve-se diminuição em 21,68%.

Para o IDE 158, foi apresentada influência que mudasse sua classificação, isto apenas para o teor crítico, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 158 apresentou espalhamento médio de 245,00 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A61, teve-se diminuição no

espalhamento em 2,04%, para 2,00% incorporado teve-se diminuição de 4,08% em relação à referência e para 2,63% incorporado teve-se mudança na classificação para CT, obtendo diminuição de 19,38% de espalhamento,

Para o IDE 163, foi apresentada influência que mudasse sua classificação, isto para todos os teores incorporados, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 163 apresentou espalhamento médio de 317,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A61, teve-se diminuição no espalhamento em 21,26% e mudança de classificação para CV. Para 2,00% incorporado teve-se diminuição de 28,35% em relação à referência e mudança de classificação para CT. Para 2,63% incorporado teve-se diminuição de espalhamento em 18,11% e mudança na classificação para CV, entretanto não obteve a mesma tendência dos outros IDEs, onde este último resultado teve menor interferência na mistura mesmo possuindo maior teor de fibras do que o último avaliado.

Para o IDE 174, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, como esperado devido essa também ser a mais trabalhosa sem fibras, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 158 apresentou espalhamento médio de 202,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A61, teve-se diminuição no espalhamento em 16,05%, para 2,00% incorporado também teve diminuição de 16,05% em relação à referência e para 2,63% incorporado teve-se diminuição em 25,93%.

Por fim, para o IDE 177, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação para mais trabalhosa, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 177 apresentou espalhamento médio de 343,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A61, teve-se a diminuição do espalhamento em 16,30%, para 2,00% incorporado teve-se diminuição de 15,57% e para 2,63% incorporado teve-se diminuição em 85,15%.

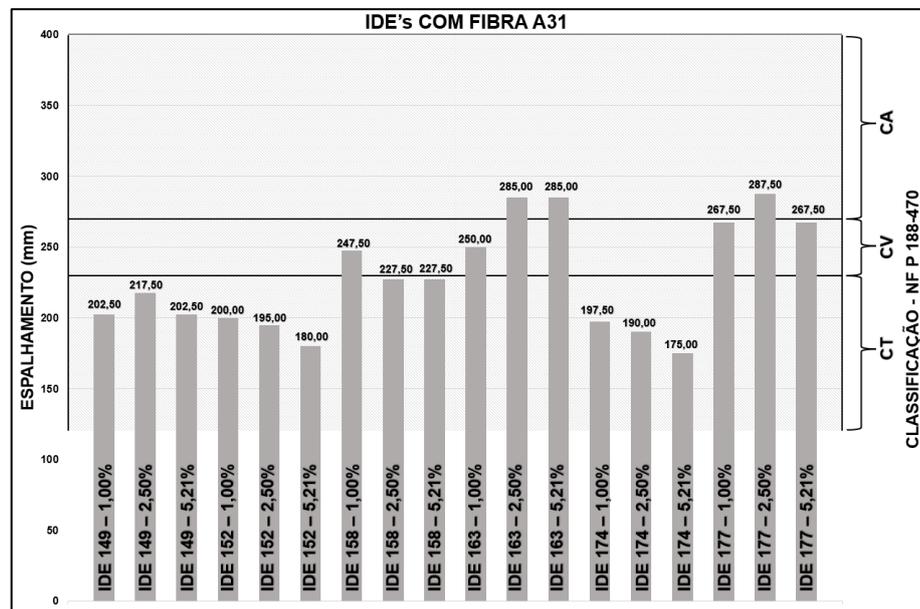
Em seguida, é apresentado os resultados do acréscimo de diferentes teores de fibras de mesma propriedade nos IDEs utilizados. A Tabela 21 apresenta os resultados de espalhamento obtidos nos ensaios utilizando o tipo de fibra A31 e suas classificações, tomando como base para análise a classificação dos traços referência. A Figura 33 ilustra esses resultados, em função da classificação obtida para cada resultado.

Tabela 21 - Resultados e classificação dos traços com a fibra A31

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470) - REF.	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
IDE 149 - A31 - 1,00%	202,50		CT
IDE 149 - A31 - 2,50%	217,50	CV	CT
IDE 149 - A31 - 5,21%	202,50		CT
IDE 152 - A31 - 1,00%	200,00		CT
IDE 152 - A31 - 2,50%	195,00	CT	CT
IDE 152 - A31 - 5,21%	180,00		CT
IDE 158 - A31 - 1,00%	247,50		CV
IDE 158 - A31 - 2,50%	227,50	CV	CT
IDE 158 - A31 - 5,21%	227,50		CT
IDE 163 - A31 - 1,00%	250,00		CV
IDE 163 - A31 - 2,50%	285,00	CA	CA
IDE 163 - A31 - 5,21%	285,00		CA
IDE 174 - A31 - 1,00%	197,50		CT
IDE 174 - A31 - 2,50%	190,00	CT	CT
IDE 174 - A31 - 5,21%	175,00		CT
IDE 177 - A31 - 1,00%	267,50		CV
IDE 177 - A31 - 2,50%	287,50	CA	CA
IDE 177 - A31 - 5,21%	267,50		CV

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 31 - Resultados e classificação de todos os traços com a fibra A31



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 21 e ilustrados na Figura 33, foi possível analisar que para o IDE 149, foi apresentada influência que mudasse sua classificação para mais trabalhosa em todos os teores, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 149 apresentou espalhamento médio de 245,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A31, teve-

se a diminuição no espalhamento em 17,52%, para 2,50% incorporado teve-se diminuição de 11,41% e para 5,21% incorporado teve-se diminuição 17,52%.

Para o IDE 152, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, como esperado devido essa já ser a mais trabalhosa sem fibras, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 152 apresentou espalhamento médio de 207,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A31, teve-se diminuição no espalhamento em 3,61%, para 2,50% incorporado teve-se diminuição de 6,02% em relação à referência e para 5,21% incorporado teve-se diminuição em 13,25%.

Para o IDE 158, foi apresentada influência que mudasse sua classificação, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 158 apresentou espalhamento médio de 245,00 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A31, teve-se aumento no espalhamento em 1,02% e manteve-se a mesma classificação em relação à referência, para 2,50% incorporado teve-se diminuição de 7,14% em relação à referência mudança de classificação, de CV para CT e para 5,21% incorporado teve-se mudança na classificação, saindo de CV para a classificação menos trabalhosa, sendo CT, obtendo diminuição ao traço referência de 7,14%.

Para o IDE 163, foi apresentada influência que mudasse sua classificação, isto apenas para o teor de 1% incorporado, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 163 apresentou espalhamento médio de 317,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A31, teve-se diminuição no espalhamento em 21,26% e mudança de classificação, saindo de CA para CV. Para 2,50% incorporado teve-se diminuição de 10,24% em relação à referência e mas mantendo a classificação de CA. Para 5,21% incorporado teve-se diminuição de espalhamento em 10,24% e também não teve mudança na classificação.

Para o IDE 174, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, como esperado devido essa também ser a mais trabalhosa sem fibras, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 158 apresentou espalhamento médio de 202,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A31, teve-se diminuição no espalhamento em 2,47%, para 2,50% incorporado também teve diminuição de 6,17% em relação à referência e para 5,21% incorporado teve-se diminuição em 13,58%.

Por fim, para o IDE 177, foi apresentada influência que mudasse sua classificação para mais trabalhosa, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 177 apresentou espalhamento médio de 343,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A31, teve-se a diminuição do espalhamento em 22,13% e mudança na classificação para CV, para 2,50% incorporado teve-se diminuição de 16,30%, mas não mudou sua classificação. Para 5,21% incorporado teve-se diminuição em 22,13% e mudança de classificação para CV.

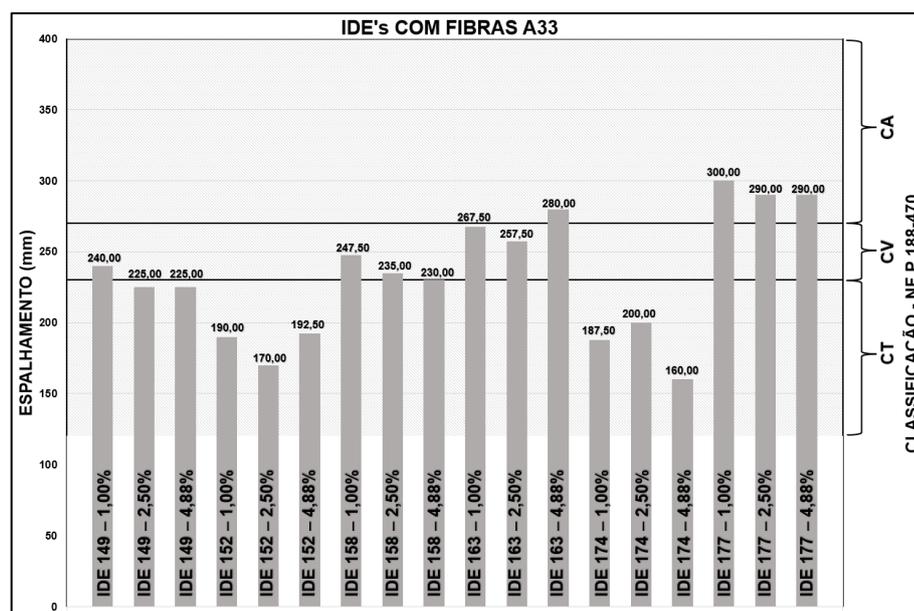
Em seguida, é apresentado os resultados do acréscimo de diferentes teores de fibras de mesma propriedade nos IDEs utilizados. A Tabela 22 apresenta os resultados de espalhamento obtidos nos ensaios utilizando o tipo de fibra A33 e suas classificações, tomando como base para análise a classificação dos traços referência. A Figura 34 ilustra esses resultados, em função da classificação obtida para cada resultado.

Tabela 22 - Resultados e classificação dos traços com a fibra A33

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470) - REF.	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
IDE 149 - A33 - 1,00%	240,00		CV
IDE 149 - A33 - 2,50%	225,00	CV	CT
IDE 149 - A33 - 4,88%	225,00		CT
IDE 152 - A33 - 1,00%	190,00		CT
IDE 152 - A33 - 2,50%	170,00	CT	CT
IDE 152 - A33 - 4,88%	192,50		CT
IDE 158 - A33 - 1,00%	247,50		CV
IDE 158 - A33 - 2,50%	235,00	CV	CV
IDE 158 - A33 - 4,88%	230,00		CV
IDE 163 - A33 - 1,00%	267,50		CV
IDE 163 - A33 - 2,50%	257,50	CA	CV
IDE 163 - A33 - 4,88%	280,00		CA
IDE 174 - A33 - 1,00%	187,50		CT
IDE 174 - A33 - 2,50%	200,00	CT	CT
IDE 174 - A33 - 4,88%	160,00		CT
IDE 177 - A33 - 1,00%	300,00		CA
IDE 177 - A33 - 2,50%	290,00	CA	CA
IDE 177 - A33 - 4,88%	290,00		CA

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 32 - Resultados e classificação de todos os traços com a fibra A33



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 22 e ilustrados na Figura 34, foi possível analisar que para o IDE 149, foi apresentada influência que mudasse sua classificação para mais trabalhosa, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 149 apresentou espalhamento médio de 245,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A33, teve-se a diminuição no espalhamento em 2,24%, para 2,50% incorporado teve-se diminuição de 8,35% e mudança na classificação, passando para CT. Para 4,88% incorporado teve-se diminuição 8,35 e também se alterou a classificação para CT.

Para o IDE 152, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, como esperado devido essa já ser a mais trabalhosa sem fibras, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 152 apresentou espalhamento médio de 207,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A33, teve-se diminuição no espalhamento em 8,43%, para 2,50% incorporado teve-se diminuição de 18,07% em relação à referência e para 4,88% incorporado teve-se diminuição em 7,23%.

Para o IDE 158, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 158 apresentou espalhamento médio de 245,00 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A33, teve-se aumento no espalhamento em 1,02%, para

2,50% incorporado teve-se diminuição de 4,08% em relação à referência e para 5,21% incorporado teve-se diminuição de 6,12%.

Para o IDE 163, foi apresentada influência que mudasse sua classificação, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 163 apresentou espalhamento médio de 317,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A33, teve-se diminuição no espalhamento em 15,75% e mudança de classificação, saindo de CA para CV. Para 2,50% incorporado teve-se diminuição de 18,90% em relação à referência e alterando sua classificação para CV. Para 4,88% incorporado teve-se diminuição de espalhamento em 11,81%, entretanto não apresentou mudança na classificação.

Para o IDE 174, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, como esperado devido essa também ser a mais trabalhosa sem fibras, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 158 apresentou espalhamento médio de 202,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A33, teve-se diminuição no espalhamento em 7,41%, para 2,50% incorporado também teve diminuição de 1,23% em relação à referência e para 4,88% incorporado teve-se diminuição em 20,99%.

Por fim, para o IDE 177, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação para mais trabalhosa, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 177 apresentou espalhamento médio de 343,50 mm, quando acrescentado 1,00% da fibra A33, teve-se a diminuição do espalhamento em 12,66%, para 2,50% incorporado teve-se diminuição de 15,57% e para 5,21% incorporado teve-se diminuição em 15,57%.

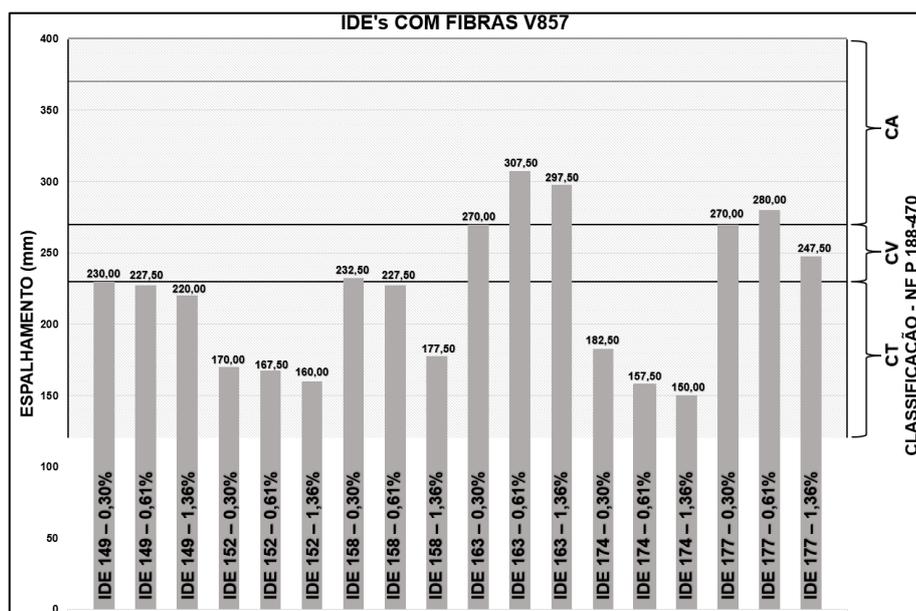
Em seguida, é apresentado os resultados do acréscimo de diferentes teores de fibras de mesma propriedade nos IDEs utilizados. A Tabela 23 apresenta os resultados de espalhamento obtidos nos ensaios utilizando o tipo de fibra V857 e suas classificações, tomando como base para análise a classificação dos traços referência. A Figura 35 ilustra esses resultados, em função da classificação obtida para cada resultado.

Tabela 23 - Resultados e classificação dos traços com a fibra V857

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470) - REF.	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
IDE 149 - V857 - 0,30%	230,00		CV
IDE 149 - V857 - 0,61%	227,50	CV	CT
IDE 149 - V857 - 1,36%	220,00		CT
IDE 152 - V857 - 0,30%	170,00		CT
IDE 152 - V857 - 0,61%	167,50	CT	CT
IDE 152 - V857 - 1,36%	160,00		CT
IDE 158 - V857 - 0,30%	232,50		CV
IDE 158 - V857 - 0,61%	227,50	CV	CT
IDE 158 - V857 - 1,36%	177,50		CT
IDE 163 - V857 - 0,30%	270,00		CA
IDE 163 - V857 - 0,61%	307,50	CA	CA
IDE 163 - V857 - 1,36%	297,50		CA
IDE 174 - V857 - 0,30%	182,50		CT
IDE 174 - V857 - 0,61%	157,50	CT	CT
IDE 174 - V857 - 1,36%	150,00		CT
IDE 177 - V857 - 0,30%	270,00		CA
IDE 177 - V857 - 0,61%	280,00	CA	CA
IDE 177 - V857 - 1,36%	247,50		CV

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 33 - Resultados e classificação de todos os traços com a fibra V857



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 23 e ilustrados na Figura 35, foi possível analisar que para o IDE 149, foi apresentada influência que mudasse sua classificação para mais trabalhosa, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 149 apresentou espalhamento médio de 245,50 mm, quando acrescentado 0,30% da fibra V857, teve-se a diminuição no espalhamento em 6,31%, mas não possuiu alteração na classificação, já para 0,61% incorporado teve-se diminuição de 7,33% e alteração na classificação

para CT, para 1,36% incorporado teve-se diminuição de 10,39% e mudança na classificação para CT.

Para o IDE 152, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, como esperado devido essa já ser a mais trabalhosa sem fibras, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 152 apresentou espalhamento médio de 207,50 mm, quando acrescentado 0,30% da fibra V857, teve-se diminuição no espalhamento em 18,07%, para 0,61% incorporado teve-se diminuição de 19,27% em relação à referência e para 1,36% incorporado teve-se diminuição em 22,89%.

Para o IDE 158, foi apresentada influência que mudasse sua classificação, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 158 apresentou espalhamento médio de 245,00 mm, quando acrescentado 0,30% da fibra V857, teve-se diminuição no espalhamento em 5,10% e manteve-se a mesma classificação em relação à referência, para 0,61% incorporado teve-se diminuição de 7,14% em relação à referência e mudança de classificação, de CV para CT e para 1,36% incorporado teve-se mudança na classificação indo para CT e obtendo diminuição de 27,55% no espalhamento

Para o IDE 163, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 163 apresentou espalhamento médio de 317,50 mm, quando acrescentado 0,30% da fibra V857, teve-se diminuição no espalhamento em 14,96%, para 0,61% incorporado teve-se diminuição de 3,15% em relação à referência, para 1,36% incorporado teve-se diminuição de espalhamento em 6,30%.

Para o IDE 174, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, como esperado devido essa também ser a mais trabalhosa sem fibras, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 158 apresentou espalhamento médio de 202,50 mm, quando acrescentado 0,30% da fibra V857, teve-se diminuição no espalhamento em 9,88%, para 0,61% incorporado também teve diminuição de 22,22% em relação à referência e para 1,36% incorporado teve-se diminuição em 25,93%.

Por fim, para o IDE 177, foi apresentada influência que mudasse sua classificação para mais trabalhosa, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 177 apresentou espalhamento médio de 343,50 mm, quando acrescentado 0,30% da fibra V857, teve-se a

diminuição do espalhamento em 21,40%, para 0,61% incorporado teve-se diminuição de 18,49%, ambas as incorporações não mudaram sua classificação. Para 1,36% incorporado teve-se diminuição em 27,95% e mudança de classificação para CV.

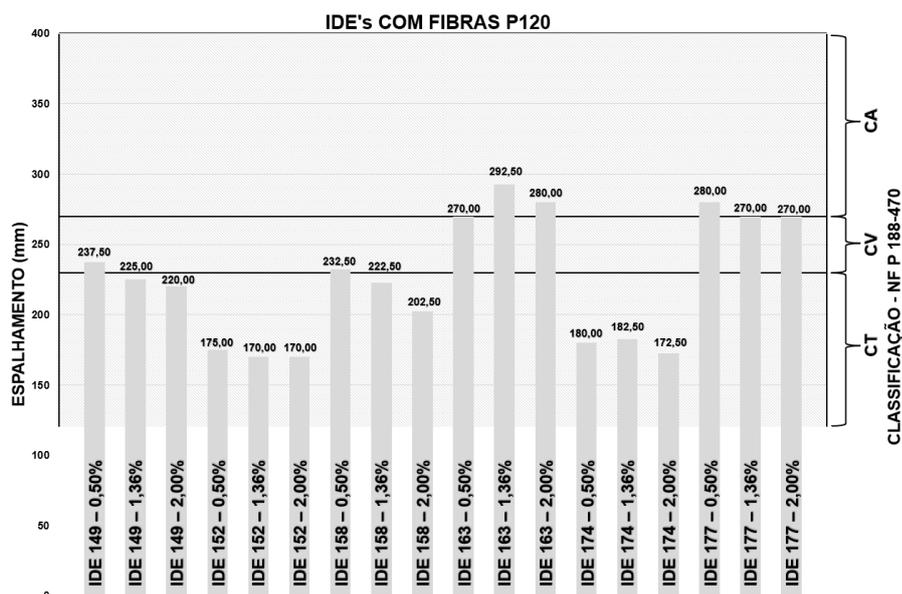
Em seguida, é apresentado os resultados do acréscimo de diferentes teores de fibras de mesma propriedade nos IDEs utilizados. A Tabela 24 apresenta os resultados de espalhamento obtidos nos ensaios utilizando o tipo de fibra P120 e suas classificações, tomando como base para análise a classificação dos traços referência. A Figura 36 ilustra esses resultados, em função da classificação obtida para cada resultado.

Tabela 24 - Resultados e classificação dos traços com a fibra P120

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470) - REF.	CLASSIFICAÇÃO (NF P18-470)
IDE 149 - P120 - 0,50%	237,50		CV
IDE 149 - P120 - 1,36%	225,00	CV	CT
IDE 149 - P120 - 2,00%	220,00		CT
IDE 152 - P120 - 0,50%	175,00		CT
IDE 152 - P120 - 1,36%	170,00	CT	CT
IDE 152 - P120 - 2,00%	170,00		CT
IDE 158 - P120 - 0,50%	232,50		CV
IDE 158 - P120 - 1,36%	222,50	CV	CT
IDE 158 - P120 - 2,00%	202,50		CT
IDE 163 - P120 - 0,50%	270,00		CA
IDE 163 - P120 - 1,36%	292,50	CA	CA
IDE 163 - P120 - 2,00%	280,00		CA
IDE 174 - P120 - 0,50%	180,00		CT
IDE 174 - P120 - 1,36%	182,50	CT	CT
IDE 174 - P120 - 2,00%	172,50		CT
IDE 177 - P120 - 0,50%	280,00		CA
IDE 177 - P120 - 1,36%	270,00	CA	CA
IDE 177 - P120 - 2,00%	270,00		CA

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 34 - Resultados e classificação de todos os traços com a fibra P120



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 24 e ilustrados na Figura 36, foi possível analisar que para o IDE 149, foi apresentada influência que mudasse sua classificação para mais trabalhosa, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 149 apresentou espalhamento médio de 245,50 mm, quando acrescentado 0,50% da fibra P120, teve-se a diminuição no espalhamento em 3,26%, mas não se alterou sua classificação. Já para 1,36% incorporado teve-se diminuição de 8,35% e para 2,00% incorporado teve-se diminuição 10,39% e ambos mudaram a classificação para CT

Para o IDE 152, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, como esperado devido essa já ser a mais trabalhosa sem fibras, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 152 apresentou espalhamento médio de 207,50 mm, quando acrescentado 0,50 % da fibra P120, teve-se diminuição no espalhamento em 15,66%, para 1,36% incorporado teve-se diminuição de 18,07% em relação à referência e para 2,00% incorporado também teve-se diminuição em 18,07%.

Para o IDE 158, foi apresentada influência que mudasse sua classificação, também apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 158 apresentou espalhamento médio de 245,00 mm, quando acrescentado 0,50% da fibra P120, teve-se a diminuição no espalhamento em 5,10% e manteve-se

a mesma classificação em relação à referência, para 1,36% incorporado teve-se diminuição de 9,18% em relação à referência e mudança de classificação para CV, para 2,00% incorporado teve-se mudança na classificação para CV e obteve diminuição de espalhamento de 17,35%.

Para o IDE 163, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 163 apresentou espalhamento médio de 317,50 mm, quando acrescentado 0,50% da fibra P120, teve-se diminuição no espalhamento em 14,96%, para 1,36% incorporado teve-se diminuição de 7,87% em relação à referência, para 2,00% incorporado teve-se diminuição de espalhamento em 11,81%.

Para o IDE 174, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação, como esperado devido essa também ser a mais trabalhosa sem fibras, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 158 apresentou espalhamento médio de 202,50 mm, quando acrescentado 0,50% da fibra P120, teve-se diminuição no espalhamento em 11,11%, para 1,36% incorporado também teve diminuição de 9,88% em relação à referência e para 2,00% incorporado teve-se diminuição em 14,81%.

Por fim, para o IDE 177, não foi apresentada influência que mudasse sua classificação para mais trabalhosa, entretanto apresentou influência dentro da classificação. Como apresentado na Tabela 13, o IDE 177 apresentou espalhamento médio de 343,50 mm, quando acrescentado 0,50% da fibra P120, teve-se a diminuição do espalhamento em 18,37%, para 1,36% incorporado teve-se diminuição de 21,40%, para 2,00% incorporado teve-se diminuição em 21,40% também.

De forma geral, é possível observar que grande maioria dos resultados tiveram resultados semelhantes, que quanto maior o teor de fibras incorporado na matriz, menor a trabalhabilidade possui.

A diminuição da trabalhabilidade é esperado quando se aumenta o teor de fibras, autores como Mehta & Monteiro (2014) e GÓIS (2010), afirmam isto em seus estudos, apresentando fatores influentes no aumento da viscosidade, como tipo de fibra, aumento de concentração de volume de fibra, fator de forma, geometria, aderência das fibras, onde existe a tendência de que quanto mais longas as fibras forem com maior fator de forma, menos trabalhabilidade terá.

Khayat et al.(2019) afirmam que a diminuição na trabalhabilidade quando aumentado o teor de fibras na mistura, é resultado do aumento da tensão de escoamento entre os materiais cimentícios envolvidos na mistura, isto devido a diminuição da densidade de empacotamento e aumento do atrito entre as fibras e sua interação entre os agregados da mistura. Também, com este aumento de teor, torna-se mais complexo e difícil a distribuição uniforme das fibras ocasionando travamentos entre elas, tendo então que ser considerado um volume crítico de fibras para que não ocorra a diminuição da fluidez.

Khayat et al.(2019) continuam em seu estudo, que o tipo de fibra tem grande influência na trabalhabilidade, onde fibras rígidas tendem a aumentar a tensão de escoamento entre as partículas, e fibras flexíveis tendem a aumentar a viscosidade. Entre as fibras rígidas, fibras com ancoragem podem influenciar mais na viscosidade do que fibras retas, isto ocorre, pois, a extremidade deformada tem efeito coesivo e âncora. Já as fibras flexíveis podem influenciar devido a deformação das fibras e ocasionar emaranhados, também podem ocorrer o bloqueio do movimento das partículas devido ao aumento da viscosidade e cisalhamento por causa da flexibilidade das fibras.

Shimosaka (2017) e FIGUEIREDO (2011b), citam que a perda de trabalhabilidade que o concreto sofre devido ao acréscimo de fibras se dá também pelo acréscimo de superfície específica, aumentando a área de molhagem e então diminuindo a quantidade de água para fluidificar a mistura.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Estado do corpo de prova pós moldagens

Nesta etapa, é apresentado o estado dos corpos de prova após moldados e desformados. As ilustrações estão disponíveis nas Tabelas 37, 38, 39, 40, 41 e 42 no APÊNDICE B deste trabalho, onde se referem aos respectivos IDEs 149, 152, 158, 163, 174 e 177.

É possível afirmar que grande maioria das amostras foram prejudicadas em sua moldagem pois demonstram em sua superfície diversos vazios causados por diversos fatores como a trabalhabilidade do UHPC, pelo tipo e teor de fibra incorporado a mistura diminuindo a trabalhabilidade, pela falta de vibração etc.

É possível afirmar que estes fatores prejudicaram nos resultados de ensaios a compressão das amostras, diminuindo o potencial de resistência de cada mistura.

4.2.2 Ensaio de compressão axial

Nesta etapa, é apresentado os resultados dos ensaios de compressão axial realizados em cada mistura feita e analisada no estado reológico. Alguns problemas foram encontrados nos rompimentos de 28 dias, onde o equipamento para retificar os corpos de prova entrou em manutenção, não permitindo a realização do ensaio de grande maioria dos CPs aos 28 dias. Já aos 56 dias foram possíveis realizar os ensaios. Desta forma, será avaliado e comparado os resultados somente dos corpos de prova com 56 dias de cura.

Os resultados apresentados neste capítulo são focados no maior potencial de resistência à compressão de cada mistura, conforme apresenta a Tabela 25, a 30, os resultados completos estão disponíveis no APÊNDICE C NAS Tabelas 43 a 48.

Em seguida, é apresentado os resultados de potencial de compressão axial dos CPs moldados na Tabela 25, referente ao traço IDE 149 e a influência das fibras empregadas nesta.

Tabela 25 – Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 149

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK POTENCIAL 28 DIAS (MPa)	FCK POTENCIAL 56 DIAS (MPa)
	REFERÊNCIA	-	106,0	125,1
		1,00	107,40	111,9
	A61	2,00	111,2	119,4
		2,63	106,5	106,5
		1,00	-	123,3
	A31	2,50	-	127,5
		5,21	-	134,6
149		1,00	-	117,0
	A33	2,50	-	110,3
		4,88	-	102,5
		0,30	-	123,9
	V857	0,50	-	108,3
		1,36	-	109,3
		0,50	-	116,0
	P120	1,36	-	116,1
		2,00	-	111

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 25, foi possível analisar que para o IDE 149, foi apresentada influência das fibras e os teores incorporados nas resistências à compressão das amostras, onde para a fibra A61 teve uma diminuição da resistência em relação a referência de 10,55%, 4,56% e 14,87% para os teores de 1,00%, 2,00% e 2,63%.

Para a fibra A31, foi evidenciado influência na resistência, onde para o teor de 1,00% foi reduzido a resistência em 1,44%. Entretanto, para os teores de 2,50% e 5,21% foram identificados aumento na resistência em 1,92% e 7,59%.

Para a fibra A33, foi visto que diminuiu a resistência à compressão na incorporação dos teores de 1,00%, 2,50% e 4,88% em 6,47%, 11,83% e 18,06% respectivamente.

Também houve diminuição da resistência à compressão quando utilizada a fibra V857, onde para os teores de 0,30%, 0,61% e 1,36% obtiveram-se a diminuição em 0,96%, 13,46% e 12,63%.

Por fim, para a fibra P120 houve diminuição na incrementação dos teores de 0,50%, 1,36% e 2,00% em 7,27%, 7,19% e 11,27% respectivamente.

Em seguida, é apresentado os resultados de potencial de compressão axial dos CPs moldados na Tabela 26, referente ao traço IDE 152 e a influência das fibras empregadas nesta.

Tabela 26 - Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 152

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK POTENCIAL 28 DIAS (MPa)	FCK POTENCIAL 56 DIAS (MPa)
	REFERÊNCIA	-	103,3	116,5
152	A61	1,00	86,80	93,2
		2,00	103,6	115,1
		2,63	110,4	110,4
	A31	1,00	-	108,9
		2,50	-	110,2
		5,21	-	111,9
	A33	1,00	-	101,7
		2,50	-	96,3
		4,88	-	95,7
	V857	0,30	-	99,9
		0,50	-	110,2
		1,36	-	98,9
P120	0,50	-	105,4	
	1,36	-	99,2	
	2,00	-	96,8	

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 26, foi possível analisar que para o IDE 149, foi apresentada influência das fibras e os teores incorporados nas resistências à compressão das amostras, onde para a fibra A61 teve uma diminuição da resistência em relação a referência de 20,00%, 1,20% e 5,24% para os teores de 1,00%, 2,00% e 2,63%.

Para a fibra A31, foi evidenciado a diminuição na resistência, onde para o teor de 1,00% foi de 6,52%, para teor de 2,50% foi de 5,41% e para teor de 5,21% foi de 3,95%

Para a fibra A33, foi visto que diminuiu a resistência à compressão na incorporação dos teores de 1,00%, 2,50% e 4,88% em 12,70%, 17,34% e 17,85% respectivamente.

Também houve diminuição da resistência à compressão quando utilizada a fibra V857, onde para os teores de 0,30%, 0,61% e 1,36% obtiveram-se a diminuição em 14,24%, 5,41% e 15,11%.

Por fim, para a fibra P120 houve diminuição na incrementação dos teores de 0,50%, 1,36% e 2,00% em 9,53%, 14,85% e 16,91% respectivamente.

Em seguida, é apresentado os resultados de potencial de compressão axial dos CPs moldados na Tabela 27, referente ao traço IDE 158 e a influência das fibras empregadas nesta.

Tabela 27 - Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 158

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK POTENCIAL 28 DIAS (MPa)	FCK POTENCIAL 56 DIAS (MPa)
	REFERÊNCIA	-	116,5	123,7
158	A61	1,00	111,4	114,7
		2,00	103,9	118,5
		2,63	119,6	118,1
	A31	1,00	-	118,9
		2,50	-	120,7
		5,21	-	120,1
	A33	1,00	-	108,5
		2,50	-	115,2
		4,88	-	109,6
	V857	0,30	-	102,5
		0,50	-	119,6
		1,36	-	109,3
P120	0,50	-	121,9	
	1,36	-	118,6	
	2,00	-	109,1	

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 27, foi possível analisar que para o IDE 149, foi apresentada influência das fibras e os teores incorporados nas resistências à compressão das amostras, onde para a fibra A61 teve uma diminuição da resistência em relação a referência de 7,28%, 4,20% e 4,53% para os teores de 1,00%, 2,00% e 2,63%.

Para a fibra A31, foi evidenciado a diminuição na resistência, onde para o teor de 1,00% foi de 3,88%, para teor de 2,50% foi de 2,43% e para teor de 5,21% foi de 2,91%

Para a fibra A33, foi visto que diminuiu a resistência à compressão na incorporação dos teores de 1,00%, 2,50% e 4,88% em 12,29%, 6,87% e 11,39% respectivamente.

Também houve diminuição da resistência à compressão quando utilizada a fibra V857, onde para os teores de 0,30%, 0,61% e 1,36% obtiveram-se a diminuição em 17,13%, 3,31% e 11,64%.

Por fim, para a fibra P120 houve diminuição na incrementação dos teores de 0,50%, 1,36% e 2,00% em 1,46%, 4,15% e 11,84% respectivamente.

Em seguida, é apresentado os resultados de potencial de compressão axial dos CPs moldados na Tabela 28, referente ao traço IDE 163 e a influência das fibras empregadas nesta.

Tabela 28 - Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 163

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK POTENCIAL 28 DIAS (MPa)	FCK POTENCIAL 56 DIAS (MPa)
163	REFERÊNCIA	-	121,1	138,9
	A61	1,00	123,4	132,2
		2,00	121,7	132,7
		2,63	116,4	126,0
	A31	1,00	-	132,9
		2,50	-	131,8
		5,21	-	132,0
	A33	1,00	-	122,2
		2,50	-	126,4
		4,88	-	121,5
	V857	0,30	-	111,3
		0,50	-	121,8
		1,36	-	112,3
	P120	0,50	-	131,1
		1,36	-	121,1
		2,00	-	113,4

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 28, foi possível analisar que para o IDE 149, foi apresentada influência das fibras e os teores incorporados nas resistências à compressão das amostras, onde para a fibra A61 teve uma diminuição da resistência em relação a referência de 4,82%, 4,46% e 9,28% para os teores de 1,00%, 2,00% e 2,63%.

Para a fibra A31, foi evidenciado a diminuição na resistência, onde para o teor de 1,00% foi de 4,32%, para teor de 2,50% foi de 5,11% e para teor de 5,21% foi de 4,97%

Para a fibra A33, foi visto que diminuiu a resistência à compressão na incorporação dos teores de 1,00%, 2,50% e 4,88% em 12,03%, 9,04% e 12,56% respectivamente.

Também houve diminuição da resistência à compressão quando utilizada a fibra V857, onde para os teores de 0,30%, 0,61% e 1,36% obtiveram-se a diminuição em 19,87%, 12,31% e 19,15%.

Por fim, para a fibra P120 houve diminuição na incrementação dos teores de 0,50%, 1,36% e 2,00% em 5,62%, 12,82% e 18,39% respectivamente.

Em seguida, é apresentado os resultados de potencial de compressão axial dos CPs moldados na Tabela 29, referente ao traço IDE 174 e a influência das fibras empregadas nesta.

Tabela 29 - Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 174

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK POTENCIAL 28 DIAS (MPa)	FCK POTENCIAL 56 DIAS (MPa)
	REFERÊNCIA	-	96,7	101,2
174	A61	1,00	101,20	103,1
		2,00	94,40	96,0
		2,63	96,70	110,2
	A31	1,00	-	110,4
		2,50	-	100,9
		5,21	-	106,9
	A33	1,00	-	110,1
		2,50	-	99,0
		4,88	-	98,5
	V857	0,30	-	93,0
		0,50	-	104,1
		1,36	-	109,2
	P120	0,50	-	100,3
		1,36	-	97,1
		2,00	-	100,1

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 29, foi possível analisar que para o IDE 149, foi apresentada influência das fibras e os teores incorporados nas resistências à compressão das amostras, onde para a fibra A61 teve um aumento da resistência em relação a referência de 1,88% para o teor incorporado de 1,00%, para o teor de 2,00% houve diminuição na resistência em 5,13%, e para o teor de 2,63% novamente foi superior ao de referência em 8,89%.

Para a fibra A31, foi evidenciado que para o teor de 1,00% foi aumentada a resistência à compressão em 9,09%, para teor de 2,50% foi constatado a diminuição da resistência em 0,29% e para teor de 5,21% aumentou novamente a resistência em 5,63%.

Para a fibra A33, foi visto que para teor de 1,00% incorporado aumentou a resistência em 8,79%, entretanto para o acréscimo de teores de 2,50% e 4,88% houve diminuição na resistência em 2,17% e 2,67% respectivamente.

Para a fibra V857, foi identificado que para teor de 0,30% incorporado diminuiu a resistência em 8,10%, entretanto para o acréscimo de teores de 0,61% e 1,36% houve aumento na resistência em 2,87% e 7,91% respectivamente.

Por fim, para a fibra P120 houve diminuição na incrementação dos teores de 0,50%, 1,36% e 2,00% em 0,89%, 4,05% e 1,09% respectivamente.

Em seguida, é apresentado os resultados de potencial de compressão axial dos CPs moldados na Tabela 30, referente ao traço IDE 177 e a influência das fibras empregadas nesta.

Tabela 30 - Resultados de potencial no ensaio de compressão do IDE 177

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK POTENCIAL 28 DIAS (MPa)	FCK POTENCIAL 56 DIAS (MPa)
177	REFERÊNCIA	-	127,8	131,1
	A61	1,00	117,8	123,6
		2,00	112,1	106,3
		2,63	126,2	123,9
	A31	1,00	-	134,7
		2,50	-	130,7
		5,21	-	133,9
	A33	1,00	-	133,7
		2,50	-	122,1
		4,88	-	115,0
	V857	0,30	-	115,6
		0,50	-	122,2
		1,36	-	116,0
	P120	0,50	-	128,6
		1,36	-	109,1
		2,00	-	108,7

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 30, foi possível analisar que para o IDE 149, foi apresentada influência das fibras e os teores incorporados nas resistências à compressão das amostras, onde para a fibra A61 teve diminuição da resistência em relação a referência para os teores de 1,00%, 2,00% e 2,63% em 5,70%, 18,91% e 5,49% respectivamente.

Para a fibra A31, foi evidenciado que para o teor de 1,00% foi aumentada a resistência à compressão em 2,75%, para teor de 2,50% foi constatado a diminuição da resistência em 0,31% e para teor de 5,21% aumentou novamente a resistência em 2,14%.

Para a fibra A33, foi visto que para teor de 1,00% incorporado aumentou a resistência em 1,98%, entretanto para o acréscimo de teores de 2,50% e 4,88% houve diminuição na resistência em 6,86% e 12,28% respectivamente.

Para a fibra V857 foi identificado que teve diminuição na incorporação dos teores de 0,30%, 0,61% e 1,36% em 11,89%, 6,79% e 11,49% respectivamente.

Por fim, para a fibra P120 houve diminuição na incrementação dos teores de 0,50%, 1,36% e 2,00% em 1,91%, 16,78% e 17,08% respectivamente.

De forma geral, para as análises de resistência à compressão, foi observado que para todos os IDEs, a fibra que possuíram maiores resistências foram as fibras de metálicas A31. Também, é possível identificar que as fibras que possuíram menor desempenho foram as não metálicas, tanto a fibra vidro quanto a de PVA, identificadas como V857 e P120 respectivamente.

Para a análise de acordo com a classificação do espalhamento, é possível analisar que para os IDEs classificados como CA, as fibras que tiveram melhor desempenho na resistência à compressão foram as metálicas A61, em contra ponto, as que demonstraram piores resistências foram as fibras não metálicas.

Para os IDEs classificados como CV, as fibras que tiveram melhor desempenho na resistência à compressão foram as metálicas A61, em contra ponto, as que demonstraram piores resistências foram as fibras metálicas A33.

Para os IDEs classificados como CT, as fibras que tiveram melhor desempenho na resistência à compressão foram as metálicas A61, em contra ponto, as que demonstraram piores resistências foram as fibras A33 e P120.

5 CONCLUSÃO

O estudo teve como objetivo analisar o comportamento do ultra high performance concrete (UHPC), no estado fresco e endurecido, analisando na trabalhabilidade e na resistência à compressão axial, a influência de diferentes traços, com incorporação de diferentes fibras, com diferentes teores. Desta forma, as seguintes conclusões foram obtidas:

- a) Diferentes tipos de traços, quando utilizados os mesmos materiais, apresentam consistências de misturas diferentes. Tende-se que, para mais trabalhabilidade, mais finos a mistura precisa ter. Logo, para misturas menos trabalhosas, se teve maior teor de agregado miúdo;
- b) A incorporação de fibras, independente da mistura e da fibra, tende a influenciar a diminuição da trabalhabilidade, isto proporcional ao aumento de teores acrescentados, ou seja, quanto mais fibras na mistura, menos trabalhosa mostrou ser a consistência do UHPC;
- c) A incorporação de fibras metálicas, em comparação com as fibras não metálicas, obteve resultados melhores de resistência à compressão, principalmente as fibras com menor geometria;
- d) Os resultados das resistências à compressão obtidos não chegaram ao que preconiza as normas que classificam o UHPC, em no mínimo 150 MPa. Entretanto, a realização dos ensaios de 28 a 56 dias de cura apresentam aumento de resistência ao longo do tempo, onde desta forma acredita-se que com maior tempo de cura pode-se chegar ao mínimo exigido.
- e) A moldagem influenciou nos resultados de compressão, onde ficou evidente a falta de vibração das misturas onde diversas vezes, foram evidenciados vazios na superfície dos corpos de prova;

Desta forma, é possível afirmar que os objetivos propostos para este estudo foram atingidos, apresentando resultados que evidenciam a influência dos materiais constituintes, bem como a organização deles, acréscimo de fibras e seus teores tendem a mudar a reologia do UHPC.

Para trabalhos futuros, é possível encontrar uma equação que formule e correlacione os parâmetros e variáveis que existem na confecção do UHPC com fibras, para determinar em que classe de consistência será trabalhada;

Também, é possível aumentar a quantidade de fibras a serem analisadas, identificando maiores variáveis para o estudo.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **ACI 544.3-08**: Guide for specifying, proportioning, and production of fiber – reinforced concrete. Farmington Hills, 2008.
- _____. **ACI 239R-18**: Ultra-High Performance Concrete: An Emerging Technology Report. Farmington Hills, 2018.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING SNF MSTRRIALS (ASTM). **ASTM A820/A820M-16**: Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete. West Conshohocken, 2016.
- _____. **ASTM C230/C230M-21**: Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement. West Conshohocken, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. **NBR 5739**: *Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2018.
- _____. **NBR 5739**: *Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2018.
- _____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2022.
- _____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. **NBR 16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.
- _____. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.
- _____. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.
- AFNOR. (2016). *NF P18-470 - Bétons - Bétons fibrés à ultra hautes performances - Spécification, performance, production et conformité*.
- AÏTCIN, P.-C. (1998). *High performance concrete*.
- Akhnoukh, A. K., & Buckhalter, C. (2021). Ultra-high-performance concrete:

- Constituents, mechanical properties, applications and current challenges. *Case Studies in Construction Materials*.
- ALMEIDA, A. F. D. (2015). *FORMULAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UHPC REFORÇADO COM FIBRAS NÃO METÁLICAS*. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Arain, M. F., Wang, M., Chen, J., & Zhang, H. (2019). Study on PVA fiber surface modification for strain-hardening cementitious composites (PVA-SHCC). *Construction and Building Materials*.
- ARIF, M. A. (2014). *Avaliação da medida de tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço*.
- Arora, A., Aguayo, M., Hansen, H., Castro, C., Federspiel, E., Mobasher, B., & Neithalath, N. (2018). Cement and Concrete Research Microstructural packing- and rheology-based binder selection and characterization for Ultra-high Performance Concrete (UHPC). *Cement and Concrete Research*.
- AVESTON, J., COOPER, G. A., & KELLY, A. (1971). Single and multiple fracture. *Conference on the Properties of Fiber Composites*.
- Bastos, P. S. dos S. (2006). Fundamentos - Elementos Estruturais concreto. *Notas de Aula, 1*, 89.
- BENTUR, A.; MINDESS, S. (2007). Fibre reinforced cementitious composites. . . 2nd. Edition, *Modern Concrete Technology Series, Taylor&Francis,*.
- Bernardi, S. T. (2003). *Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibra de aramida kevlar*. 164.
- BONEN, D. ., & SARKAR, S. L. (1995). *The superplasticizer adsorption capacity of cement pastes, pore solution composition, and parameters affecting flow loss*.
- BRESCOVIT, S. J. (2021). *AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE CONCRETOS TÊXTEIS COM UTILIZAÇÃO DE TELAS DE FIBRAS DE VIDRO RESISTENTES AOS ÁLCALIS DO CIMENTO*.
- BRUNAUER, S., & COPELAND, L. . (1964). A química do concreto. *Scientific American, 210*(4), 80–93.
- CARDOSO, S. G. (2009). *ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DOS MECANISMOS DE FRATURA DE FIBRAS SINTÉTICAS DO TIPO NÁILON E POLIÉSTER EM TECIDOS DE ENGENHARIA*.
- Castro, A. L. De, Liborio, J. B. L., & Pandolfelli, V. C. (2011). *Reologia de concretos de alto desempenho aplicados na construção civil - Revisão (Review article :*

- Rheology of high performance concretes applied in building site*). 57, 63–75.
- CHOI, M. S., LEE, J. S., Seong, K., Koh, K., & Hee, S. (2016). Estimation of rheological properties of UHPC using mini slump test. *Construction and Building Materials*.
- Christ, R. (2019). PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO DE DOSAGEM PARA CONCRETOS DE ULTRA ALTO DESEMPENHO (UHPC) [Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos]. In *Tese de Doutorado* (Vol. 1, Issue 1).
- DE LARRARD, F. . S. (2002). *Mixture-proportioning of high-performance concrete*. (pp. 1699–1704). Cement and Concrete Research.
- DIAS, R. P. (2019). *ANÁLISE DOS MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE ESFORÇOS DE CISALHAMENTO EM PEÇAS DE CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL E REFORÇADAS COM FIBRAS DE AÇO E PVA* (Vol. 45, Issue 45). UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ COECI.
- Ehrenbring, H. Z. (2017). Comportamento de Concretos Reforçados com Microfibras de Polipropileno (PP), Álcool Polivinílico (PVA) e Recicladas de Poliéster (POL) em Relação á Retração Por Secagem Restringida e às Propriedades Mecânicas. *Universidade Do Vale Do Rio Dos Sinos - Unidade Acadêmica de Pesquisa e Pós-Graduação - Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Civil*, 6, 5–9.
- Ehrenbring, H. Z. (2020). *DESENVOLVIMENTO DE ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITES (ECC) AUTOCICATRIZANTES COM DIFERENTES FIBRAS POLIMÉRICAS E AGENTES DE CICATRIZAÇÃO* [Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos].
- EN 14889-2. (2006). *Fibres for concrete - Part 2: Polymer fibres - Definitions, specifications and conformity*.
- Fabro, F., Gava, G., & Grigoli, H. (2011). Influence of fine agregattes particle shape in concrete performance. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 4(2), 191–212.
- FEHLING, Ekkehard; BUNJE, Kai; LEUTBECHER, T. (2004). Design relevant properties of hardened Ultra High Performance Concrete. *Ed.)INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ULTRA HIGH PERFORMANCE*.
- Ferrara, L., Cremonesi, M., Tregger, N., Frangi, A., & Shah, S. P. (2012). On the identification of rheological properties of cement suspensions: Rheometry, Computational Fluid Dynamics modeling and field test measurements. *Cement and Concrete Research*, 42(8), 1134–1146.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.05.007>

- Figueiredo, A. D. (2011). *Concreto com fibras*. January 2011.
- FIGUEIREDO, A. D. (2011a). *Concreto reforçado com fibra* [Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.]. <https://doi.org/10.4322/2526-7248.053>
- FIGUEIREDO, A. D. (2011b). *Concreto reforçado com fibras*.
- FUNK, J. E., & DINGER, D. R. (2013). *Predictive Process Control of Crowded Particulate Suspensions*.
- Garcez, E. O. (2005). *Análise Teórico-Experimental do Comportamento de Concretos Reforçados com Fibras de Aço Submetidos a Cargas de Impactos*. 113.
- Giese, A. C. H. (2019). *Utilização de Argamassa Reforçada com Têxtil de Fibra de Vidro Álcali Resistentes* [Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS]. <https://doi.org/10.1590/s0102-33061996000200017>
- GÓIS, F. A. P. (2010). AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE CONCRETO FLUIDO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO: INFLUÊNCIA DO FATOR DE FORMA E DA FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DAS FIBRAS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- GUETTI, P. D. C. (2012). *Contribuição Ao Estudo Das Propriedades Mecânicas Do Concreto Autoadensável E Do Concreto Autoadensável Reforçado Com Fibras De Aço*. 395. <http://www.pos.dees.ufmg.br/defesas/420D.PDF>
- Helene, P., & Andrade, T. (2017). Concreto de Cimento Portland - Materiais de Construção Civil e Princípios de ciência e Engenharia Civil dos Materiais - Volume 2. In G. C. Isaia (Ed.), *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais* (3° Ed). IBRACON.
- HU, C. ., & De LARRARD, F. (1996). *The rheology of fresh high-performance concrete*. Cement and Concrete Research.
- JSCE-SF4. (1984). *JAPANESE SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - STEEL FIBER 4 - METHOD OF TEST FOR FLEXURAL STRENGTH AND FLEXURAL TOUGHNESS*.
- Khalil, W. I. (2013). Flexural Strength of Fibrous Ultra High Performance. *APRN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(3), 200–214. www.arpnjournals.com
- Khayat, K. H., Meng, W., Vallurupalli, K., & Teng, L. (2019). Rheological properties of ultra-high-performance concrete — An overview. *Cement and Concrete Research*, 2019

- Koumoulentzos, A. A., Américo, J., & Salvador, A. (2020). *INFLUÊNCIA DO REFORÇO DE FIBRAS DE AÇO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE MATRIZ CIMENTÍCIA DE ULTRA-ALTO DESEMPENHO*.
- Lei Voo, Y., & Foster, S. J. (2010). Characteristics of ultra-high performance “ductile” concrete and its impact on sustainable construction. *IES Journal Part A: Civil and Structural Engineering*, 2010
- Lerch, J. O., Bester, H. L., Van Rooyen, A. S., Combrinck, R., de Villiers, W. I., & Boshoff, W. P. (2018). The effect of mixing on the performance of macro synthetic fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, 103, 2017
- MACCAFERRI. (2009). *Manual de Fibras - Manual Técnico*.
- Martinie, L., Rossi, P., & Roussel, N. (2010). Cement and Concrete Research Rheology of fiber reinforced cementitious materials: classification and prediction. *Cement and Concrete Research*, 2010
- Mehta, K. P., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais* (2° edição). IBRACON.
- Meng, W., & Khayat, K. H. (2018). Effect of graphite nanoplatelets and carbon nanofibers on rheology, hydration, shrinkage, mechanical properties, and microstructure of UHPC. *Cement and Concrete Research*,
- NAAMAN, A. E. (2008). Development and evolution of tensile strain-hardening FRC composites. In: *Fiber Reinforced Concrete: Design and Applications, Proceedings of International Symposium, BEFIB.*, 1-28.
- NEVILE, A. M. (2013). *Tecnologia do concreto*. Bookman Editora.
- Oliveira, C. O. E. (2019). *Estudo numérico e experimental da distribuição das fibras de aço em vigas de UHPFRC*.
- Pereira, E. V. (2017). Influência de Fibras de Aço no Comportamento Mecânico e nos Mecanismos de Fissuração de Concretos Autoadensáveis. In *Rio de Janeiro*.
- Peruzzi, A. de P. (2002). *Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento Portland modificada com látex e adição de sílica ativa*. 96.
- Quinino, U. C. de M. (2015). Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adições híbridas de fibras. In *Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre*.
- REIS, J. F. A. (2008). *Determinação de Parâmetros Reológicos de Concretos Através do Ensaio de Abatimento de Tronco de Cone Modificado: Estudo de Caso . ”*.

Faculdade de Engenharia - UNESP.

- Resplendino, J. (2006). *Les Bétons Fibrés Ultra Performants BFUP - Perspectives offertes vis-à-vis de la pérennité et la maintenance des ouvrages*. 65.
- Romano, R. C. ., CARDOSO, F. A., & Pileggi, R. G. (2008). Propriedades do Concreto no Estado Fresco. *Livro Concreto: Ciência e Tecnologia*, 1–11.
- Roussel, N. (2012). *Understading the rheology of concrete*.
- Ryu, G., Kang, S., Park, J., Koh, K., & Kim, S. (2011). *Mechanical Behavior of UHPC (Ultra High Performance Concrete) according to Hybrid use of Steel Fibers*.
- Sadrmomtazi, A., Tajasosi, S., & Tahmouresi, B. (2018). Effect of materials proportion on rheology and mechanical strength and microstructure of ultra-high performance concrete (UHPC). *Construction and Building Materials*.
- Salvador, R. P. (2013). *Análise comparativa de comportamento mecânico de concreto reforçado com macrofibra polimérica e com fibra de aço*. Universidade de São Paulo.
- Shafieifar, M., Farzad, M., & Azizinamini, A. (2017). Experimental and numerical study on mechanical properties of Ultra High Performance Concrete (UHPC). *Construction and Building Materials*.
- Shimosaka, T. J. (2017). Influência do teor de diferentes tipos de fibras de aço em concretos autoadensáveis. *Universidade Tecnológica Federal Do Paraná*, 123.
- Silva, R. V. da. (2003). Introduction. In *Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais*. Universidade de São Paulo - USP.
- SOBRAL, H. S. (2000). Propriedades do Concreto Fresco. *Associação Brasileira de Cimento Portland*, 32.
- Su, Y., Li, J., Wu, C., Wu, P., & Li, Z. (2016). *Effects of steel fibres on dynamic strength of UHPC*. 114, 708–718. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.007>
- TANNER, R. I. (1988). *Engineering rheology* (p. 451p). New York: Oxford University,.
- TATTERSALL, G. H. ., & BANFILL, P. F. G. (1983). *The rheology of fresh concrete* (p. 347p). Pitman.
- Torregrosa, E. C. (2013). *Dosage optimization and bolted connections for UHPFRC ties*.
- Tutikian, B. F. (2007). Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis. *Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 0–162.
- Tutikian, B. F., Isaia, G. C., & Helene, P. (2011). *Concreto de Alto e Ultra-Alto*

Desempenho. 1990.

VELASCO, R. V. (2008). *CONCRETOS AUTO-ADENSÁVEIS REFORÇADOS COM ELEVADAS FRAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE FIBRAS DE AÇO: PROPRIEDADES REOLÓGICAS, FÍSICAS, MECÂNICAS E TÉRMICAS.*

WATANABE, K., ISHIKAWA, M., & WAKAMATSU, M. (1989). *Rheology of castable refractories.*

Wu, Z., Khayat, K. H., & Shi, C. (2019). Changes in rheology and mechanical properties of ultra-high performance concrete with silica fume content. *Cement and Concrete Research.*

APÊNDICE A

Tabela 31 – Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 149

IDE 149		
		
REFERÊNCIA		
		
A61 - 1,00%	A61 - 2,00%	A61 - 2,63%
		
A31 - 1,00%	A31 - 2,50%	A31 - 5,21%
		
A33 - 1,00%	A33 - 2,50%	A33 - 4,88%
		
V857 - 0,30%	V857 - 0,61%	V857 - 1,36%
		
P120 - 0,50%	P120 - 1,36%	P120 - 2,00%

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 32 - Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 152

IDE 152		
		
REFERÊNCIA		
		
A61 - 1,00%	A61 - 2,00%	A61 - 2,63%
		
A31 - 1,00%	A31 - 2,50%	A31 - 5,21
		
A33 - 1,00%	A33 - 2,50%	A33 - 4,88%
		
V857 - 0,30%	V857 - 0,61%	V857 - 1,36%
		
P120 - 0,50%	P120 - 1,36%	P120 - 2,00%

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 33 - Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 158

IDE 158		
		
REFERÊNCIA		
		
A61 - 1,00%	A61 - 2,00%	A61 - 2,63%
		
A31 - 1,00%	A31 - 2,50%	A31 - 5,21
		
A33 - 1,00%	A33 - 2,50%	A33 - 4,88%
		
V857 - 0,30%	V857 - 0,61%	V857 - 1,36%
		
P120 - 0,50%	P120 - 1,36%	P120 - 2,00%

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 34 - Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 163

IDE 163		
		
REFERÊNCIA		
		
A61 - 1,00%	A61 - 2,00%	A61 - 2,63%
		
A31 - 1,00%	A31 - 2,50%	A31 - 5,21%
		
A33 - 1,00%	A33 - 2,50%	A33 - 4,88%
		
V857 - 0,30%	V857 - 0,61%	V857 - 1,36%
		
P120 - 0,50%	P120 - 1,36%	P120 - 2,00%

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 35 - Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 174

IDE 174		
		
REFERÊNCIA		
		
A61 - 1,00%	A61 - 2,00%	A61 - 2,63%
		
A31 - 1,00%	A31 - 2,50%	A31 - 5,21
		
A33 - 1,00%	A33 - 2,50%	A33 - 4,88%
		
V857 - 0,30%	V857 - 0,61%	V857 - 1,36%
		
P120 - 0,50%	P120 - 1,36%	P120 - 2,00%

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 36 - Análise visual do ensaio de espalhamento do traço IDE 177

IDE 177		
		
REFERÊNCIA		
		
A61 - 1,00%	A61 - 2,00%	A61 - 2,63%
		
A31 - 1,00%	A31 - 2,50%	A31 - 5,21%
		
A33 - 1,00%	A33 - 2,50%	A33 - 4,88%
		
V857 - 0,30%	V857 - 0,61%	V857 - 1,36%
		
P120 - 0,50%	P120 - 1,36%	P120 - 2,00%

Fonte: Elaborada pelo autor

APÊNDICE B

Tabela 37 – Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 149

<p>IDE 149</p> 		
<p>REFERÊNCIA</p>		
 <p>A61 - 1,00%</p>	 <p>A61 - 2,00%</p>	 <p>A61 - 2,63%</p>
 <p>A31 - 1,00%</p>	 <p>A31 - 2,50%</p>	 <p>A31 - 5,21%</p>
 <p>A33 - 1,00%</p>	 <p>A33 - 2,50%</p>	 <p>A33 - 4,88%</p>
 <p>V857 - 0,30%</p>	 <p>V857 - 0,61%</p>	 <p>V857 - 1,36%</p>
 <p>P120 - 0,50%</p>	 <p>P120 - 1,36%</p>	 <p>P120 - 2,00%</p>

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 38 - Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 152

<p>IDE 152</p> 		
<p>REFERÊNCIA</p>		
 <p style="text-align: center;">A61 - 1,00%</p>	 <p style="text-align: center;">A61 - 2,00%</p>	 <p style="text-align: center;">A61 - 2,63%</p>
 <p style="text-align: center;">A31 - 1,00%</p>	 <p style="text-align: center;">A31 - 2,50%</p>	 <p style="text-align: center;">A31 - 5,21</p>
 <p style="text-align: center;">A33 - 1,00%</p>	 <p style="text-align: center;">A33 - 2,50%</p>	 <p style="text-align: center;">A33 - 4,88%</p>
 <p style="text-align: center;">V857 - 0,30%</p>	 <p style="text-align: center;">V857 - 0,61%</p>	 <p style="text-align: center;">V857 - 1,36%</p>
 <p style="text-align: center;">P120 - 0,50%</p>	 <p style="text-align: center;">P120 - 1,36%</p>	 <p style="text-align: center;">P120 - 2,00%</p>

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 39 - Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 158

IDE 158		
		
REFERÊNCIA		
		
A61 - 1,00%	A61 - 2,00%	A61 - 2,63%
		
A31 - 1,00%	A31 - 2,50%	A31 - 5,21
		
A33 - 1,00%	A33 - 2,50%	A33 - 4,88%
		
V857 - 0,30%	V857 - 0,61%	V857 - 1,36%
		
P120 - 0,50%	P120 - 1,36%	P120 - 2,00%

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 40 - Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 163

IDE 163		
		
REFERÊNCIA		
		
A61 - 1,00%	A61 - 2,00%	A61 - 2,63%
		
A31 - 1,00%	A31 - 2,50%	A31 - 5,21
		
A33 - 1,00%	A33 - 2,50%	A33 - 4,88%
		
V857 - 0,30%	V857 - 0,61%	V857 - 1,36%
		
P120 - 0,50%	P120 - 1,36%	P120 - 2,00%

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 41 - Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 174

IDE 174		
		
REFERÊNCIA		
		
A61 - 1,00%	A61 - 2,00%	A61 - 2,63%
		
A31 - 1,00%	A31 - 2,50%	A31 - 5,21
		
A33 - 1,00%	A33 - 2,50%	A33 - 4,88%
		
V857 - 0,30%	V857 - 0,61%	V857 - 1,36%
		
P120 - 0,50%	P120 - 1,36%	P120 - 2,00%

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 42 - Análise visual dos CPs após a desforma do traço IDE 177

IDE 177		
		
REFERÊNCIA		
		
A61 - 1,00%	A61 - 2,00%	A61 - 2,63%
		
A31 - 1,00%	A31 - 2,50%	A31 - 5,21
		
A33 - 1,00%	A33 - 2,50%	A33 - 4,88%
		
V857 - 0,30%	V857 - 0,61%	V857 - 1,36%
		
P120 - 0,50%	P120 - 1,36%	P120 - 2,00%

Fonte: Elaborada pelo autor

APÊNDICE C

Tabela 43 – Resultados do ensaio de compressão do IDE 149

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK 28 DIAS (MPa)			FCK 56 DIAS (MPa)		
149	REFERÊNCIA	-	106,0	94,3	100,5	125,1	11,3	118,6
		1,00	105,8	107,4	102,1	111,9	105,6	77,0
	A61	2,00	111,2	103,1	104,5	98,1	119,4	118,9
		2,63	106,5	103,7	104,0	106,5	103,7	104,0
	A31	1,00	-	-	-	123,3	123,2	111,9
		2,50	-	-	-	123,4	126,8	127,5
		5,21	-	-	-	127,7	134,6	132,3
	A33	1,00	-	-	-	117,0	113,3	113,9
		2,50	-	-	-	102,8	104,1	110,3
		4,88	-	-	-	102,5	98,6	90,3
	V857	0,30	-	-	-	123,9	112,7	112,1
		0,50	-	-	-	108,3	108,2	105,0
		1,36	-	-	-	103,1	102,4	109,3
	P120	0,50	-	-	-	116,0	113,0	115,5
		1,36	-	-	-	115,5	114,5	116,1
		2,00	-	-	-	109,6	110,8	111,0

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 44 - Resultados do ensaio de compressão do IDE 152

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK 28 DIAS (MPa)			FCK 56 DIAS (MPa)		
152	REFERÊNCIA	-	*	103,1	103,3	102,6	87,2	116,5
		1,00	75,9	86,8	77,7	93,2	81,7	73,7
	A61	2,00	98,3	103,6	101,3	115,1	96,0	93,2
		2,63	110,4	101,9	108,3	110,4	101,9	108,3
	A31	1,00	-	-	-	107,7	108,9	107,9
		2,50	-	-	-	108,9	89,0	110,2
		5,21	-	-	-	111,9	105,9	108,0
	A33	1,00	-	-	-	101,7	98,3	100,6
		2,50	-	-	-	95,9	95,7	96,3
		4,88	-	-	-	95,7	94,9	89,9
	V857	0,30	-	-	-	90,1	99,9	89,2
		0,50	-	-	-	99,9	103,0	110,2
		1,36	-	-	-	89,2	98,9	94,7
	P120	0,50	-	-	-	75,3	105,4	102,4
		1,36	-	-	-	96,9	98,9	99,2
		2,00	-	-	-	96,8	94,8	82,6

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 45 - Resultados do ensaio de compressão do IDE 158

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK 28 DIAS (MPa)			FCK 56 DIAS (MPa)		
158	REFERÊNCIA	-	111,9	108,3	116,5	83,1	37,5	123,7
	A61	1,00	111,4	97,8	106,2	105,2	114,7	103,2
		2,00	103,3	99,9	103,9	118,5	116,0	113,8
		2,63	119,6	101,4	93,6	112,9	111,7	118,1
		1,00	-	-	-	118,9	116,3	114,3
	A31	2,50	-	-	-	113,9	112,2	120,7
		5,21	-	-	-	120,1	95,7	98,9
		1,00	-	-	-	81,4	99,3	108,5
	A33	2,50	-	-	-	109,3	115,2	110,6
		4,88	-	-	-	100,8	107,5	109,6
		0,30	-	-	-	95,5	102,5	98,9
	V857	0,50	-	-	-	119,6	106,8	105,9
		1,36	-	-	-	109,3	99,2	98,7
		0,50	-	-	-	120,4	118,5	121,9
	P120	1,36	-	-	-	113,4	117,0	118,6
		2,00	-	-	-	109,1	106,9	101,4

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 46 - Resultados do ensaio de compressão do IDE 163

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK 28 DIAS (MPa)			FCK 56 DIAS (MPa)		
163	REFERÊNCIA	-	121,1	104,6	97,1	136,0	138,9	129,6
	A61	1,00	92,6	112,9	123,4	131,2	122,4	132,2
		2,00	121,7	106,7	110,0	132,7	131,3	131,8
		2,63	103,4	116,4	108,7	124,2	121,3	126,0
		1,00	-	-	-	119,4	132,9	118,6
	A31	2,50	-	-	-	131,8	127,4	124,3
		5,21	-	-	-	126,0	122,0	132,0
		1,00	-	-	-	122,2	0,0	0,0
	A33	2,50	-	-	-	119,6	126,4	117,5
		4,88	-	-	-	115,3	119,0	121,5
		0,30	-	-	-	111,3	110,3	96,8
	V857	0,50	-	-	-	99,1	121,8	106,8
		1,36	-	-	-	98,7	112,3	104,1
		0,50	-	-	-	131,1	120,4	106,2
	P120	1,36	-	-	-	118,9	91,7	121,1
		2,00	-	-	-	113,4	64,9	0,0

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 47 - Resultados do ensaio de compressão do IDE 174

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK 28 DIAS (MPa)			FCK 56 DIAS (MPa)		
174	REFERÊNCIA	-	*	96,7	90,5	99,1	29,8	101,2
	A61	1,00	101,2	98,9	93,6	102,6	103,1	98,8
		2,00	87,4	84,8	94,4	93,0	96,0	94,6
		2,63	95,1	96,7	89,5	100,6	100,9	110,2
		1,00	-			101,9	104,2	110,4
	A31	2,50	-			90,5	100,9	93,9
		5,21	-			106,9	95,1	105,5
		1,00	-			94,8	80,0	110,1
	A33	2,50	-			99,0	91,7	52,9
		4,88	-			97,6	81,6	98,5
		0,30	-			89,7	74,5	93,0
	V857	0,50	-			98,8	100,6	104,1
		1,36	-			93,2	106,7	109,2
		0,50	-			100,3	97,3	68,0
	P120	1,36	-			84,5	97,1	88,4
		2,00	-			81,8	100,1	95,2

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 48 - Resultados do ensaio de compressão do IDE 177

IDE	FIBRA	TEOR DE FIBRAS (%)	FCK 28 DIAS (MPa)			FCK 56 DIAS (MPa)		
177	REFERÊNCIA	-	115,7	127,8	124,8	124,3	131,1	101,9
	A61	1,00	117,8	87,2	113,9	123,6	108,0	102,7
		2,00	112,1	106,6	104,4	90,2	100,5	106,3
		2,63	110,3	126,2	107,0	87,5	108,8	123,9
		1,00	-			124,4	134,7	131,4
	A31	2,50	-			127,6	108,3	130,7
		5,21	-			131,6	124,1	133,9
		1,00	-			79,1	133,7	126,8
	A33	2,50	-			111,3	122,1	106,9
		4,88	-			109,3	115,0	95,4
		0,30	-			115,6	100,1	105,0
	V857	0,50	-			122,2	120,4	121,0
		1,36	-			116,0	114,1	111,2
		0,50	-			122,2	128,6	110,7
	P120	1,36	-			109,1	100,0	100,1
		2,00	-			99,8	108,7	107,3

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE D

Tabela 49 - Resultados e classificação do traço IDE 149 com todas as fibras

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO
IDE 149 - REF.	245,50	CV
IDE 149 - A61 - 1,00%	249,00	CV
IDE 149 - A61 - 2,00%	265,00	CV
IDE 149 - A61 - 2,63%	260,00	CV
IDE 149 - A31 - 1,00%	202,50	CT
IDE 149 - A31 - 2,50%	217,50	CT
IDE 149 - A31 - 5,21%	202,50	CT
IDE 149 - A33 - 1,00%	240,00	CV
IDE 149 - A33 - 2,50%	225,00	CT
IDE 149 - A33 - 4,88%	225,00	CT
IDE 149 - V266 - 0,30%	230,00	CV
IDE 149 - V266 - 0,61%	227,50	CT
IDE 149 - V266 - 1,36%	220,00	CT
IDE 149 - P166 - 0,50%	237,50	CV
IDE 149 - P166 - 1,36%	225,00	CT
IDE 149 - P166 - 2,00%	220,00	CT

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 50 - Resultados e classificação do traço IDE 152 com todas as fibras

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO
IDE 152 - REF.	207,50	CT
IDE 152 - A61 - 1,00%	175,00	CT
IDE 152 - A61 - 2,00%	185,00	CT
IDE 152 - A61 - 2,63%	162,50	CT
IDE 152 - A31 - 1,00%	200,00	CT
IDE 152 - A31 - 2,50%	195,00	CT
IDE 152 - A31 - 5,21%	180,00	CT
IDE 152 - A33 - 1,00%	190,00	CT
IDE 152 - A33 - 2,50%	170,00	CT
IDE 152 - A33 - 4,88%	192,50	CT
IDE 152 - V266 - 0,30%	170,00	CT
IDE 152 - V266 - 0,61%	167,50	CT
IDE 152 - V266 - 1,36%	160,00	CT
IDE 152 - P166 - 0,50%	175,00	CT
IDE 152 - P166 - 1,36%	170,00	CT
IDE 152 - P166 - 2,00%	170,00	CT

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 51 - Resultados e classificação do traço IDE 158 com todas as fibras

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO
IDE 158 - REF.	245,00	CV
IDE 158 - A61 - 1,00%	240,00	CV
IDE 158 - A61 - 2,00%	235,00	CV
IDE 158 - A61 - 2,63%	197,50	CT
IDE 158 - A31 - 1,00%	247,50	CV
IDE 158 - A31 - 2,50%	227,50	CT
IDE 158 - A31 - 5,21%	227,50	CT
IDE 158 - A33 - 1,00%	247,50	CV
IDE 158 - A33 - 2,50%	235,00	CV
IDE 158 - A33 - 4,88%	230,00	CV
IDE 158 - V266 - 0,30%	232,50	CV
IDE 158 - V266 - 0,61%	227,50	CT
IDE 158 - V266 - 1,36%	177,50	CT
IDE 158 - P166 - 0,50%	232,50	CV
IDE 158 - P166 - 1,36%	222,50	CT
IDE 158 - P166 - 2,00%	202,50	CT

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 52 - Resultados e classificação do traço IDE 163 com todas as fibras

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO
IDE 163 - REF.	317,50	CA
IDE 163 - A61 - 1,00%	250,00	CV
IDE 163 - A61 - 2,00%	227,50	CT
IDE 163 - A61 - 2,63%	260,00	CV
IDE 163 - A31 - 1,00%	250,00	CV
IDE 163 - A31 - 2,50%	285,00	CA
IDE 163 - A31 - 5,21%	285,00	CA
IDE 163 - A33 - 1,00%	267,50	CV
IDE 163 - A33 - 2,50%	257,50	CV
IDE 163 - A33 - 4,88%	280,00	CA
IDE 163 - V266 - 0,30%	270,00	CA
IDE 163 - V266 - 0,61%	307,50	CA
IDE 163 - V266 - 1,36%	297,50	CA
IDE 163 - P166 - 0,50%	270,00	CA
IDE 163 - P166 - 1,36%	292,50	CA
IDE 163 - P166 - 2,00%	280,00	CA

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 53 - Resultados e classificação do traço IDE 174 com todas as fibras

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO
IDE 174 - REF.	202,50	CT
IDE 174 - A61 - 1,00%	170,00	CT
IDE 174 - A61 - 2,00%	170,00	CT
IDE 174 - A61 - 2,63%	150,00	CT
IDE 174 - A31 - 1,00%	197,50	CT
IDE 174 - A31 - 2,50%	190,00	CT
IDE 174 - A31 - 5,21%	175,00	CT
IDE 174 - A33 - 1,00%	187,50	CT
IDE 174 - A33 - 2,50%	200,00	CT
IDE 174 - A33 - 4,88%	160,00	CT
IDE 174 - V266 - 0,30%	182,50	CT
IDE 174 - V266 - 0,61%	157,50	CT
IDE 174 - V266 - 1,36%	150,00	CT
IDE 174 - P166 - 0,50%	180,00	CT
IDE 174 - P166 - 1,36%	182,50	CT
IDE 174 - P166 - 2,00%	172,50	CT

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 54 - Resultados e classificação do traço IDE 177 com todas as fibras

TRAÇO	ESPALHAMENTO MÉDIA (mm)	CLASSIFICAÇÃO
IDE 177 - REF.	343,50	CA
IDE 177 - A61 - 1,00%	287,50	CA
IDE 177 - A61 - 2,00%	290,00	CA
IDE 177 - A61 - 2,63%	292,50	CA
IDE 177 - A31 - 1,00%	267,50	CV
IDE 177 - A31 - 2,50%	287,50	CA
IDE 177 - A31 - 5,21%	267,50	CV
IDE 177 - A33 - 1,00%	300,00	CA
IDE 177 - A33 - 2,50%	290,00	CA
IDE 177 - A33 - 4,88%	290,00	CA
IDE 177 - V266 - 0,30%	270,00	CA
IDE 177 - V266 - 0,61%	280,00	CA
IDE 177 - V266 - 1,36%	247,50	CV
IDE 177 - P166 - 0,50%	280,00	CA
IDE 177 - P166 - 1,36%	270,00	CA
IDE 177 - P166 - 2,00%	270,00	CA

Fonte: Elaborado pelo autor