



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO
COM ADIÇÃO DE DIFERENTES TEORES E COMPRIMENTOS DE
FIBRAS DE PET RECICLADO**

Jenifer Tais de Souza

Lajeado/RS, julho de 2021

Jenifer Tais de Souza

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO
COM ADIÇÃO DE DIFERENTES TEORES E COMPRIMENTOS DE
FIBRAS DE PET RECICLADO**

Projeto de monografia apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa Ma. Débora Pedroso Righi
Köhler

Lajeado/RS, julho de 2021

Jenifer Tais de Souza

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO
COM ADIÇÃO DE DIFERENTES TEORES E COMPRIMENTOS DE
FIBRAS DE PET RECICLADO**

A banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Civil:

Profa. Ma. Débora Pedroso Righi Köhler - orientadora
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Me. Rafael Mascolo
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Carolina Bernhard
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Lajeado/RS, 06 de julho de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e forças em meio ao caos dessa pandemia para concluir esse trabalho de forma vitoriosa. Agradeço aos meus pais, José Luiz de Souza e Evaneti Röhrig de Souza, que sempre me incentivaram a ir em busca de meus sonhos e ideais, e nunca mediram esforços para me auxiliar durante toda a caminhada na graduação, seja financeiramente, emocionalmente ou “botando a mão na massa” comigo. Obrigada pai que em meio a dificuldade de conseguir as fibras para realizar o trabalho, com sua criatividade, elaborou um molde de corte para que o trabalho manual ficasse um pouco mais rápido. Obrigada mãe que auxiliou no corte de toda a quantia de fibra adquirida.

Agradeço em especial a uma pessoa que sempre me incentivou a estudar, que sempre esteve do meu lado e que hoje, na conquista desse sonho, não está mais entre nós, obrigada vó Lili!

Agradeço também ao meu namorado, Gustavo da Cruz, por toda paciência, cumplicidade e compreensão durante todo esse tempo de graduação e principalmente neste período de desenvolvimento do TCC quando me fiz muito ausente. Sou grata pelos meus colegas de graduação, colegas de trabalho e pelas empresas nas quais trabalhei durante o período da graduação, e principalmente durante esse período de pesquisa e aplicação em que muitas vezes precisei me fazer ausente.

Agradeço também a equipe do LATEC, colegas Henrique, Tiago e Amanda, que me auxiliaram todas as vezes que foi necessário utilizar o laboratório, assim como na

concretagem, moldagem dos corpos de prova e realização de ensaios, e à professora Camille Granada que me auxiliou na análise estatística dos dados.

Por fim fica minha imensa gratidão à minha orientadora, professora Ma. Débora Righi que sempre esteve presente e disposta a passar seu conhecimento auxiliando em todas as dúvidas que surgiram ao longo da pesquisa. Obrigada por todo apoio, esforço e dedicação que mesmo em meio ao caos de uma pandemia e de todos os percalços da vida sempre esteve ali, disposta a me ouvir e a conversar, para que não enlouquecêssemos juntas! Obrigada pela amizade que construímos!

RESUMO

O concreto é um dos materiais estruturais mais utilizados no mundo da construção civil, porém possui baixa resistência à tração. Considerando o esgotamento de recursos naturais e o consumo gigantesco de matéria prima no mundo com descarte pós consumo, se busca cada vez mais por soluções inovadoras com materiais sustentáveis, tornando-se necessário o estudo de reutilização de materiais de descarte e subprodutos de processos industriais na produção de concreto, buscando a melhora das propriedades mecânicas e a diminuição dos danos ao meio ambiente. Assim, na busca em atender aos objetivos deste trabalho, que consiste na avaliação da influência e os efeitos da adição das fibras de PET reciclado, de 15 mm e 30 mm nas proporções de 0,2, 0,5 e 0,7% (em volume), no comportamento mecânico do concreto, dividiu-se o programa experimental em quatro etapas, sendo elas a caracterização dos materiais, a dosagem dos concretos, os ensaios no estado fresco (*Slump* e massa específica) e os ensaios no estado endurecido, sendo realizados o ensaio de resistência à compressão, à tração por compressão diametral e à tração na flexão. Os ensaios para análise ocorreram aos 7 e aos 28 dias, demonstrando estatisticamente que não houve influência da adição de fibras nos resultados das resistências à tração e à compressão.

Palavras-chave: Concreto; PET; Fibra.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Composição média dos materiais RCD no Brasil.....	13
Figura 02 - Processo de transformação de RCD em agregado reciclado.....	14
Figura 03 - Evolução da reciclagem do PET no Brasil.....	19
Figura 04 - Esquema da concentração de tensões em concreto sem (a) e com (b) fibras...	20
Figura 05 - Comparação do CRF com (a) e sem (b) compatibilização fibras/agregado.....	22
Figura 06 - Fibra lamelar e fibra circular.....	27
Figura 07 - Fluxograma do programa experimental.....	32
Figura 08 - PET filetado pela desfiadeira.....	35
Figura 09 - Filetes padrão adquiridos.....	36
Figura 10 - Equipamento desenvolvido para corte padrão.....	37
Figura 11 - Fibras de PET.....	37
Figura 12 - Definição da massa específica (a) separação da amostra (b) colocação no cesto de arame (c) pesagem em balança hidrostática	38
Figura 13 - Fluxograma esquemático da caracterização dos materiais.....	39
Figura 14 - Relação água cimento na curva de Abrams.....	41
Figura 15 - Mistura do concreto (a) mistura na betoneira (b) concreto homogêneo.....	44
Figura 16 - Moldagem dos Corpos de Prova (a) CP's cilíndricos (b) CP's prismáticos.....	45
Figura 17 - Demonstração da execução das camadas do <i>slump test</i>	46
Figura 18 - Medição do abatimento.....	47
Figura 19 - Ensaio de compressão.....	48

Figura 20 - Ensaio de tração por compressão diametral.....	49
Figura 21 - Dispositivo do ensaio de tração na flexão.....	50
Figura 22 - Corpo de prova rompido por compressão diametral.....	56
Figura 23 - Distribuição das fibras no interior do concreto.....	56
Figura 24 - Rompimento do CP prismático.....	59
Figura 25 - Distribuição das fibras no CP prismático.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Resistência à compressão dos concretos com e sem adição de fibras.....	24
Gráfico 02 - Resistência à tração dos concretos com e sem adição de fibras de PET....	25
Gráfico 03 - Tração e Compressão dos corpos de prova aos 7, 14 e 28 dias.....	26
Gráfico 04 - Resistência à compressão.....	54
Gráfico 05 - Resistência à tração por compressão diametral.....	57
Gráfico 06 - Resistência à tração na flexão.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Resultados de compressão e tração.....	26
Tabela 02 - Aplicações das fibras de PET.....	30
Tabela 03 - Caracterização da areia média.....	33
Tabela 04 - Caracterização da brita 1.....	34
Tabela 05 - Desvio padrão em função da condição de preparo.....	40
Tabela 06 - Traços.....	43
Tabela 07 - Abatimento de tronco cone.....	52
Tabela 08 - Massa específica para cada traço.....	52
Tabela 09 - Análise de variância ANOVA aos 28 dias.....	55
Tabela 10 - Análise de variância ANOVA de tração por compressão aos 28 dias.....	58
Tabela 11 - Análise de variância ANOVA de resistência à tração na flexão aos 28 dias.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIPET	Associação Brasileira da indústria do PET
ABNT	Associação Brasileira de normas técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para reciclagem de resíduos da construção civil
ABRAPEX	Associação Brasileira de poliestireno expandido
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CRF	Concreto Reforçado com Fibras
EPS	Poliestireno Expandido
EUA	Estado Unidos da América
LATEC	Laboratório de Tecnologias da Construção
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PET	Politereftalato de etileno
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Problema de pesquisa	8
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivo geral	8
1.2.2 Objetivos específicos	8
1.3 Justificativa da pesquisa	9
1.4 Estrutura do trabalho	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Novas tecnologias aplicadas ao concreto	11
2.2 Uso de materiais alternativos na matriz do concreto	12
2.3 PET	17
2.4 Uso de fibras no concreto	19
2.4.1 Uso de PET como fibras	23
2.5 Aplicações de concreto com fibra de PET	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Estratégia de Pesquisa	31
3.2 Materiais	32
3.2.1 Cimento	33
3.2.2 Areia	33
3.2.3 Brita	34
3.2.4 Aditivo	34
3.2.5 Água	35
3.2.6 Fibra de PET	35
3.3 Dosagem e moldagem dos corpos de prova	39

3.4 Estado Fresco	45
3.4.1 Slump test	46
3.4.2 Massa Específica	47
3.5 Estado Endurecido	47
3.5.1 Compressão	47
3.5.2 Tração por compressão diametral	48
3.5.3 Tração na Flexão	49
3.6 Análise Estatística	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 Slump test	51
4.2 Massa específica do concreto	52
4.3 Resistência à compressão simples	53
4.4 Resistência à tração por compressão diametral	56
4.5 Resistência à tração na flexão	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICES	73
APÊNDICE A - Resistência à compressão aos 7 dias	74
APÊNDICE B - Resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias	76
APÊNDICE C - Resistência à compressão aos 28 dias	78
APÊNDICE D - Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias	80
APÊNDICE E - Resistência à tração na flexão aos 28 dias	82

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais estruturais mais utilizados no mundo da construção civil, porém deve-se lembrar que possui um comportamento frágil, tendo uma baixa resistência à tração. Por isso, nos últimos anos ele vem sendo estudado visando melhorar suas propriedades mecânicas e proporcionar um bom custo benefício. Conforme Júnior, Silva e Moravia (2017), as fibras são uma dessas opções, existindo no mercado inúmeros tipos para adição no concreto, como fibras de aço, de vidro, de carbono, e de plásticos.

O crescimento populacional associado ao avanço tecnológico e à industrialização faz com que se tenha um consumo de matéria-prima gigantesco, o que cada vez mais mostra a necessidade de reutilizar materiais e aproveitar os resíduos. O setor da construção civil tem muito potencial para realizar essa redução no consumo de matérias-primas, pois pode utilizar seus próprios resíduos, seguindo assim a Política Nacional de Resíduos Sólidos conforme Brasil (2010) que coloca a responsabilidade da disposição dos resíduos ao seu próprio gerador (ALMEIDA, 2016).

Os plásticos são os resíduos que mais ocupam volume nos aterros sanitários, principalmente pelo fato de sua degradação ser extremamente lenta e permanecer assim por um tempo absurdamente alto nos aterros. Desses plásticos, o que mais se destaca é o Politereftalato de etileno (PET), que é muito utilizado na fabricação de embalagens, pois apresenta boa resistência mecânica, química e térmica. Com a crescente utilização deste

material e seu descarte inadequado no meio ambiente, viu-se a necessidade de buscar novos usos para sua reciclagem (FREIRE; REYES, 2009).

Dessa forma, aliando a necessidade de buscar por novos materiais para melhorar as propriedades mecânicas do concreto, à escassez de recursos naturais, e a necessidade de utilizar resíduos e preservar o meio ambiente, surge o PET como uma possível fibra a ser utilizada como reforço no concreto. Conforme Coró (2002), ao agregar fibras de PET ao concreto, é possível melhorar as propriedades mecânicas desse, em especial o controle de fissuração, o aumento da carga pós-ruptura, e o aumento da resistência à tração. Assim a utilização do PET pós consumo, pode ser uma forma de reduzir o volume descartado e uma possibilidade de melhora do concreto fornecendo um produto eficiente e com propriedades que satisfaçam os requisitos estabelecidos por norma.

1.1 Problema de pesquisa

Há uma melhora nas propriedades mecânicas do concreto de cimento Portland com a adição de fibras de PET reciclado, considerando os diferentes teores e comprimentos de fibra estudados?

1.2 Objetivos

Nos itens a seguir são apresentados os objetivos geral e específicos.

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento mecânico do concreto de cimento Portland reforçado com fibras de PET, considerando os diferentes comprimentos de fibra e os diferentes teores de adição, comparado ao comportamento do concreto sem adição de fibras.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) avaliar a influência dos diferentes teores de adição das fibras de PET reciclado, nas propriedades mecânicas do concreto;
- b) avaliar a influência dos comprimentos de fibras de PET reciclado, nas propriedades mecânicas do concreto;

- c) verificar os efeitos da adição das fibras de PET reciclado, nos diferentes teores e comprimentos, no comportamento do concreto em seu estado fresco através dos ensaios de massa específica e *Slump test*;
- d) verificar os efeitos da adição das fibras de PET reciclado, nos diferentes teores e comprimentos, no comportamento do concreto em seu estado endurecido, através dos ensaios de compressão, tração por compressão diametral e tração na flexão.

1.3 Justificativa da pesquisa

A preocupação com o meio ambiente é cada vez maior em todas as áreas, porém na construção civil vem ganhando maior enfoque nos últimos anos, exigindo atitudes que busquem amenizar os impactos ambientais do setor. Pensando na redução da disponibilidade de recursos naturais e nos impactos gerados ao meio ambiente, engenheiros e pesquisadores vem buscando por materiais alternativos que possam ser incorporados às misturas de concreto de forma que proporcionem melhorias em suas propriedades físicas e mecânicas, a um baixo custo, e que auxiliem de alguma forma na preservação ambiental.

Considerando esse cenário, materiais reciclados vem ganhando espaço no setor da construção, podendo ser uma importante forma de redução do resíduo urbano que seria depositado em qualquer local afetando o meio ambiente. O PET é um material muito presente em nossa vida, sendo utilizado principalmente na forma de garrafas e embalagens que utilizamos no dia a dia, sendo assim um lixo urbano que pode impactar negativamente a natureza caso não tenha um destino correto.

Considerando que o PET é um material 100% reciclável e com baixo custo, tornando-o fibras permanece sendo um material quimicamente inerte com superfície hidrófuga, apresentando uma boa sinergia com matrizes cimentícias, dessa forma torna-se bastante atrativa a possibilidade de utilizá-lo e por isso, foi escolhido como elemento de reforço para a matriz de concreto que será realizada no presente trabalho, visto que há possibilidade de melhorar as propriedades do concreto a um baixo custo. Assim une o benefício ambiental com a possível melhoria das propriedades de um material tão importante na construção civil (MENESES, 2011).

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho foi estruturado em 5 capítulos, os quais possuem a seguinte abordagem:

O capítulo 1 apresenta uma breve introdução ao tema para melhor compreensão, contextualizando o problema de pesquisa, além de apresentar os objetivos geral e específicos, e a justificativa do trabalho.

O capítulo 2 é composto pela revisão bibliográfica das novas tecnologias e materiais alternativos aplicados ao concreto, dos concretos reforçados com fibras, dando enfoque a utilização das fibras de PET e demonstrando a relevância, no aspecto ambiental, do aproveitamento do PET pós consumo.

No capítulo 3 é apresentada a estratégia de pesquisa adotada, os materiais utilizados e toda a metodologia e planejamento dos ensaios. Já no capítulo 4 são apresentados os resultados da execução da pesquisa, enquanto o capítulo 5 aborda as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Novas tecnologias aplicadas ao concreto

O desenvolvimento econômico em sua origem da sociedade industrial, significa a transformação da natureza de forma que melhore a vida da população beneficiada. Pensando em construção civil, tem-se a transformação do ambiente natural em ambiente construído. Assim, o impacto ambiental do setor é proporcional à sua tarefa social (JOHN, 2000).

O concreto é um dos produtos mais consumidos no mundo, sendo formado por cimento, agregados e água. Esses materiais são explorados diretamente das jazidas de acordo com a qualidade, o volume de material útil, e o transporte. Conforme Vechi, Gallardo e Teixeira (2016), a construção civil é um dos setores que mais consomem bens naturais de forma desordenada, e Araújo e Cardoso (2010) mencionam que esse consumo desordenado traz como consequências o esgotamento das jazidas e a geração de muitos resíduos. Com isso faz-se necessária a busca por novas tecnologias, assim, conforme Aires (2019), busca-se por um modelo de desenvolvimento humano que acompanhe a inovação tecnológica, porém que realize o uso e o reuso de recursos disponíveis de forma equilibrada, buscando por novas matérias-primas mais renováveis e realizando a reciclagem de tudo o que for possível. Dessa forma, a sustentabilidade tornou-se um tema muito falado no meio da construção civil, sendo fundamental o desenvolvimento de estratégias para amenizar o impacto ambiental e definir novos conceitos de concreto “verde” (VIEIRA; CALMON; COELHO, 2016).

Através da preocupação com o meio ambiente surgiram os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pelas Nações Unidas. Esses ODS podem

ser abordados de alguma forma pela cadeia produtiva da construção civil, principalmente em relação ao concreto, podendo desenvolver estratégias sustentáveis para a indústria com intuito de reduzir o consumo de matéria-prima por meio do aproveitamento de resíduos e materiais reciclados, e buscar por processos de construção com menos impactos (MARINKOVI *et al.*, 2017).

Quando se fala em novas tecnologias, nas últimas décadas teve-se muitos avanços em todas as áreas da construção, considerando materiais, mistura, dimensionamento, projeto, testes e especificações, porém o que realmente têm se buscado atualmente são novos materiais. Qualquer novo material descoberto passa por um processo de pesquisa, o que nos últimos anos vem ganhando espaço com a área de Engenharia de Materiais. Sendo o concreto o produto mais empregado na construção civil, pesquisadores vêm buscando novas possibilidades de adições ao concreto para proporcionar desempenho mecânico e durabilidade cada vez maiores. Assim, quando bem sucedida, uma nova tecnologia aumenta a resistência, a durabilidade, e a vida útil do concreto (DI GIULIO, 2007).

Conforme Neville (2013), no último meio século, a tecnologia do concreto foi revolucionada com o uso de aditivos químicos. Além disso, as misturas com ar incorporado, desenvolvimento de concretos leves, concreto auto-adensável, concreto reforçado com fibras, concreto polimérico, de alta resistência, com adição de materiais como cinzas volantes, escórias granuladas de alto forno e sílica ativa, concreto de alto desempenho, todos são novos métodos de melhora do compósito. Porém, a busca por materiais alternativos que possam ser adicionados à matriz do concreto é cada vez maior e vem ganhando mais espaço no mundo das pesquisas.

2.2 Uso de materiais alternativos na matriz do concreto

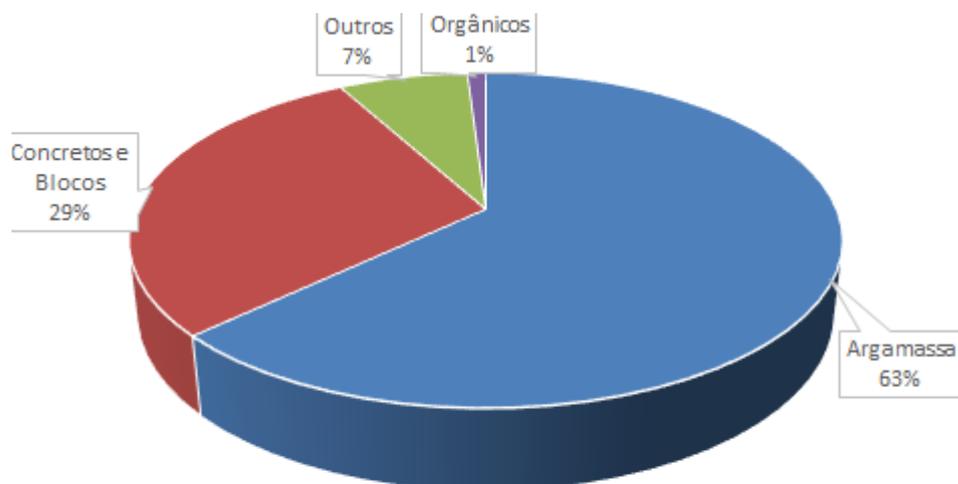
Considerando o esgotamento dos materiais naturais e o impacto ambiental causado na sua exploração, o uso de materiais alternativos na matriz do concreto vem se tornando cada vez mais comum. A busca por novos materiais se desencadeia também devido às restrições ambientais, que muitas vezes fazem com que mineradores se desloquem para áreas mais

distantes, agregando o valor do transporte no custo do produto, trazendo um aumento no valor final ao consumidor (ALMEIDA, 2016).

A partir desse contexto inicia-se a busca por novos produtos e pela reutilização de materiais que até então eram considerados como resíduos industriais. Nessa busca encontram-se os materiais reciclados e pensando na preservação do meio ambiente, em 2010 foi lançada a Lei 12.305 referente à política de gerenciamento dos resíduos, chamada de Política dos 3R. A política dos 3R baseia-se em reduzir, reutilizar e reciclar, assim reciclando se prolonga a utilização de recursos naturais, e aliado a redução e reutilização, reduz-se o volume de lixo. A reciclagem visa o aproveitamento dos resíduos de forma a reintroduzi-los no ciclo de produção novamente, proporcionando uma redução no volume de extração de matérias-primas naturais, uma redução do consumo de energia para fabricação de novos produtos, uma redução da poluição e uma melhora na saúde e segurança da população.

Os próprios resíduos da construção civil podem ser considerados uma forma de reciclagem. Esses resíduos são denominados de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) ou Resíduos da Construção Civil (RCC). De acordo com a Abrecon (2020), os RCD são todo e qualquer resíduo gerado no processo construtivo, seja ele de reforma, escavação ou demolição. No Brasil a maior parte dos RCD são argamassa, blocos e concretos, como pode-se observar na Figura 01.

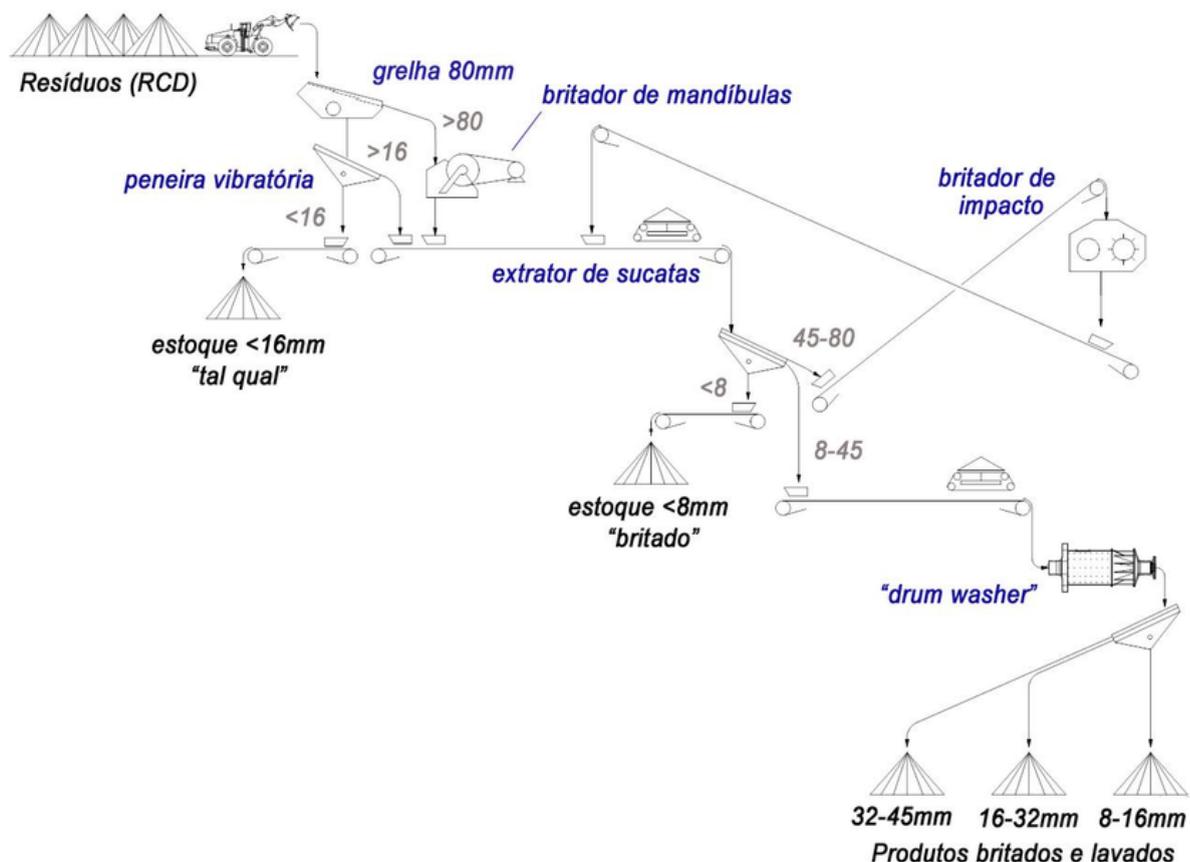
Figura 01 - Composição média dos materiais RCD no Brasil



Fonte: Adaptado pela autora com base em Silva Filho *apud* Santos (2009).

No Brasil, 90% dos RCD correspondem a concreto, argamassa, tijolos, telhas, cerâmica e rochas naturais, que afetam o meio ambiente quando descartados inadequadamente. Já existem usinas de processamento desses RCD visando a sua reciclagem, podendo ser transformados em agregados graúdos e agregados miúdos através de um processo exposto na Figura 02.

Figura 02 - Processo de transformação de RCD em agregado reciclado



Fonte: Ulsen *apud* Angulo e Figueiredo (2011).

Conforme a NBR 15116 (ABNT, 2004), os concretos, argamassas, tijolos e pedras são considerados “Resíduos Classe A” que podem ser reciclados na forma de agregado, assim são triturados e, posteriormente, usados no lugar da areia, do pedrisco ou da brita.

Segundo Almeida e Luz (2012), as britas obtidas de RCD possuem qualidade muito semelhante à brita natural, pois devem atender às normas vigentes da ABNT, porém seu uso deve ser apenas em concretos que possuam resistência inferior a 50 MPa, ou em concreto sem

função estrutural. Já o pó de pedra quando beneficiado, por exemplo, pode ser um bom substituto da areia natural, desde que atenda a distribuição granulométrica, formato das partículas, resistência mecânica, estabilidade da partícula e ausência de impurezas (ALMEIDA, 2016).

O uso de fibras no concreto tem sido uma opção para melhorar o concreto tradicional, que conforme Kim *et al.* (2010) apresenta baixa ductilidade, baixa absorção de energia, baixa resistência à fissuração e, principalmente, baixa resistência à tração. Atualmente o uso das fibras vem tornado-se cada vez mais popular no mundo sendo que o mercado das fibras tornou-se bem amplo, tendo como principais tipos utilizados no Brasil as fibras de aço e de polímeros. O Concreto Reforçado com Fibras (CRF) vem sendo bastante incorporado em tubos de concreto utilizados em esgotos, além de ser usado também em pavimentos industriais, pátios para aeronaves, e revestimento de túneis (ALMEIDA, 2016).

Garcia *et al.* (2014) menciona que o uso de pozolanas em concretos e argamassas vem crescendo a cada ano, sendo impulsionado por fatores econômicos e ambientais, transformando-se em mais uma opção de materiais a ser inseridos no concreto. Conforme a NBR 12653 (ABNT, 2014), as pozolanas são materiais silicosos e sílico aluminosos que reagem com o hidróxido de cálcio quando divididos finamente e ao entrarem em contato com a água, formam um composto com propriedades cimentícias. Elas podem ser naturais ou artificiais sendo que as naturais não são renováveis, o que traz impactos ambientais em sua extração, por isso a utilização de pozolanas artificiais é mais adequada, pois são basicamente resíduos ou substratos agroindustriais provenientes de diversas origens (TASHIMA, 2006).

Como exemplos de pozolanas artificiais é possível citar a cinza de carvão, a casca de arroz, a sílica ativa, a escória granulada de metais industriais ferrosos e não-ferrosos, além da cinza volante que, conforme Metha e Monteiro (2014), é um dos principais resíduos industriais do planeta. Segundo pesquisas, as pozolanas atuam na mudança de propriedades como durabilidade, permeabilidade e resistência do concreto/argamassa. Elas podem ser adicionadas tanto no processo de fabricação do cimento, quanto posteriormente na produção da argamassa ou concreto. Seu uso auxilia na redução da utilização do cimento Portland,

proporcionando, por serem resíduos, uma redução no uso de materiais naturais, prolongando a vida útil de jazidas (TASHIMA, 2006).

O vidro é um material que vem ganhando bastante espaço na construção civil, quando reciclado, segundo Adams (2014), além de diminuir a extração de matéria-prima diminui o CO₂ emitido pelo transporte desse material e ainda evita que o descarte ocorra em aterros sanitários. O vidro pode ser 100% reciclado, podendo gerar a mesma quantidade de vidro novo e com a mesma qualidade. Diversos estudos vêm mostrando que a substituição da areia natural por vidro moído tem tido bons resultados, sendo uma opção para a reutilização do vidro de forma sustentável. Simões *et al.* (2013) expõe que devido às propriedades pozolânicas do vidro, quando moído em forma de pó, torna-se uma opção de substituição parcial do cimento. Quanto mais fino o resíduo de vidro for moído, maior tende a ser a atividade pozolânica, pois o vidro possui considerável quantidade de sílica amorfa, sendo indicado a moagem em uma granulometria abaixo de 75 µm.

Outro exemplo de material alternativo, dado por Cabral e Azevedo (2016), são as borrachas provindas de pneus descartados. Esses pneus podem causar um grande impacto ambiental quando descartados de forma inadequada, por isso pesquisadores vêm estudando a possibilidade de reaproveitar esses pneus na construção civil, através da trituração destes para incorporação ao concreto, podendo ser incorporado como adição à pasta de cimento ou então ser usado em substituição do agregado miúdo. Porém, estudos realizados por Giacobbe (2008) indicam que quanto maior o teor de borracha moída como agregado miúdo, maior é a redução das resistências à compressão, à tração e ao módulo de elasticidade. Mas apesar disso, Sukontasukkul e Chaikew *apud* Giacobbe (2008) verificaram que o uso da borracha em peças de concreto para pavimentação pode absorver mais energia quando sujeito a impactos, podendo assim resultar em um material viável economicamente e mais durável.

O Poliestireno Expandido (EPS), conhecido popularmente como Isopor, é muito utilizado na fabricação de concreto leve, o qual troca o uso do agregado graúdo de pedra britada pelo EPS em formato de pérolas pré-expandidas ou flocos reciclados. Com a grande quantidade de ar presente no isopor, o resultado é de uma baixa densidade, ou seja, um concreto leve (ABRAPEX, 2006).

Outro material que vem ganhando espaço é o PET reciclado, o qual é utilizado na fabricação de mantas de impermeabilização, caixas d'água, torneira, telhados, tubos e conexões. Porém, há estudos investigando e até indicando um potencial em sua utilização no concreto. Foti e Paparella (2014) mencionam que têm se dado enfoque às diferentes possibilidades de aproveitamento, sendo que do ponto de vista ambiental o uso de resíduos de garrafas PET proporciona a redução do volume em aterros. Alguns estudos, como de Mahdi, Khan e Abbas (2007), realizaram a despolimerização do PET para obter um ligante que produziria uma argamassa polimérica. Choi *et al.* (2005) analisaram a substituição de agregado miúdo por PET moído e Marzouk, Dheilily e Queneudec (2006) apontou que a substituição parcial seria ideal, pois não afetaria a resistência à compressão. Hannawi, Kamali-Bernard e Prince (2010) demonstraram experimentalmente o bom efeito de costura das fibras PET na fase pós-fissuração do concreto quando incluídas na mistura de concreto como agregados.

2.3 PET

O politereftalato de etileno, conhecido como PET, é classificado quimicamente como um polímero poliéster termoplástico. Conforme a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET, 2020), ele é produzido industrialmente pela mistura do ácido tereftálico e monoetileno glicol, que formam uma pasta e ao reagir entre si, passam por uma cristalização e formam o PET, como conhecemos. Por ser termoplástico, quando submetido à temperatura e pressão, o PET amolece e permite sua moldagem, assim pode ser remodelado proporcionando sua total reciclagem.

O PET possui uma densidade de $1,38 \text{ g/cm}^3$ e, conforme Foti (2011), seu módulo de elasticidade é $E_{pet} = 3100 \text{ N/mm}^2$, inferior ao da matriz de concreto. O PET possui diversas propriedades como a boa resistência à tração e abrasão, boa resistência mecânica, térmica e química, é leve e de fácil moldagem, além de ser um polímero inodoro, insípido, atóxico e inerte (CANEVAROLO *apud* FIGUEIREDO *et al.*, 2015).

Devido às propriedades que possui, o PET é muito utilizado atualmente como garrafas e embalagens, o que o torna um lixo urbano que causa grandes danos à natureza

quando não destinado corretamente. Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), o PET é classificado como um resíduo de classe II B Inerte:

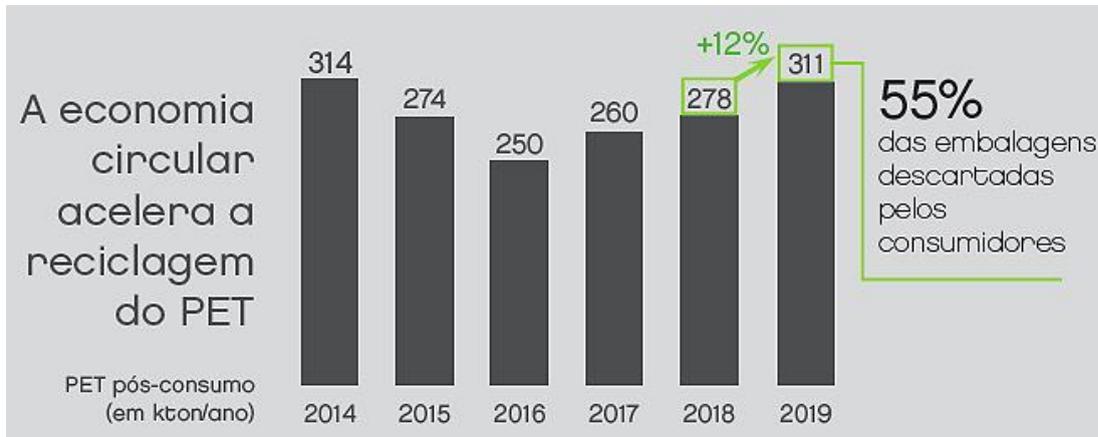
Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G (ABNT, 2004, p. 05).

Quando descartado, o PET pode levar cerca de 400 anos para se degradar, assim se descartado em aterros o PET reduz sua capacidade física e de percolação de gases e líquidos (MENESES, 2011).

A reciclagem do PET traz não só benefícios ao meio ambiente, mas também benefícios sociais e econômicos. Segundo a ABIPET (2020) a reciclagem do material é vendida a um valor atrativo o ano todo, pois é um material muito usado. No Brasil, por exemplo, é utilizado principalmente pela indústria têxtil, o que mantém as atividades em empresas que comercializam o material e em Cooperativas e seus catadores, gerando empregos e renda.

Conforme CicloVivo (2020), os dados do 11º Censo de Reciclagem de PET no Brasil, divulgado pela ABIPET, mostram que no ano de 2019 foram recicladas cerca de 311 mil toneladas de PET. Como pode-se observar na Figura 03, de 2014 a 2016 houve uma queda na reciclagem de PET, que de acordo com a ABIPET teve relação com a baixa atividade econômica no período com queda de quase 50% das atividades em setores que utilizam a matéria-prima reciclada, como o têxtil e automotivo, o que refletiu negativamente na reciclagem. Porém, de 2016 a 2019, houve novamente o crescimento da reciclagem, sendo que em 2019, 55% das embalagens descartadas no Brasil foram recicladas. Esse aumento, por sua vez, é o reflexo do fortalecimento da economia que utiliza o PET reciclado em seus produtos.

Figura 03 - Evolução da reciclagem do PET no Brasil



Fonte: CicloVivo (2020).

De acordo com CicloVivo (2020), o Brasil é considerado o líder mundial em diferentes aplicações para o PET reciclado. Na indústria automotiva e de transportes, por exemplo, o PET é utilizado em tecidos internos e carpetes; já na área de artigos industriais pode ser utilizado nos rolos para pintura, cordas, filtros e ferramentas; pode ser usado também em sua forma mais comum como embalagens, sejam elas garrafas, bandejas, fitas ou sacolas; na área de têxteis, é utilizado em roupas, calçados e mochilas.

Na construção civil, por sua vez, de acordo com a ABIPET (2020), o PET é mais utilizado na fabricação de mantas de impermeabilização, caixas d'água, torneira, telhados, tubos e conexões. Porém, ele vem sendo muito estudado e utilizado em sua forma moída para substituição parcial dos agregados no concreto, e ainda, em forma de fibras para adição ao concreto.

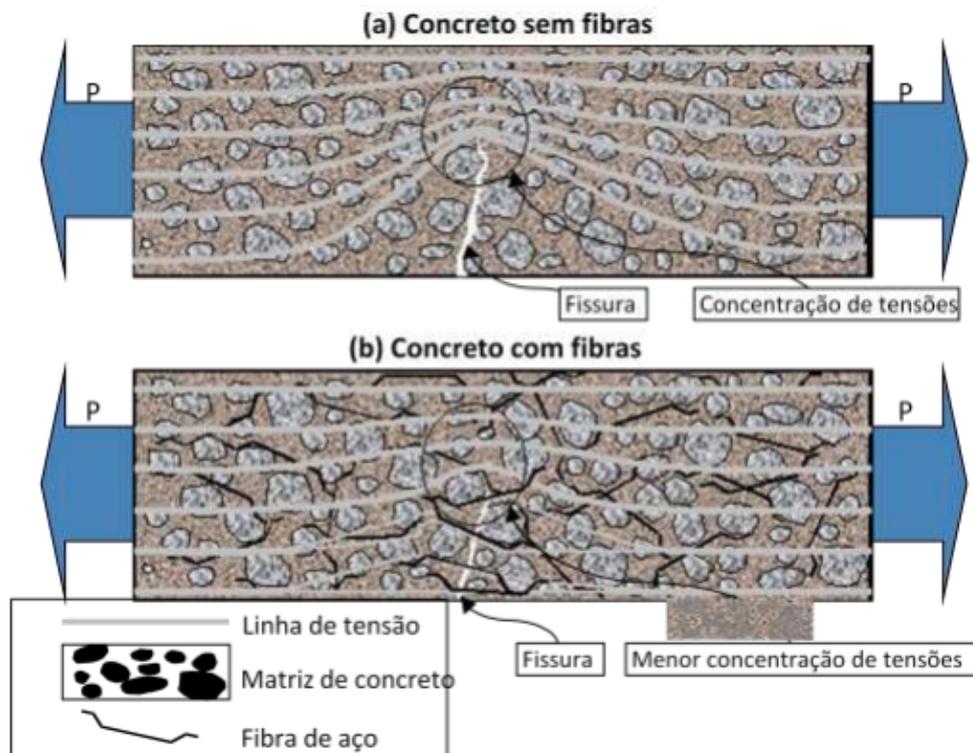
2.4 Uso de fibras no concreto

A utilização de fibras como um reforço nos materiais de construção existe desde os primórdios da história humana. Segundo Meneses (2011), há evidências do uso de fibras para reforço há 5 mil anos, como o uso de fibras de asbesto, mais conhecido por amianto, como reforço em postes de argila. Meneses (2011) cita a produção de tijolos de adobe que na Babilônia eram reforçados com fibras vegetais, menciona que há centenas de anos a argamassa de enchimento de paredes era feita com adição de pêlos de animais, e ainda a produção de tijolos de barro que os egípcios realizavam com argila cozida misturada à palha.

O uso de fibras adicionadas ao concreto é um tema relativamente novo. Conforme Metha e Monteiro (2014), a adição das fibras de forma aleatória foi desenvolvida na década de 60, quando surgiram os primeiros materiais considerados fibras poliméricas, metálicas, vegetais e minerais. Porém, os primeiros estudos para sua adição ao concreto foram realizados somente na década de 70 nos EUA. No Brasil, o uso de fibras no concreto é ainda mais recente, sendo usada comercialmente apenas a partir da década de 90.

A busca constante por novos materiais resultou em pesquisas associadas ao uso de fibras no concreto como forma de diminuir patologias, o que se mostrou muito eficiente. Atualmente as fibras com resistência e módulo adequados, ao serem adicionadas ao concreto podem melhorar a resistência à fissuração, tenacidade, resistência à fadiga e resistência ao impacto. Conforme Isaia (2005), isso ocorre devido à ponte de transferência de tensões que é criada pela fibra, minimizando a concentração de tensões em uma única fissura, por exemplo, como pode-se verificar na Figura 04. Assim, as fissuras se propagam lentamente e o concreto passa a se comportar como um material mais dúctil.

Figura 04 - Esquema da concentração de tensões em concreto sem (a) e com (b) fibras



Fonte: Figueiredo (2000).

As fibras são produzidas em uma variedade de formas e tamanhos, podendo ser de diversos materiais, desde a fibra natural, como o sisal, até fibras de aço, vidro e polímeros, como o polietileno e o PET. As fibras são adicionadas à mistura do concreto em baixas quantidades, normalmente inferiores à 1% da fração volumétrica (METHA; MONTEIRO, 2014).

As fibras sintéticas podem ser classificadas pelo seu comprimento e seção. Conforme Carnio (2009), as fibras com comprimento e diâmetro inferiores a 30 mm e 0,30 mm respectivamente, são classificadas como microfibras, tendo como função principal o controle da retração no estado fresco e leve benefício nas propriedades mecânicas. Já as fibras que possuem comprimento de 30 a 60 mm, responsáveis pela melhora na resposta pós-fissuração, são consideradas macrofibras.

As fibras poliméricas são as mais populares porque têm um custo competitivo e são resistentes, além disso, em volumes baixos, não necessitam de atenção adicional na dosagem da mistura e na técnica de fabricação (PELISSER *et al.*, 2012).

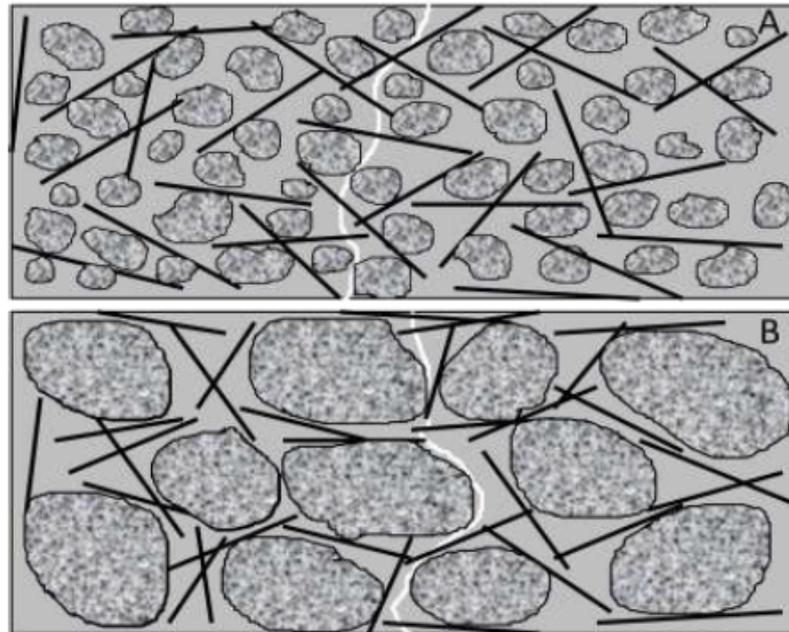
As fibras se distribuem aleatoriamente no concreto reforçando a peça como um todo, proporcionando um efeito maior na resistência à tração na flexão, porém segundo Salomão e Pandolfelli (2003), quando se fala em resistência à compressão, essa é uma propriedade que praticamente não se altera com a adição de baixos teores. É importante definir o tipo de fibra, dimensões, proporção e aderência à matriz, pois todos esses fatores terão influência direta no resultado final (METHA; MONTEIRO, 2014).

A adição de fibras acaba afetando diretamente a trabalhabilidade do concreto, pois as fibras restringem a mobilidade da mistura, principalmente dos agregados graúdos. Com essa adição automaticamente agrega-se mais área superficial, o que demanda água, diminuindo o teor de água para o abatimento e resultando em perda de mobilidade do concreto fresco e aumento da coesão (FIGUEIREDO, 2011).

As fibras de baixo comprimento possuem uma tendência de ser arrancadas em seu lado com menor comprimento embutido na matriz, e segundo Figueiredo (2011), por isso da importância de se ter uma boa aderência entre fibra e matriz. Pensando nisso, associa-se a

ideia de que quanto maior a fibra, maior o comprimento de embutimento na matriz, porém fibras compridas demais podem gerar problemas com a mobilidade da mistura e rompimento da fibra ao surgimento da fissura. Figueiredo (2011) ainda menciona que a seção transversal é a área de contato da fibra com a matriz, assim, quanto menor a seção, menor será a área de contato e menor a carga suportada pela fibra durante o seu arrancamento. Maidl (1991) expõe que é recomendado utilizar fibras com comprimento igual ou maior que o dobro da dimensão máxima característica do agregado utilizado, isso porque deve-se haver uma compatibilidade dimensional entre os agregados e as fibras para que essas interceptem de forma mais eficaz a fissura que ocorre na matriz, conforme podemos observar na Figura 05.

Figura 05 - Comparação do CRF com (A) e sem (B) compatibilização fibras/agregado



Fonte: Figueiredo (2000).

Foti (2011) cita que o concreto reforçado com fibra tem um desempenho melhor do que o concreto convencional porque as fibras têm um efeito de "costura" nas fissuras, podendo ser observado experimentalmente a maior eficácia das fibras na fase pós-trinca, evitando a propagação dessas. Merli *et al.* (2020) mencionam que as fibras recicladas, em seu uso como reforço do concreto, estão ganhando a atenção dos estudiosos nas pesquisas, tanto no aspecto de engenharia através de estudos experimentais das propriedades mecânicas, quanto nas considerações de sustentabilidade ambiental.

O uso de CRF na construção civil vem ganhando espaço ao longo dos anos, sendo utilizado em lajes, pavimentos, concreto projetado, pré-moldados, fundações, entre diversas aplicações possíveis. Metha e Monteiro (2014) mencionam que o primeiro uso do concreto reforçado com fibras de aço teve adição de 3% em peso e foi em 1971, com a produção de painéis para uma garagem do aeroporto de Heathrow de Londres, sendo analisados 5 anos depois e verificado que não apresentavam nenhuma fissuração.

2.4.1 Uso de PET como fibras

O PET reciclado é vendido em sua maioria como Flakes ou em forma granulada, sendo transformado em fibras posteriormente pela indústria. As fibras são bastante usadas na indústria de tecidos para a confecção de roupas, no setor automotivo em carpetes e elementos termo-acústicos, além disso, são utilizadas na fabricação de vassouras e cordas. As fibras podem ser extrudadas na indústria para produzir monofilamentos e dar o comprimento e a forma necessária. Porém, estudos vêm sendo desenvolvidos para verificar a utilização de PET pós consumo de forma mais simples, evitando utilizar procedimentos elaborados e de alto custo (ABIPET, 2020).

As fibras de PET são inertes quimicamente, tendo superfície hidrófuga, além de apresentar uma boa sinergia com matrizes cimentícias, por isso, foi escolhida como elemento de reforço para a matriz de concreto que será realizada no presente trabalho, visto que é um material 100% reciclável e há possibilidade de melhorar as propriedades do concreto a um baixo custo. Assim une o benefício ambiental com a possível melhoria das propriedades de um material tão importante na construção civil (MENESES, 2011).

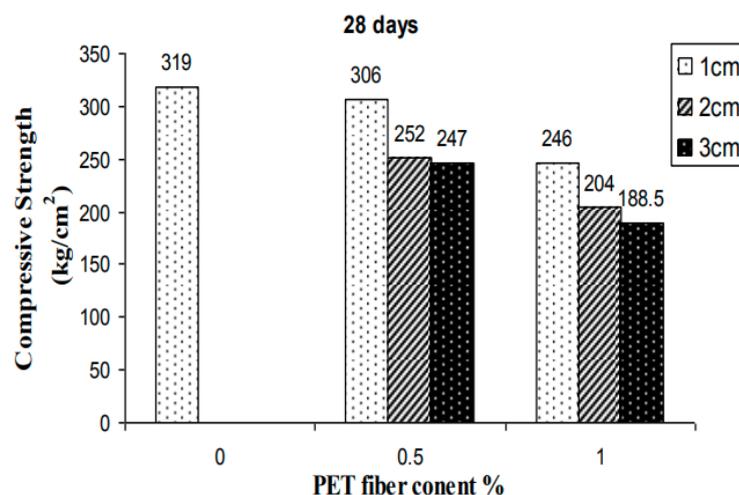
Quando submetido a uma força de tração, o concreto se torna um material frágil, porém, segundo Galvão (2010), com a adição de fibras sua resistência à tração acaba aumentando, pois essas proporcionam certa ductilidade após a fissuração, ajudando a manter a abertura de fissuração pequena. Foti e Paparella (2014) mencionam que o reforço com fibras de PET no concreto permite uma contenção das microfissuras de retração e um retardo na propagação dessas fissuras. Outro aspecto interessante verificado pelos autores foi que houve um incremento no isolamento térmico do concreto com fibras de PET.

Carvalho e Gomes *apud* Schettino (2015) utilizaram fibras de garrafas PET com dimensões de 1,5cm x 10cm em diferentes formatos, adicionando ao concreto à uma proporção de 1000 g/cm³ de concreto. Como resultado, perceberam que a resistência à compressão do concreto foi afetada negativamente, tendo uma redução de cerca de 10%, porém as fibras fizeram com que o concreto tivesse uma deformação menor. Com isso perceberam que não só a quantidade de fibras, mas também o formato delas influencia no resultado final.

Meneses (2011) em seu estudo utilizou fibras de PET de garrafas recicladas, usando “tiras” nas dimensões de 2mm x 15mm, adicionando ao concreto na proporção de 3,0 Kg/m³ ou 0,6% do peso do cimento. A autora submeteu os corpos de prova à temperaturas de até 900°C e percebeu que o concreto com adição de fibras teve uma redução da resistência à compressão inferior ao concreto referência. Além disso, verificou que o PET retarda o colapso das estruturas.

Taherkhani (2014) utilizou fibras de PET no concreto em teores entre 0,5% e 1% em volume, com comprimentos de 1, 2 e 3 cm. O autor percebeu que o aumento no teor de fibras aliado ao aumento do comprimento das fibras interferiu negativamente sobre a resistência à compressão, como pode ser observado no Gráfico 01.

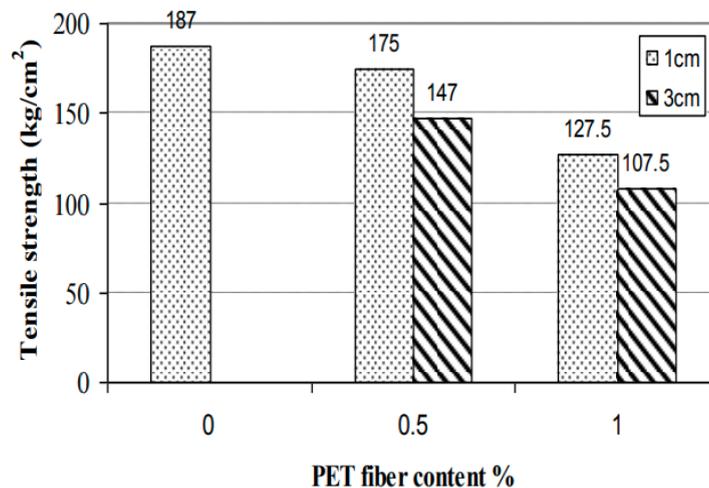
Gráfico 01 - Resistência à compressão dos concretos com e sem adição de fibras



Fonte: Taherkhani (2014, p. 39).

A resistência à flexão diminuiu com o aumento do teor de fibras e aumentou com o aumento no comprimento das fibras. Já na resistência à tração, Taherkhani (2014) observou que nas misturas reforçadas com fibras a resistência foi menor que a da mistura de controle, como pode ser observado no Gráfico 02. Porém, com menores teores de fibra, a resistência à tração aumenta com o aumento do comprimento da fibra, enquanto em teores mais elevados, diminui com o aumento do comprimento da fibra. O autor observou ainda que a resistência à abrasão aumentou com o comprimento da fibra, e que as misturas com fibras longas proporcionaram uma melhora no módulo de elasticidade.

Gráfico 02 - Resistência à tração dos concretos com e sem adição de fibras de PET



Fonte: Taherkhani (2014, p. 41).

Kumar, Reddy e Sasidhar (2014) verificaram que a adição de fibras de PET no concreto, quando submetidos à ensaios de tração, impede a fissura da viga de forma precoce, pois parte da carga é transferida às fibras. Já Foti (2011) verificou que a fissuração na cura do concreto é reduzida com a adição do PET quando comparada ao concreto convencional. Além disso, verificou que a adição das fibras de PET proporcionou uma melhoria na ductibilidade do concreto.

Fadhil e Yaseen (2015) utilizaram adição de fibras de PET em teores entre 0,5 e 1,5% de volume para investigar a força de ruptura e a resistência ao impacto em painéis pré-moldados de concreto. Os autores verificaram que o volume máximo de fibras para uma ruptura e resistência ao impacto ideal foi de 1%, proporcionando um aumento de

aproximadamente 34% na resistência à ruptura e de 157% na resistência ao impacto quando comparado aos painéis sem adição da fibra.

Irwan *et al.* (2013) utilizaram três teores de adição de fibra de PET, sendo 0,5, 1 e 1,5%, e verificaram que para a adição de 0,5%, a resistência à compressão e a resistência à tração tiveram um aumento comparado ao concreto referência. Porém as misturas com 1% e 1,5% de fibra PET resultaram em uma menor resistência à compressão do que o concreto sem fibras, mas uma resistência à tração superior, conforme pode-se observar na Tabela 01. O autor concluiu que a adição da fibra de PET é uma boa opção para a indústria de construção.

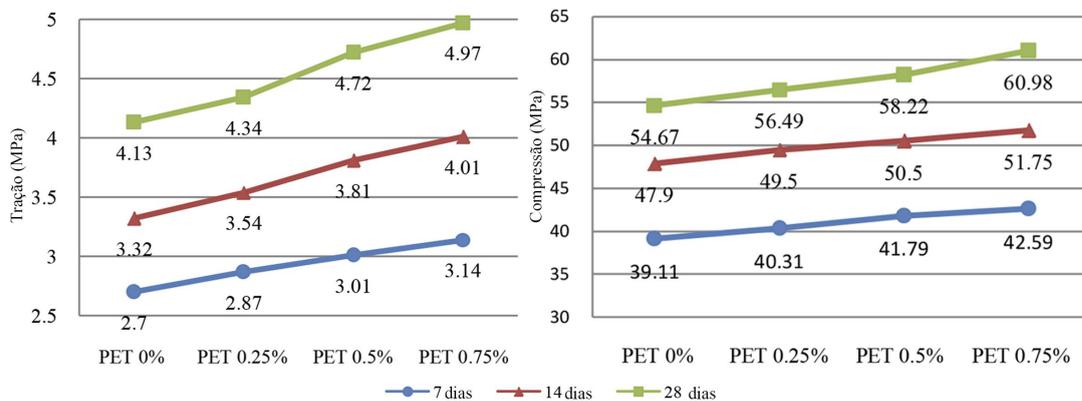
Tabela 01 - Resultados de compressão e tração

% PET	Compressão (MPa)			Tração (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias	7 dias	14 dias	28 dias
0	16,43	19,73	22	1,98	2,34	2,97
0,5	15,7	16,45	24	2,1	2,87	3,24
1	16,06	18,79	21,9	2,15	2,95	3,43
1,5	14,44	16,29	20,93	2,27	3,08	3,67

Fonte: Adaptado pela autora com base em Irwan *et al.* (2013, p. 349).

No estudo realizado por Reddy e Kumar (2014) os autores realizaram a confecção de concretos com adição de fibra de PET em proporções de 0,25, 0,50 e 0,75%. Quando adicionado a fibra na proporção de 0,75%, houve uma melhora na resistência à compressão e tração (GRÁFICO 03), flexão e módulo de elasticidade do concreto.

Gráfico 03 - Tração e Compressão dos corpos de prova aos 7, 14 e 28 dias



Fonte: Reddy e Kumar (2014, p. 335-336).

Marangon (2004) em seu estudo realizado com a adição de teores diferentes de fibras, verificou que a trabalhabilidade do concreto é afetada negativamente conforme aumenta-se o teor de fibras, concluindo que o teor ideal para a trabalhabilidade seria de 250 g/cm³. Na resistência à compressão, o autor não teve alterações significativas, porém o módulo de elasticidade teve uma tendência à melhora com a adição de fibras em teores maiores. Marangon (2004) verificou ainda que com o teor de 250 g/cm³ todos os parâmetros analisados tiveram melhora.

Pereira, Júnior e Fineza (2017) utilizaram em seu estudo fibras de PET obtidas de garrafas encontradas no lixo. As fibras foram feitas em comprimentos de 7, 9, 10, 15, 20 e 22 mm e largura de 3 mm, e adicionadas ao concreto em proporções de 0,1 a 0,34%. A inserção dessas fibras aumentou a resistência à compressão do concreto em 14,3% e a resistência à tração do concreto em 16,6%, comparando aos resultados obtidos com o concreto de referência. Assim, os autores concluíram que a adição de fibras de PET ao concreto proporciona uma maior capacidade de carga ao concreto ecológico.

Foti (2011) utilizou em seu experimento fibras de PET lamelares de comprimento de 32 mm e largura de 5 mm, e fibras circulares com diâmetro de 30 a 50 mm e largura variável de cerca de 5 mm, conforme se observa na Figura 06.

Figura 06 - Fibra lamelar e fibra circular



Fonte: Foti (2011, p. 1907).

Ambas foram adicionadas em quantidade muito pequena, na ordem de 0,26% do peso do concreto. Os resultados dos testes mostraram que a adição dessa pequena quantidade de fibras de PET recicladas pode ter uma grande influência no comportamento pós-fissuração,

pois tanto as fibras lamelares quanto as em forma de "O" melhoram muito a dureza das amostras. Os experimentos mostraram que as fibras aumentam a ductilidade de concreto.

Foti e Papparella (2014) verificaram que os estudos com relação à forma e dimensões das fibras de PET adicionadas ao concreto geralmente envolvem pequenas fibras, com largura de alguns milímetros e comprimento de alguns centímetros. Os autores mencionam que a esbeltez é uma característica importante, afetando na aderência do concreto ao PET e a capacidade de mistura. Já as fibras muito delgadas têm grandes áreas de superfície, aderindo muito bem ao concreto, tendo grande força de arrancamento.

Observando os estudos realizados percebeu-se que a utilização de fibras de PET reciclado eram em sua maioria sem tratamento industrial, ou seja, as fibras eram obtidas a partir da reciclagem de garrafas PET pós-consumo justamente visando explorar a possibilidade de utilização de fibras feitas de garrafas plásticas da forma mais simples e econômica. Por se tratar de um processo bem manual existe certa dificuldade de encontrar o produto para compra, sendo na maioria dos trabalhos analisados realizados de forma manual pelo pesquisador.

Através de pesquisas realizadas verificou-se que o processo mais simples é o de filetagem do PET, sendo realizado por empresas de reciclagem ou cooperativas de catadores, por vezes um pouco mais automatizado para uso em fabricação de vassouras ecológicas ou de forma mais manual por catadores autônomos. Marangon (2004) e Coró (2002), por exemplo, adquiriram as fibras de uma fábrica de vassouras ecológicas em Santo Ângelo no Rio Grande do Sul, porém no comprimento padrão de 20 cm, tendo que realizar o corte manualmente no comprimento desejado. Considerando esses estudos, as fibras foram adquiridas já filetadas.

2.5 Aplicações de concreto com fibra de PET

A adição de fibras de PET como reforço ao concreto ainda vem sendo estudada, porém, de acordo com Asha e Resmi (2015), por ter apresentado boa capacidade de mistura e qualidade satisfatória como reforço em estudos prévios, as fibras foram utilizadas no Japão,

como adição ao concreto projetado, sendo pulverizado na Mina Hishikari para melhorar o desempenho junto ao aço.

A Mina Hishikari é uma mina de ouro localizada em Kagoshima, área de maior produção de ouro do Japão. Até então utilizavam-se fibras de aço como reforço, porém a mistura da fibra e o concreto era difícil, além da fibra de aço frequentemente causar o bloqueio do pulverizador. Ochi, Okubo e Fukui (2007) mostraram em seus estudos que a aplicação das fibras de PET na Mina foi realizada com fibras de PET monofiladas confeccionadas a partir de uma extrusora, em comprimentos de 30 mm e 40 mm e em três porcentagens de volume de fibra (0,5%, 1,0% e 1,5%). Assim, em janeiro de 2004, o concreto projetado com adição de fibra de PET foi aplicado na Mina Hishikari em caráter experimental. A pulverização foi concluída sem problemas e apresentou uma superfície relativamente lisa. Ainda conforme Ochi, Okubo e Fukui (2007), um ano depois realizou-se um levantamento no local e a superfície não apresentava rachaduras e parecia ter sido alcançada uma ótima capacidade de suporte.

Outros exemplos de utilização, dados por Asha e Resmi (2015), foi em passagens de túneis subterrâneos, becos urbanos e estradas florestais mais estreitas. Nessas estradas, caso se utilizasse fibras de aço, ao longo dos anos elas poderiam perfurar os pneus, por isso optou-se pelo concreto reforçado com fibra de PET. Esse foi utilizado na pavimentação de uma estrada florestal entre Hayatogawa e Kanagawa, no Japão, que conforme Ochi, Okubo e Fukui (2007), ocorreu em março de 2004, sendo pavimentado um trecho de 20 metros de comprimento e largura de 3,6 a 4,9 m, tendo uma espessura de 13 cm. Ochi, Okubo e Fukui (2007) mencionam que para comparação, foi utilizada também uma composição convencional usando malha soldada como reforço, sendo usado concreto simples com uma espessura de 15 cm. Foi realizada uma pesquisa de acompanhamento meio ano depois, quando se verificou a inexistência de rachaduras ou lascas nos dois métodos. Ochi, Okubo e Fukui (2007) mostram em sua pesquisa uma tabela com exemplos de aplicações das fibras de PET, conforme pode-se observar na Tabela 02.

Tabela 02 - Aplicações das fibras de PET

Data	Cidade	Local	Comprimento da fibra (mm)	Volume de fibra (%)	Observações
01/2004	Kagoshima	Mina Hishikari	30	0,3	Primeira tentativa a usar Fibra PET no Japão. Considerado de fácil manuseio
03/2004	Kanagawa	Estrada	40	0,75	Substituição da malha soldada, considerável economia de trabalho
10/2004	Ibaragi	Estrada	40	1	Aplicado com sucesso à estrada com 10% de declive
03/2004	Ehime	Declive	30	0,3	Substituição de fibra de aço na frente marítima
08/2004	Fukuoka	Túnel	40	0,3	Aplicado ao suporte de túnel pela primeira vez
02/2005	Tottori	Túnel	40	0,3	Um novo analisador de conteúdo de fibra foi desenvolvido e usado
09/2005	Kanagawa	Cais da ponte	30	0,3	A extensão da fenda foi substancialmente diminuída
10/2005	Shiga	Túnel	40	0,3	Um novo injetor de fibra foi desenvolvido e usado

Fonte: Adaptado pela autora com base em Ochi, Okubo e Fukui (2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foi desenvolvido um programa experimental que engloba os materiais, dosagens, ensaios e equipamentos a serem utilizados, conforme estabelecem as normatizações brasileiras.

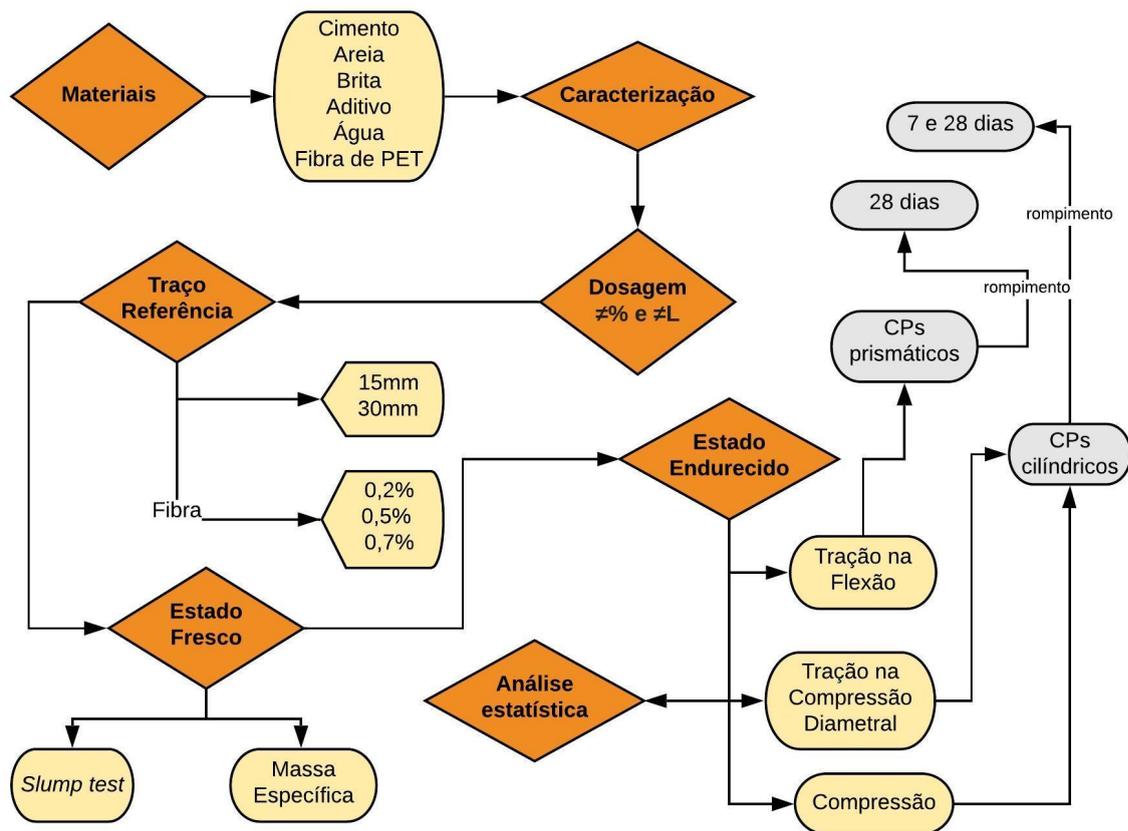
3.1 Estratégia de Pesquisa

Foram produzidos concretos com adição de fibras de PET em proporções e comprimentos de fibra diferentes. A adição da fibra foi realizada em três porcentagens (%), sendo de 0,2%, 0,5% e 0,7%, e em dois comprimentos (L) de 15 mm e 30 mm.

O programa experimental foi dividido em quatro etapas, sendo que a primeira foi a realização dos ensaios para caracterização dos materiais utilizados, ou seja, foram definidos a massa específica, a granulometria, e a massa unitária, conforme necessidade de cada material. Essa primeira etapa foi realizada pela equipe do Laboratório de Tecnologias da Construção (LATEC), a qual repassou os dados de caracterização dos materiais básicos, tendo em vista a diminuição da circulação de pessoas no laboratório em virtude da pandemia. Na segunda etapa, foi realizada a dosagem dos concretos, de acordo com o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Para a terceira etapa, foram realizados os ensaios no estado fresco do concreto, de acordo com a normatização específica, sendo realizado o teste de *slump* e a determinação da massa específica do concreto, além disso, foram realizadas a moldagem dos corpos de prova de acordo com as normativas vigentes. Por fim, a quarta etapa

consistiu na realização dos ensaios no estado endurecido, conforme as normas que regem cada ensaio, sendo realizados aos 7 e aos 28 dias os ensaios de compressão e tração por compressão diametral e aos 28 dias o ensaio de tração na flexão. Na Figura 07 podemos observar o fluxograma representando o programa experimental de forma resumida.

Figura 07 - Fluxograma do programa experimental



Fonte: Da autora (2021).

3.2 Materiais

Os materiais utilizados para a fabricação dos concretos foram os materiais convencionais como cimento, brita, areia, aditivo e água, além da adição das fibras de PET. Estes materiais, exceto as fibras, foram fornecidos pelo LATEC.

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado para a elaboração dos concretos foi o CPIV 32 RS da marca Cauê, do fabricante InterCement. É um cimento constituído de material pozolânico sendo conhecido como Cimento Portland Pozolânico. Para caracterização do cimento foi realizado o ensaio de determinação da massa específica, conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017), utilizando o frasco volumétrico de *Le Chatelier*. Como resultado obteve-se a massa específica de 2,64 g/cm³.

3.2.2 Areia

A areia utilizada no trabalho é de origem natural e do tipo média, disponível no LATEC. Foram realizados ensaios de caracterização para conhecimento físico do material, como a determinação da massa específica, realizado conforme a NBR NM 52 (ABNT, 2009), e a análise granulométrica, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003), sendo necessária a utilização do conjunto de peneiras de acordo com a NM-ISO 3310-1 (ABNT, 2010). A composição granulométrica e características da areia podem ser observadas na Tabela 03.

Tabela 03 - Caracterização da areia média

Abertura da peneira (mm)	Retido acumulado (%)	Retido individual (%)
25	0	0
19	0	0
12,5	0	0
9,5	0	0
6,3	0	0
4,75	0	0
2,36	0	0
1,18	7,22	7,22
0,6	26,4	19,18
0,3	62,84	36,44
0,15	94,61	31,77
Fundo	100	5,39

Módulo de finura: 1,91
 Massa específica da areia (g/cm³): 2,61
 Massa Unitária da areia (g/cm³):1,52

Fonte: Da autora com base nos dados recebidos do LATEC (2021).

3.2.3 Brita

Foi utilizada para a fabricação dos concretos, a brita 1 de origem basáltica, fornecida pelo LATEC. Foram realizados os ensaios para caracterização do material, como a determinação da massa específica do agregado graúdo, conforme orientações da NBR NM 53 (ABNT, 2009); massa unitária, realizada conforme orientações da NBR NM 45 (ABNT, 2006) e a análise granulométrica, realizada de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). A composição granulométrica e as características da brita 1 podem ser observadas na Tabela 04.

Tabela 04 - Caracterização da brita 1

Abertura da peneira (mm)	Retido acumulado (%)	Retido individual (%)
25	0	0
19	1,77	1,77
12,5	60,11	58,35
9,5	92,67	32,56
6,3	97,54	4,87
4,75	98,77	1,23
2,36	99,44	0,6
1,18	99,45	0,01
0,6	99,45	0
0,3	99,46	0,01
0,15	99,47	0,01
Fundo	100	0,53

Massa específica da brita 1 (g/cm³): 2,94
 Massa Unitária da brita 1 (g/cm³): 1,47
 Dimensão máxima característica: 19

Fonte: Da autora com base nos dados recebidos do LATEC (2021).

3.2.4 Aditivo

Para fabricação dos concretos com adição de fibra foi utilizado o aditivo superplastificante SulPlast, da Rodo Química, visto que esse tipo de aditivo proporciona maior trabalhabilidade para o concreto.

3.2.5 Água

A água utilizada para o amassamento dos concretos foi proveniente da rede de abastecimento público da CORSAN, disponível no LATEC, atendendo aos requisitos da NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

3.2.6 Fibra de PET

Em pesquisa realizada optou-se pela utilização de fibras de PET reciclado sem tratamento industrial, ou seja, as fibras foram obtidas a partir do processo de reciclagem de garrafas PET onde essas são limpas e filetadas na espessura desejada e, posteriormente, cortadas no tamanho definido.

O processo de filetamento das garrafas PET normalmente é realizado por recicladores que utilizam desse método para fabricar vassouras ecológicas e cordas para varais. Conforme a Cooperativa Central do ABC (2015), o processo de transformação da garrafa PET em filetes consiste inicialmente na colocação da garrafa em uma máquina chamada de “desfiadeira”. Nessa máquina é realizada a limpeza, o corte do fundo da garrafa e posteriormente a desfia em filetes finos que são enrolados em uma grade de metal, conforme Figura 08.

Figura 08 - PET filetado pela desfiadeira



Fonte: Vídeo do canal CoopcentTv no YouTube (2015).

Quando completa, a grade de metal vai ao forno para que o PET enrijeça e em seguida é colocado em água fria para efetuar um choque térmico e o PET fique mais flexível. A grade é levada a uma guilhotina que faz o corte padrão já no tamanho das cerdas para as vassouras.

Como na bibliografia vigente o teor de adição de fibras de PET varia muito, levou-se em consideração estudos referentes à fibras no geral, que mostram que normalmente são adicionadas ao concreto em baixo volume de dosagens, sendo muitas vezes inferior a 1%, conforme exposto por Kosmatka, Kerkhoff e Panarese (2002). Definiu-se que as fibras seriam adicionadas ao concreto em três proporções diferentes, assim foram adicionadas nas porcentagens de 0,2, 0,5% e 0,7% em relação ao volume de concreto.

Já as as dimensões das fibras foram definidas considerando os comprimentos mais usuais de fibras e as pesquisas realizadas de vários autores, como Asha e Resmi (2015), Marangon (2004), Pelisser *et al.* (2012) e Afroz, Hasan e Hasan (2013). Assim realizou-se o trabalho com dois comprimentos de fibra diferentes, sendo de 15 mm e 30 mm.

Devido a pandemia da Covid-19 o setor de reciclagem foi bastante afetado, sendo fechadas diversas associações que realizavam esse trabalho com o PET. Assim, não foi possível adquirir as fibras no estado do Rio Grande do Sul, conseguindo contato apenas com um catador que realizava o processo no Rio de Janeiro. Assim para dar andamento ao trabalho as fibras foram adquiridas em comprimento padrão (FIGURA 09), sendo cortadas manualmente no tamanho desejado, pois devido a falta de mão de obra o fornecedor não pôde encaminhar o material pronto.

Figura 09 - Filetes padrão adquiridos



Fonte: Da autora (2021).

A fibra foi encaminhada com largura de aproximadamente 2mm, sendo cortada de forma manual, com auxílio de uma tesoura de jardim adaptada em um molde, nos comprimentos de 15 mm e 30 mm, conforme observa-se na Figura 10.

Figura 10 - Equipamento desenvolvido para corte padrão



Fonte: Da autora (2021).

Como resultado obteve-se as fibras nos tamanhos desejados de acordo com a Figura 11.

Figura 11 - Fibras de PET



Fonte: Da autora (2021).

A massa específica da fibra de PET foi obtida através de uma adaptação do ensaio de determinação de massa específica do agregado graúdo, pela NBR NM 53 (ABNT, 2009),

sendo separadas três amostras de 500 gr para cada comprimento de fibra, colocadas no cesto de arame para realizar a pesagem na balança hidrostática conforme observa-se na Figura 12.

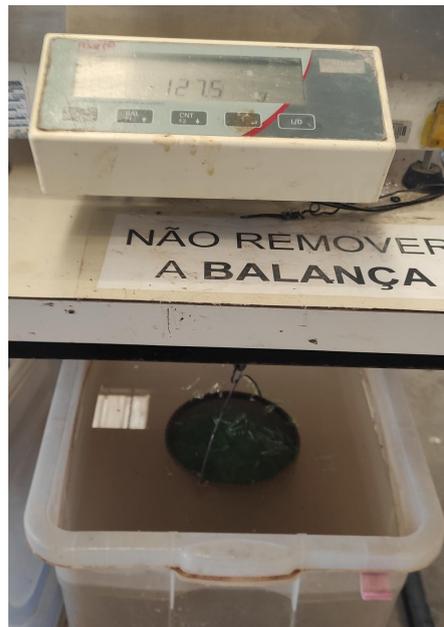
Figura 12 - Definição da massa específica (a) separação da amostra (b) colocação no cesto de arame (c) pesagem em balança hidrostática



(a)



(b)



(c)

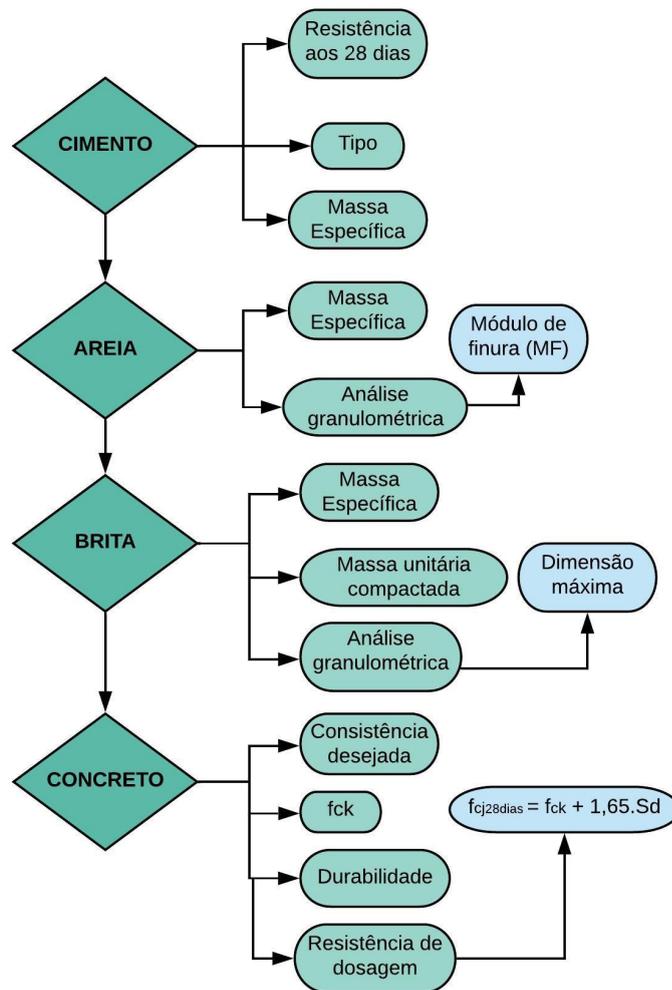
Fonte: Da autora (2021).

Calculou-se a massa específica das amostras, resultando em $1,33 \text{ g/cm}^3$ para as fibras de 15 mm e $1,29 \text{ g/cm}^3$ para as fibras de 30 mm.

3.3 Dosagem e moldagem dos corpos de prova

A dosagem dos concretos foi realizada pelo método ABCP que consiste no cálculo utilizado para determinar os traços. O método possui algumas etapas, como a caracterização dos materiais, conforme Figura 13, a fixação de uma relação água/cimento, a determinação do consumo de materiais e a apresentação do traço.

Figura 13 - Fluxograma esquemático da caracterização dos materiais



Fonte: Adaptado pela autora com base em Curti (2020).

Todos os materiais foram caracterizados pela equipe do LATEC através dos ensaios específicos conforme as normas vigentes. Foram previamente estipulados a consistência desejada do concreto em $10 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$ e a resistência característica do concreto (f_{ck}) em 25

MPa. Dessa forma, para garantir que o f_{ck} desejado fosse alcançado, foi necessário realizar o cálculo da dosagem, expresso pela Equação 01, onde obteve-se o valor de 31,6 MPa.

$$f_{cj28dias} = f_{ck} + 1,65 \cdot sd \quad (01)$$

Sendo:

f_{cj} a resistência à compressão na idade de J dias;

f_{ck} a resistência característica do concreto;

Sd é o desvio padrão de dosagem

O desvio padrão de dosagem (Sd) foi determinado em função da condição de preparo do concreto, através da Tabela 05, sendo definido como 4,0.

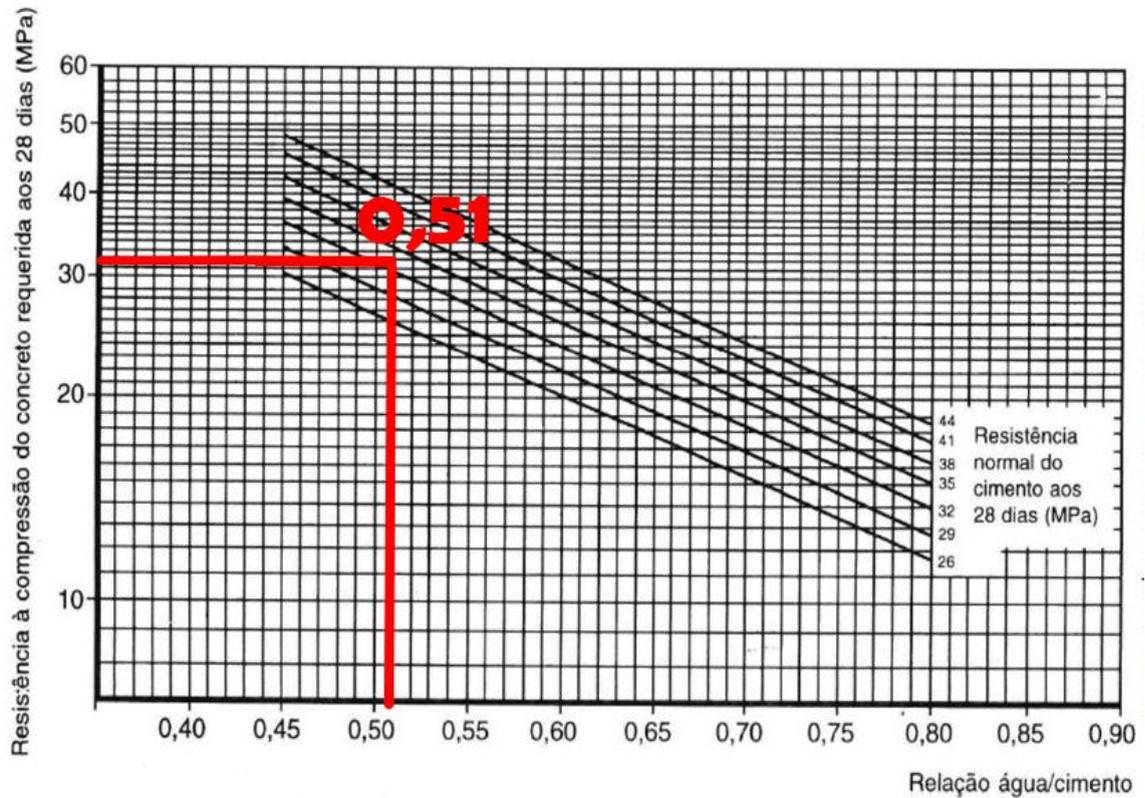
Tabela 05 - Desvio padrão em função da condição de preparo

Condição		Sd
A	Aplicável a todas as classes de concreto. O cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados.	4,0
B	Aplicável às classes C10 a C20. O cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume.	5,5
C	Aplicável apenas aos concretos de classe C10 e C15. O cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto.	7,0

Fonte: Adaptado pela autora com base em NBR 12655 (ABNT, 2015).

Em seguida, foi fixada uma relação água/cimento considerando o resultado obtido na Equação 01 e o tipo de cimento. Relacionando esses dados na curva de Abrams obteve-se então a relação água/cimento de 0,51, conforme observa-se na Figura 14.

Figura 14 - Relação água cimento na curva de Abrams



Fonte: Curti (2020) adaptado pela autora.

A determinação do consumo de água foi dada pela tabela da ABCP que relaciona o abatimento desejado com a dimensão máxima do agregado graúdo. Assim, com os dados de consumo de água e relação água/cimento foi possível obter o consumo de cimento em 401,96 Kg/m³, através da Equação 02.

$$C_c = \frac{Ca}{a/c} \quad (02)$$

Sendo:

C_c o consumo de cimento;

Ca o consumo de água;

a/c a relação água/cimento.

Para a determinação do consumo de agregado graúdo foi preciso verificar a porcentagem de agregado graúdo na mistura, conforme tabela da ABCP que relaciona a dimensão máxima ao módulo de finura. Em seguida o consumo obtido foi de 1102,5 kg/m³, calculado através da Equação 03.

$$C_b = V_b \cdot M_u \quad (03)$$

Sendo:

C_b o consumo de agregado graúdo;

V_b a porcentagem do agregado graúdo seco por m³ de concreto;

M_u a massa unitária compactada do agregado graúdo.

Da mesma forma que o agregado graúdo, para a determinação do consumo de areia foi necessário determinar inicialmente a porcentagem de agregado miúdo na mistura, conforme a Equação 4.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (04)$$

Sendo:

V_m o volume de areia;

C_c o consumo de cimento;

C_b o consumo de agregado graúdo;

C_a o consumo de água;

γ_c a massa específica do cimento;

γ_b a massa específica do agregado graúdo;

γ_a a massa específica da água.

Assim o consumo de areia foi dado pela multiplicação do valor encontrado de volume da areia pela massa específica da areia, obtendo assim um consumo de areia de 698,81 Kg/m³.

Com todos os consumos de materiais determinados foi utilizado o traço de referência 1 : 1,74 : 2,74 e relação água/cimento de 0,51. Cada traço apresentou um volume estimado de 60 litros por mistura, sendo realizado o cálculo do quantitativo de materiais para que fossem moldados 12 corpos de prova cilíndricos e 3 prismáticos por traço. Cada traço, tem seu quantitativo de materiais discriminado na Tabela 06 sendo apresentada uma nomenclatura para identificação da composição das dosagens. Com o traço de referência definido, foram adicionadas as porcentagens de fibra de PET, em volume de concreto, sendo as quantidades em quilogramas definidas para cada traço através do cálculo com base nos ensaios de massa específica das amostras fibra. A nomenclatura utilizada para os traços em análise, apresenta o Traço Referência sem adição de fibras e os demais apresentam teores de adição do material indicando o comprimento “L” de cada fibra.

Tabela 06 - Traços

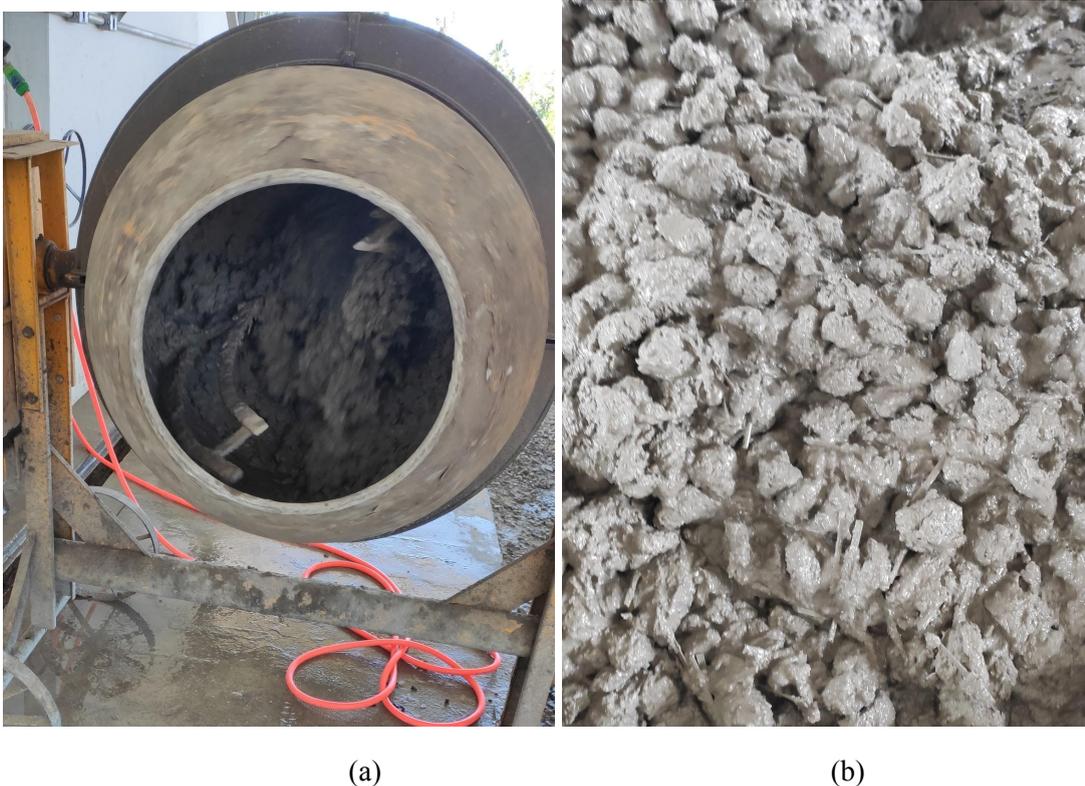
Traço	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita 1 (Kg)	a/c (Kg)	Fibra (Kg)
Referência	25,33	44,04	69,49	12,92	0
L15 0,2%	25,33	44,04	69,49	12,92	0,15
L15 0,5%	25,33	44,04	69,49	12,92	0,39
L15 0,7%	25,33	44,04	69,49	12,92	0,54
L30 0,2%	25,33	44,04	69,49	12,92	0,15
L30 0,5%	25,33	44,04	69,49	12,92	0,37
L30 0,7%	25,33	44,04	69,49	12,92	0,52

Fonte: Da autora (2021).

Uma betoneira de eixo vertical foi utilizada para concretagem, conforme observado na Figura 15, sendo adicionada a brita 1 e logo em seguida a metade da água, deixando misturar por 1 minuto. O cimento foi adicionado para formar uma pasta homogênea, de forma a envolver o agregado, foi adicionada a areia e o restante da água. Por fim a fibra foi adicionada

aos poucos e quando necessário foi inserido o aditivo superplastificante, deixando o concreto misturar na betoneira por aproximadamente 5 minutos.

Figura 15 - Mistura do concreto (a) mistura na betoneira (b) concreto homogêneo



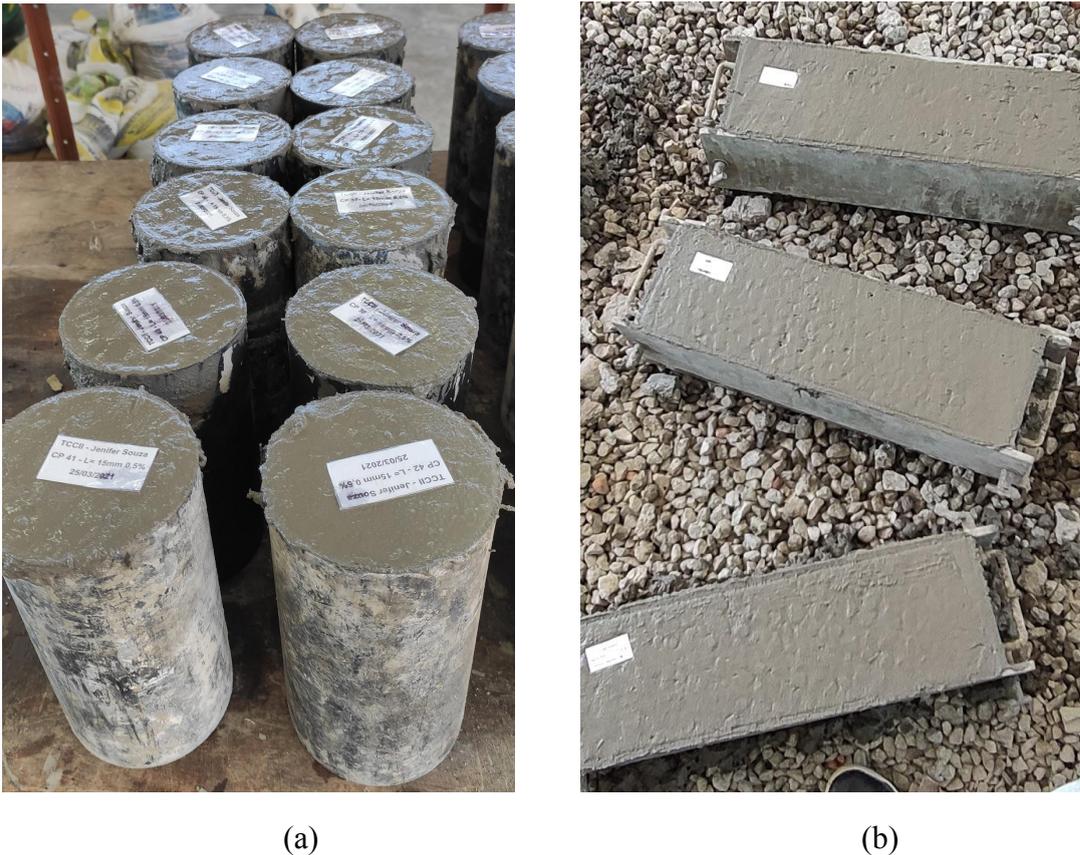
Fonte: Da autora (2021).

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em moldes cilíndricos e prismáticos, sendo os cilíndricos para os ensaios de compressão e tração por compressão diametral, utilizando 3 CP's para cada idade em cada ensaio e em cada traço. Da mesma forma, os prismáticos foram utilizados para o ensaio de Tração na flexão, sendo utilizados 3 CP's para a idade de 28 dias para cada traço. Os moldes seguiram os padrões da NBR 5738 (ABNT, 2016), sendo o molde cilíndrico com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm e os moldes prismáticos com seção transversal quadrada de dimensões de 15 cm x 15 cm x 50 cm, sendo o vão de ensaio de 40 cm.

A moldagem foi realizada com uma amostra do concreto, conforme especificado na NBR NM 33 (ABNT, 1998), tendo seu abatimento pré-determinado. O adensamento dos moldes foi realizado de forma manual, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2016), sendo o molde

cilíndrico preenchido em duas camadas, utilizando uma haste para golpear o concreto 12 vezes por camada e o molde prismático foi preenchido também em duas camadas que levaram 75 golpes. Por fim, o rasamento da superfície foi feito e os CP's devidamente identificados, conforme observa-se na Figura 16.

Figura 16 - Moldagem dos Corpos de Prova (a) CP's cilíndricos (b) CP's prismáticos



Fonte: Da autora (2021).

Após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em local com superfície horizontal rígida para a cura inicial. Conforme a NBR 5738 (ABNT, 2016), a cura inicial para os corpos de prova cilíndricos ocorre durante as primeiras 24 horas e para os corpos de prova prismáticos, durante as primeiras 48 horas. Após esse período, até o ensaio de 7 e 28 dias, os corpos de prova foram armazenados em câmara úmida à $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ e umidade relativa do ar superior a 95%.

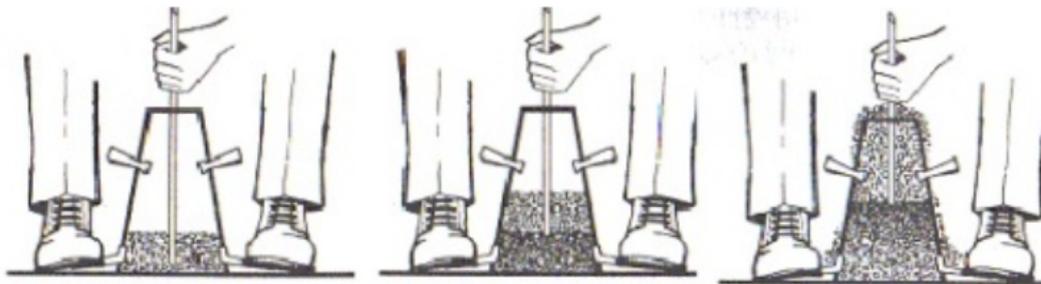
3.4 Estado Fresco

É importante que se defina as propriedades do concreto no estado fresco, ou seja, no espaço de tempo que o concreto permanece plástico. A combinação de características como a consistência, a coesão e a homogeneidade, são denominadas de trabalhabilidade tendo grande importância.

3.4.1 *Slump test*

Com o concreto no estado fresco foi realizada a verificação do abatimento do concreto ainda em seu estado fresco, através do ensaio de tronco de cone, mais conhecido como *slump test*, regido pela NBR NM 67 (ABNT, 1998). Os materiais utilizados no ensaio foram uma chapa metálica, o cilindro tronco cônico, a haste para adensamento, uma colher de pedreiro e uma trena. O ensaio foi realizado de acordo com a norma, colocando sobre uma chapa metálica o cilindro de formato cônico com dimensões de abertura de 10 e 20 cm de diâmetro e altura de 30 cm. Dentro do cilindro foram colocadas 3 camadas de concreto, com aplicação de 25 golpes por camada utilizando a haste de aço, conforme se observa na Figura 17. Ao fim dos golpes a última camada deve ser desempenada.

Figura 17 - Demonstração da execução das camadas do *slump test*



Fonte: Clube do concreto (2016, texto digital).

O molde cônico foi retirado verticalmente e colocado ao lado do concreto para realizar a medida do abatimento, sendo que a medida consiste na diferença de altura entre o topo do molde metálico e altura resultante do concreto moldado pelo cone, conforme se observa na Figura 18.

Figura 18 - Medição do abatimento



Fonte: Da autora (2021).

3.4.2 Massa Específica

A massa específica do concreto é a massa da unidade de volume, incluindo seus vazios. Ela foi determinada pelo método gravimétrico conforme estabelece a NBR 9833 (ABNT, 2009).

3.5 Estado Endurecido

O concreto no estado endurecido possui propriedades importantes que devem ser definidas, como no caso do presente trabalho, a resistência aos esforços mecânicos. Dessa forma, serão realizados os ensaios de compressão, tração por compressão diametral e tração na flexão.

3.5.1 Compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018) com ruptura dos corpos de prova nas idades de 7 e 28 dias, sendo que para cada idade foi registrado a resistência de 3 corpos de prova de cada traço. Antes da realização do ensaio os corpos de prova foram devidamente retificados, sendo o ensaio realizado em uma prensa hidráulica disponível no LATEC, conforme Figura 19, que efetuou o carregamento nos corpos de prova de forma contínua e sem choques, com velocidade de carregamento de 0,45 MPa admitindo-se uma variação de 0,15 MPa.

Figura 19 - Ensaio de compressão



Fonte: Da autora (2021).

3.5.2 Tração por compressão diametral

Foi realizada uma análise da resistência à tração do concreto através do ensaio de tração por compressão diametral, sendo seguidas as instruções da NBR 7222 (ABNT, 2011).

O ensaio foi realizado com corpos de prova cilíndricos com ruptura nas idades de 7 e 28 dias, sendo submetidos ao ensaio 3 corpos de prova para cada idade, e para cada traço. Foi utilizada a mesma prensa hidráulica disponível no LATEC, porém colocando o corpo de prova de forma que seu plano axial coincida com o eixo de aplicação do carregamento, como mostra a Figura 20. A carga de ensaio deve ser aplicada de forma contínua em velocidade de 0,05 MPa/s, admitindo-se uma variação de 0,02 MPa/s, até a ruptura do corpo de prova.

Figura 20 - Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Da autora (2021).

3.5.3 Tração na Flexão

O ensaio de tração na flexão foi realizado de acordo com as instruções da NBR 12142 (ABNT, 2010) utilizando corpos de prova prismáticos, definidos pela NBR 5738 (ABNT, 2016), sendo rompidos aos 28 dias submetendo ao ensaio 3 corpos de prova para cada traço. O ensaio consiste na aplicação de um carregamento nos trechos do vão, de forma contínua e com um aumento de tensão compreendido entre 0,9 e 1,2 MPa/min, que foi realizado pela prensa hidráulica disponível no LATEC. Foi feita uma adaptação na prensa com um

dispositivo de flexão, conforme observado na Figura 21, de forma que assegure a aplicação da força de forma perpendicular nas faces superior e inferior do corpo de prova.

Figura 21 - Dispositivo do ensaio de tração na flexão



Fonte: Da autora (2021).

3.6 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada com auxílio do software InfoStat, onde os dados inicialmente foram submetidos a um teste de normalidade por Shapiro Wilkis, para verificar se os dados seguiam a distribuição normal. Posteriormente realizou-se uma análise de variância (ANOVA) com as médias comparadas pelos testes de Scott Knott com $p < 0,05$ e Tukey com $p < 0,01$, quando os dados seguem uma distribuição normal ($p > 0,05$), ou uma

análise de variância não paramétrica pelo método de Kruskal Wallis nos casos em que não ocorreu uma distribuição normal dos dados. Por fim, realizou-se uma comparação entre os dois tamanhos de fibras analisados (L15 e L30) através do teste t de Student ($p < 0,01$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo apresenta as análises e discussões dos resultados obtidos nos ensaios propostos no programa experimental, descritos no capítulo 3, visando atingir o objetivo principal e os objetivos específicos propostos para este estudo. Cabe salientar que os resultados dos ensaios no estado endurecido do concreto passaram por um tratamento espúrio estatístico, visando eliminar resultados fora do desvio padrão. Os resultados de cada um dos ensaios estão apresentados nos apêndices deste trabalho.

4.1 Slump test

O ensaio de abatimento do tronco de cone foi realizado para cada traço, conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998), sendo adicionado aditivo superplastificante SulPlast da RodoQuímica quando necessário. Conforme pode ser visto na Tabela 07 percebe-se que as fibras de PET no tamanho de 15 mm praticamente não afetaram na trabalhabilidade do concreto quando comparado com o concreto referência. Porém para que atingisse o abatimento final, dentro da faixa estabelecida em $10\text{cm} \pm 2\text{cm}$, foi necessária a adição de aditivo superplastificante, resultando no abatimento final também exposto na tabela. Quando adicionadas as fibras de PET de 30 mm se fez desnecessária a adição de aditivo, pois o abatimento ficou dentro da faixa estabelecida. De acordo com Meneses (2011), esse aumento da trabalhabilidade está relacionado com a geometria da fibra, que por ser lisa proporciona a formação de uma película de água em torno dela deslizando e não absorvendo a água de amassamento, não interferindo na relação água/cimento.

Tabela 07 - Abatimento de tronco cone

	Abatimento inicial (mm)	Adição de aditivo (gr)	Abatimento final (mm)
REFERÊNCIA	50	35	120
L15 0,2%	50	35	110
L15 0,5%	50	35	100
L15 0,7%	60	30	100
L30 0,2%	120	-	-
L30 0,5%	105	-	-
L30 0,7%	95	-	-

Fonte: Da autora com base nos resultados obtidos (2021).

4.2 Massa específica do concreto

Para determinação da massa específica dos concretos foi realizada a pesagem dos corpos de prova e aplicada a Equação 05 que resultou na tabela 08.

$$\rho = \frac{m}{V} * 1000 \quad (05)$$

Sendo:

ρ a massa específica (Kg/m³);

m a massa de concreto (Kg);

V o volume do recipiente (d³).

Tabela 08 - Massa específica para cada traço

Traço	Massa específica (Kg/m³)
REFERÊNCIA	2571,94
L15 0,2%	2521,01
L15 0,5%	2540,11
L15 0,7%	2546,48
L30 0,2%	2552,85
L30 0,5%	2514,65
L30 0,7%	2521,01

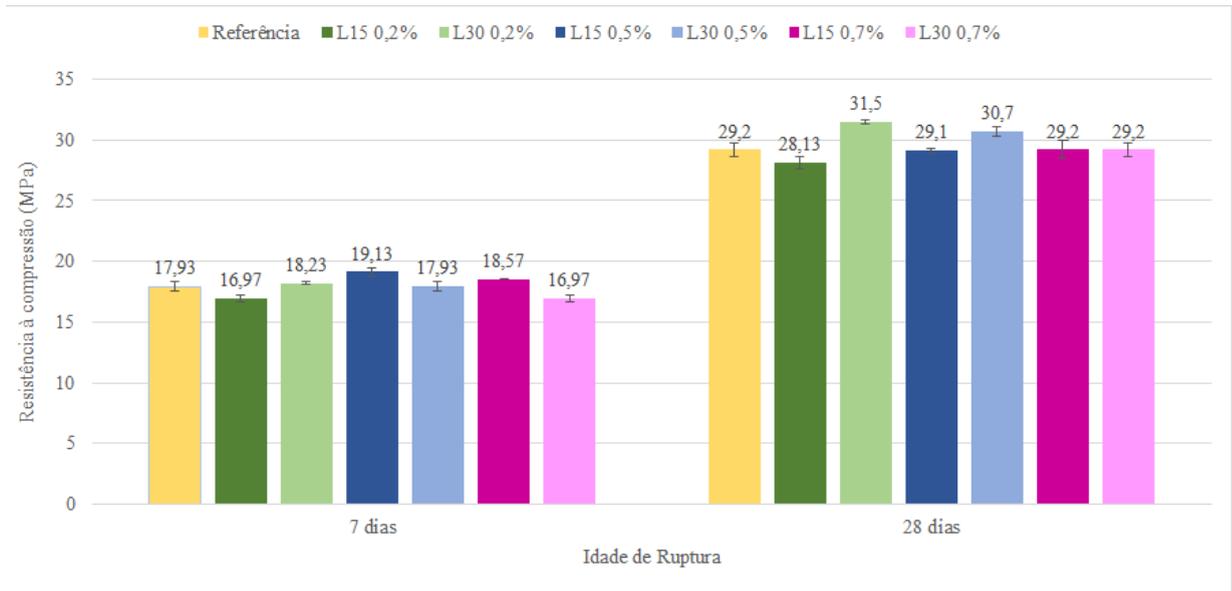
Fonte: Da autora com base nos resultados obtidos (2021).

De acordo com a tabela 08 percebe-se que a massa específica dos traços com a adição de fibra é inferior ao traço referência. Conforme Silva (2013) isso se deve ao fato de que no lugar ocupado por argamassa no traço referência, agora no traço com fibras é ocupado pelo PET que é mais leve que a argamassa, auxiliando na redução da massa específica final do concreto, tornando-o levemente menos denso que os concretos sem adição de fibras.

4.3 Resistência à compressão simples

Com o concreto produzido realizou-se o ensaio de resistência à compressão, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), com ruptura dos corpos de prova nas idades de 7 e 28 dias. O Gráfico 04 apresenta um comparativo com as médias dos resultados de resistência à compressão do traço sem adição de fibras com os traços com adição de fibras de PET nas idades pré estabelecidas. Considerando apenas as médias, podemos perceber que aos 7 dias os traços com adição da fibra de 15 mm nas proporções de 0,5 e 0,7% e da fibra de 30 mm na proporção de 0,2%, apresentaram uma resistência à compressão maior quando comparado ao traço referência, enquanto o traço da fibra de 30 mm na proporção de 0,5% praticamente não teve alteração quando comparada ao traço referência. Porém pode-se perceber que o traço da fibra de 15mm com adição de 0,2% e da fibra de 30mm com adição de 0,7%, apresentaram uma média de resistência inferior ao traço de referência. Já aos 28 dias verificou-se que os traços com fibras de 15 mm nas proporções de 0,2 e 0,5% apresentaram uma média de resistência inferior ao traço referência e os traços com adição da fibra de 30 mm na proporção de 0,2% e 0,5% apresentaram uma média de resistência maior que ao traço referência, porém não muito significativa. Enquanto os traços na proporção de 0,7% em ambos os comprimentos de fibras apresentaram médias iguais ao traço de referência.

Gráfico 04 - Resistência à compressão



Fonte: Da autora com base nos resultados obtidos (2021).

Os resultados obtidos aos 28 dias demonstram um ganho de resistência quando comparado aos 7 dias, porém quando comparados o traço sem adição de fibra aos traços com adição de fibra, percebe-se que não há um aumento ou diminuição significativa da resistência à compressão.

A análise de variância (ANOVA) foi realizada para os traços de ambos os comprimentos de fibra de forma isolada, tendo como objetivo verificar a influência da adição das fibras, nos diferentes teores, na resistência do concreto, ou seja, buscou-se verificar se realmente não houve influência do percentual de adição na resistência à compressão do concreto. Posteriormente realizou-se um teste t de Student para verificar se na mesma proporção de adição de fibra houve alguma influência do comprimento da fibra de PET. Podemos observar tais análises na Tabela 09.

Tabela 09 - Análise de variância ANOVA aos 28 dias

Resistência à compressão	
Fibra de 15 mm	
0	29,2 ± 0,6 a
0,2	28,14 ± 0,49 aA
0,5	29,09 ± 0,2 aA
0,7	29,19 ± 0,73 aA
Fibra de 30 mm	
0	29,2 ± 0,6 a
0,2	31,48 ± 0,2 bB
0,5	30,73 ± 0,4 bB
0,7	29,18 ± 0,6 aA

Os valores apresentados são a média da resistência à compressão de três amostras ± o desvio padrão. A análise de variância foi realizada por ANOVA de acordo com Scott Knott ($p < 0,05$), onde letras minúsculas representam a comparação da resistência do concreto sem e com adição de fibras e letras maiúsculas representam a comparação entre as duas dimensões de fibra de PET (L15 e L30), pelo teste t de Student ($p < 0,01$).

Fonte: Da autora com base nos resultados obtidos (2021).

Conforme observa-se na Tabela 09, os traços com adição da fibra de PET de 15 mm estatisticamente, indicaram que não houve influência das proporções de fibra adicionadas na resistência à compressão do concreto, sendo todas as médias analisadas consideradas estatisticamente iguais ($p < 0,05$) ao traço referência. Já quando analisados os traços com adição da fibra de PET de 30mm estatisticamente percebemos que há influência das fibras na resistência à compressão, ocorrendo uma igualdade entre o traço referência e o traço com adição de 0,7% e outra igualdade entre os traços com 0,2 e 0,75%.

Analisando a comparação dos traços de mesma proporção de adição, porém considerando as duas dimensões de fibra de PET (L15 e L30), pelo teste t de Student ($p < 0,01$), percebe-se que para a adição na proporção 0,2 e 0,5% há influência do comprimento da fibra no resultado da resistência à compressão, sendo considerado um resultado melhor com a fibra de 15 mm. Enquanto a proporção de 0,7% de adição de fibra não teve influência do comprimento da fibra na resistência.

4.4 Resistência à tração por compressão diametral

Realizou-se o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011), com ruptura dos corpos de prova nas idades de 7 e 28 dias. Aos 28 dias observou-se que quanto maior era a adição de fibras por mais que o CP “rachasse”, como mostra a Figura 22, ele dificilmente se partia ao meio como o traço referência.

Figura 22 - Corpo de prova rompido por compressão diametral



Fonte: Da autora (2021).

Para visualizar as fibras no interior do concreto teve-se dificuldade em separar as duas partes do CP, o que se deve ao entrelaçamento das fibras formando uma ancoragem entre as duas partes. Pode-se visualizar as fibras no concreto conforme a figura 23.

Figura 23 - Distribuição das fibras no interior do concreto

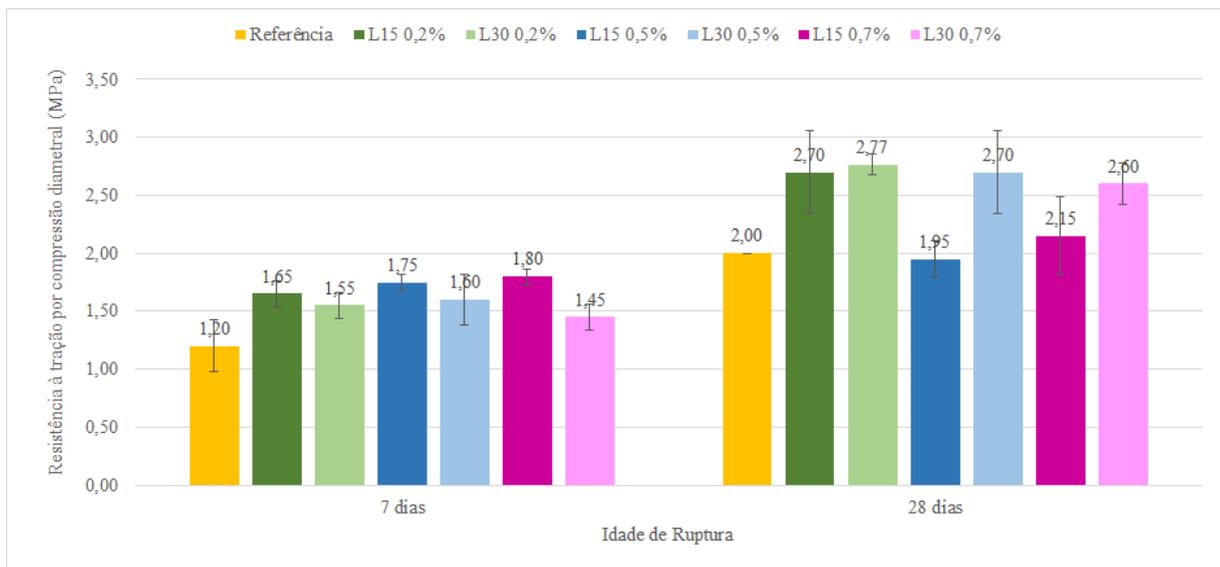


Fonte: Da autora (2021).

O Gráfico 05 apresenta um comparativo com as médias dos resultados de resistência à tração por compressão diametral do traço sem adição de fibras com os traços com adição de

fibras de PET nas idades pré estabelecidas. Considerando apenas as médias, podemos perceber que aos 7 dias os traços de ambos comprimentos de fibras apresentaram em todas as proporções de adição, uma média superior ao traço referência. Já aos 28 dias verificou-se que o traço da fibra de 15 mm com a adição de 0,5% teve uma média inferior ao traço referência, quando o restante das adições de ambos os comprimentos de fibras tiveram um pequeno acréscimo.

Gráfico 05 - Resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Da autora com base nos resultados obtidos (2021).

Realizou-se uma análise de variância (ANOVA) para ambos os comprimentos de fibra de forma isolada, tendo como objetivo verificar a influência da adição das fibras na resistência à tração do concreto, ou seja, buscou-se verificar se houve influência do percentual de adição na resistência à tração do concreto. Posteriormente realizou-se um teste t de Student ($p < 0,01$) para verificar se os traços com a mesma proporção de adição de fibra tiveram alguma alteração na resistência em função do comprimento da fibra. Podemos observar tais análises na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise de variância ANOVA de tração por compressão aos 28 dias

Resistência à tração por compressão diametral	
Fibra de 15 mm	
0	2,00 ± 0 a
0,2	2,43 ± 0,36 aA
0,5	1,83 ± 0,16 aA
0,7	2,38 ± 0,33 aA
Fibra de 30 mm	
0	2,00 ± 0 a
0,2	2,74 ± 0,09 aA
0,5	2,43 ± 0,36 aA
0,7	2,46 ± 0,18 aA

Os valores apresentados são a média da resistência à tração do concreto, por compressão diametral, de três amostras \pm o desvio padrão. A análise de variância da fibra de 15mm foi realizada por ANOVA de acordo com Tukey test ($p < 0,01$) e para a fibra de 30mm foi realizada uma análise de variância não paramétrica por Kruskal Wallis ($p < 0,01$), onde letras minúsculas representam a comparação da resistência do concreto sem e com adição de fibras e letras maiúsculas representam a comparação entre as duas dimensões de fibra de PET (L15 e L30), pelo teste t de Student ($p < 0,01$).

Fonte: Da autora com base nos resultados obtidos (2021).

Conforme observa-se na Tabela 10, nos traços de ambos os comprimentos de fibra analisados verificou-se que estatisticamente as médias de resistência à tração foram iguais ao traço referência, assim as proporções adicionadas não tiveram influência na resistência à tração do concreto ($p < 0,01$). Além disso, quando analisou-se os traços de mesma proporção de adição considerando as duas dimensões de fibra de PET (L15 e L30), pelo teste t de Student, percebeu-se que estatisticamente os comprimentos de fibra não tiveram influência na resistência ($p < 0,01$), sendo considerados estatisticamente iguais.

4.5 Resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado de acordo com a NBR 12142 (ABNT, 2010), com ruptura dos corpos de prova apenas na idade de 28 dias em função da quantidade de formas disponíveis no laboratório e em função da limitação de uso do laboratório devido à pandemia. Nos corpos de prova de traço com a fibra de 30 mm verificamos um maior ancoramento das fibras, não rompendo o CP completamente causando apenas uma rachadura como vemos na Figura 24.

Figura 24 - Rompimento do CP prismático



Fonte: Da autora (2021).

Enquanto nos traços com a fibra de 15 mm verificou-se que o CP se rompeu por completo, como visualiza-se na Figura 25, o que indica que as fibras de 15mm não fornecem um ancoramento tão eficiente quanto o dos traços da fibra de 30mm.

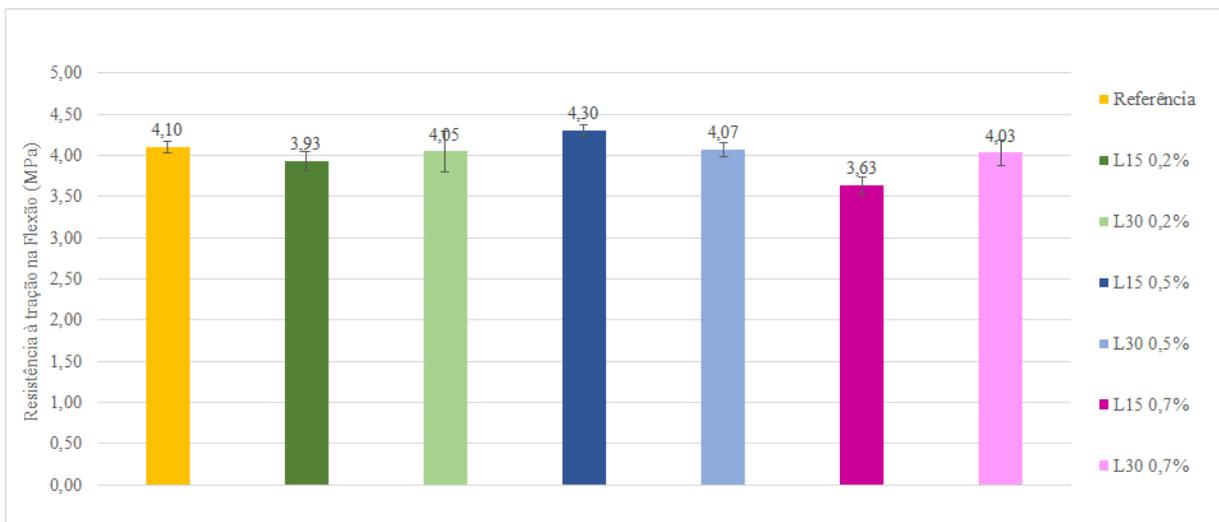
Figura 25 - Distribuição das fibras no CP prismático



Fonte: Da autora (2021).

O Gráfico 06 apresenta um comparativo com as médias dos resultados de resistência à tração na flexão sem adição de fibras com os traços com adição de fibras de PET na idade pré estabelecida. Considerando apenas as médias, podemos perceber que apenas a adição de 0,5% de fibras de 15 mm teve uma média um pouco superior ao traço referência, os demais teores adicionados acabaram reduzindo as médias.

Gráfico 06 - Resistência à tração na flexão



Fonte: Da autora com base nos resultados obtidos (2021).

Realizou-se uma análise de variância (ANOVA) para ambos os comprimentos de fibra de forma isolada, tendo como objetivo verificar a influência da adição das fibras na resistência à tração do concreto, ou seja, buscou-se verificar se houve realmente influência do percentual de adição na resistência à tração na flexão do concreto. E posteriormente realizou-se um teste t de Student ($p < 0,01$) para verificar se para a mesma proporção de adição de fibra houve alguma alteração na resistência em função do comprimento da fibra. Podemos observar tais análises na Tabela 11.

Tabela 11 - Análise de variância ANOVA de resistência à tração na flexão aos 28 dias

Resistência à tração na flexão	
Fibra de 15 mm	
0	4,1 ± 0,07 b
0,2	3,93 ± 0,11 aA
0,5	4,3 ± 0,07 bA
0,7	3,63 ± 0,11 aA
Fibra de 30 mm	
0	4,1 ± 0,07 a
0,2	4,23 ± 0,24 aA
0,5	4,97 ± 0,09 aA
0,7	4,03 ± 0,16 aA

Os valores apresentados são a média da resistência à tração do concreto, por compressão diametral, de três amostras \pm o desvio padrão. A análise de variância foi realizada por ANOVA de acordo com Scott Knott ($p < 0,05$), onde letras minúsculas representam a comparação da resistência do concreto sem e com adição de fibras e letras maiúsculas representam a comparação entre as duas dimensões de fibra de PET (L15 e L30), pelo teste t de Student ($p < 0,01$).

Fonte: Da autora com base nos resultados obtidos (2021).

Conforme observa-se na tabela 11, os traços com adição da fibra de 15 mm estatisticamente tiveram influência sobre a resistência considerando o teor da adição. Percebe-se que o traço referência e o traço com 0,5% de adição são considerados estatisticamente iguais, e os traços com adição de 0,2 e 0,7% também são considerados estatisticamente iguais ($p < 0,05$) sendo avaliado que os traços de 0,2 e 0,7% tiveram um desempenho melhor que o traço referência. Já quando avaliados os traços com a adição das fibras de PET de 30 mm, indicaram que estatisticamente não houve influência das proporções de fibra adicionadas na resistência à tração na flexão do concreto, sendo todas as médias analisadas consideradas estatisticamente iguais ($p < 0,01$) ao traço referência.

Analisando a comparação dos traços de mesma proporção de adição porém considerando as duas dimensões de fibra de PET (L15 e L30), pelo teste t de Student ($p < 0,01$), percebe-se que estatisticamente ($p < 0,01$) os comprimentos de fibra não tiveram influência na resistência à tração na flexão, sendo considerados estatisticamente iguais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca pela melhora da qualidade e da sustentabilidade dos materiais utilizados no setor da construção civil deve ser constante. Por isso esse estudo teve como objetivo avaliar o comportamento mecânico do concreto reforçado com fibras de PET e assim colaborar com o avanço tecnológico e sustentável dos materiais alternativos a serem adicionados no concreto.

A análise dos dados experimentais apresentados no desenvolvimento deste trabalho mostrou que considerando os resultados obtidos e analisados estatisticamente, pode-se dizer que tanto os teores de adição das fibras quanto o fator comprimento das fibras, considerados no presente trabalho, não tiveram influência significativa nas propriedades mecânicas do concreto.

Quando analisada a influência dos teores e comprimentos de fibra de PET sobre a trabalhabilidade do concreto, verificou-se que o valor do abatimento dos concretos com a adição das fibras de 30 mm, foi muito superior quando comparado ao traço referência, sendo desnecessária a utilização do aditivo superplastificante. Conforme estudos preliminares, isso provavelmente se deve à geometria da fibra, que por ser bastante lisa proporciona a formação de uma película de água em torno dela fazendo com que deslize com maior facilidade. Além disso, a adição das fibras influenciou na massa específica do concreto, ocorrendo uma redução desta quando comparada ao traço referência. Essa redução deve-se à substituição dos espaços dos agregados convencionais por um material menos denso (fibras de PET), proporcionando a redução da massa específica de todo o conjunto.

Considerando os teores de fibra adicionados, pode-se perceber que na resistência à compressão as fibras de 15 mm não tiveram influência, sendo todos os traços analisados considerados estatisticamente iguais ($p < 0,05$) ao traço referência. Já os traços das fibras de 30 mm apresentaram influência na resistência à compressão, ocorrendo uma igualdade entre o traço referência e o traço com adição de 0,7% e outra igualdade entre os traços com 0,2 e 0,7%. Na resistência à tração por compressão diametral todos os traços analisados, para ambos os comprimentos de fibra, são considerados estatisticamente iguais, não havendo influência nem da proporção nem do comprimento na resistência à tração. Já na resistência à tração na flexão os traços com adição de fibras de 15 mm percebe-se que houve influência, visto que o traço referência e o traço com 0,5% de adição são considerados estatisticamente iguais, e os traços com adição de 0,2 e 0,7% também são considerados estatisticamente iguais ($p < 0,05$), sendo avaliado que os traços de 0,2 e 0,7% tiveram um desempenho melhor que o traço referência. Porém quando avaliados os traços com a adição das fibras de PET de 30 mm, estatisticamente não causaram influência na resistência à tração na flexão do concreto, sendo todas as médias analisadas consideradas estatisticamente iguais ($p < 0,01$) ao traço referência.

Analisando os comprimentos de fibras estudados frente às mesmas proporções adicionadas, verificamos que na resistência à compressão tivemos influência dos comprimentos nas adições de 0,2 e 0,5%, sendo considerado melhor resultado na fibra de 15 mm. Já nos ensaios de resistência à tração tanto por compressão diametral como na flexão, o comprimento da fibra não teve influência sobre os resultados.

Tendo em vista os estudos realizados conforme bibliografia da área, foi obtido um resultado promissor, pois apesar de não proporcionar um aumento da resistência do concreto, a adição das fibras não influenciou negativamente causando a perda da resistência à compressão por exemplo. Para melhorar a confiabilidade dos resultados poderiam ser realizados mais testes dessas mesmas proporções com um número maior de corpos de prova, e ainda realizar novos testes com outras proporções.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, Guilherme. **Obtenção e caracterização de vidro expandido a partir de vidro de para-brisa de carro**. 2014. 53 f. Monografia (Graduação em Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/109679> Acesso em: 12 out. 2020
- AFROZ, M.; HASAN, M. J.; HASAN, M. Performance of plain pet fibres to enhance the mechanical behavior of concrete under tension and shear. **International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)**. Bangladesh, v. 2, n. 9, p. 1668-1672, set. 2013. ISSN: 2278-7798 Disponível em: <http://ijsetr.org/wp-content/uploads/2013/09/IJSETR-VOL-2-ISSUE-9-1668-1672.pdf> Acesso em: 1 set. 2020.
- AIRES, E. K. S. **Sustentabilidade na construção civil: o caso de uma residência padrão popular**. 2019. 83 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Uninovafapi, Teresina. Disponível em: https://assets.uninovafapi.edu.br/arquivos/old/arquivos_academicos/repositorio_Biblioteca/engenharia_civil/20191/SUSTENTABILIDADE%20NA%20CONSTRU%C3%87%C3%83O%20CIVIL-%20O%20CASO%20DE%20UMA%20RESID%C3%8ANCIA%20PADR%C3%83O%20POPULAR.pdf Acesso em: 27 set. 2020.
- ALMEIDA, S. P. **Uso de Politereftalato de Etileno (PET) como agregado em peças de concreto para pavimento intertravado**. 2016. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/929> Acesso em: 12 out. 2020
- ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. **Manual de agregados para a construção civil**. 2ª Edição, p. 432, Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. *E-book*. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2043> Acesso em: 27 set. 2020.
- ANGULO, S. C.; FIGUEIREDO, A. D. Concreto com agregados reciclados. In: **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 2011, 2ª Edição, Capítulo 47, p.1731-1767, IBRACON.

ARAÚJO, V. M.; CARDOSO, F. F. Análise dos aspectos e impactos ambientais dos canteiros de obras e suas correlações. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**. Departamento de Engenharia e Construção Civil. São Paulo, 2010.

ASHA, S.; RESMI, P. R. Experimental research on concrete with straight and crimped waste plastic fibres. **International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies**. v. 8, n. 2, p. 55-71, set. 2015. ISSN: 2231-6604 Disponível em: <http://www.ijeset.com/media/4N23-IJES0802111-V8-I2-PP55-71.pdf> Acesso em: 1 set. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET (**ABIPET**). São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://abipet.org.br> Acessado em: 19 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 33**: Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12142**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NM-ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT). Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7222**: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12653**: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX). **Manual de utilização EPS na construção civil**. São Paulo: Pini, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (ABRECON). Disponível em: <https://abrecon.org.br/entulho/o-que-e-entulho/> Acesso em: 12 out. 2020

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 27 set. 2020.

CABRAL, S. C.; AZEVEDO, M. A. Materiais alternativos para adição ao cimento Portland. **Revista Científica Vozes dos Vales**. Minas Gerais, v. 10, p. 1-16. out. 2016. ISSN: 2238-6424. Disponível em: <http://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2016/09/Stenio23.pdf> Acesso em: 04 out. 2020.

CARNIO, M. A. **Propagação de trincas por fadiga do concreto reforçado com baixos teores de fibra**. 2009. 167 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, Campinas. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/264892/1/Carnio_MarcoAntonio_D.pdf Acesso em: 12 out. 2020

CHOI, Y-W; MOON, D-J; CHUNG, J-S; CHO, S-K. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. **Cement and Concrete Research**. Reino Unido. v. 35, n. 4, p. 776–781, Abr. 2005. ISSN: 0008-8846. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.05.014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.014> Acesso em: 27 set. 2020

CICLO VIVO REDAÇÃO. **Brasil recicla 311 mil toneladas de garrafas PET em 2019**. Ciclo Vivo, 28 mai. 2020. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/inovacao/negocios/brasil-recicla-311-mil-toneladas-de-garrafas-pet-em-2019/#:~:text=De%20acordo%20com%20o%2011%C2%BA,acima%20do%20registrado%20em%202018> Acesso em: 07 set. 2020.

CLUBE DO CONCRETO. **O que é Slump Test (ensaio de abatimento)?** Disponível em: http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/o-que-e-slump-test-ensaio-de-abatimento_29.html Acesso em: 07 set. 2019

COOPERATIVA CENTRAL DO ABC - Coopcent ABC. **Vassoura PET**. 06 jan. 2015. Vídeo do canal CoopcentTv no YouTube (6 min 37 s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=9UgCm_Mk0AU Acesso em: 28 jul. 2020.

CORÓ, A. G. **Investigação das propriedades mecânicas de concretos reforçados com fibras de PET**. 2002. 64 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Unijuí), Ijuí. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Angela-Ghisleni-Cor.pdf> Acesso em: 27 set. 2020

CURTI, R. **Dosagem do concreto pelo método ABCP**. Associação Brasileira de Cimento Portland. ABCPonline, 27 jul. 2020. Disponível em: <https://abcp.org.br/abcponline/dosagem-do-concreto-pelo-metodo-abcp/>. Acesso em: 27 jul. 2020.

DI GIULIO, G. Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto. **Inovação Uniemp**. Campinas, v. 3, n. 3, p. 12-15, jun. 2007. ISSN 1808-2394 Disponível em: http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-23942007000300008&lng=es&nrm=is Acesso em: 11 out. 2020.

FADHIL, S.; YASEEN, M. The production of economical precast concrete panels reinforced by waste plastic fibers. **American Journal of Civil Engineering and Architecture**, 2015, v. 3, n. 3, p. 80-85, jul. 2015. DOI: 10.12691/ajcea-3-3-4 Disponível em: <http://pubs.sciepub.com/ajcea/3/3/4> Acesso em: 11 out. 2020.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto com fibras de aço. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP BT/PCC/260**. 2000, São Paulo, 68 p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2000. ISSN 0103-9830

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto Reforçado com fibras**. 2011. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/publico/TeseLivredocenciaAntonioFigueiredo2011.pdf> Acesso em: 1º out. 2020

FIGUEIREDO, A.; ALVES, A. P. M.; FERNANDES JUNIOR, V. J.; ARAÚJO, A. S. Reciclagem terciária do poli (etileno tereftalato) visando a obtenção de produtos químicos e combustível: uma revisão. **Revista Virtual Química**. Natal, v. 7, n. 4, p. 1145-1162, jan. 2015. ISSN: 1984-6835 DOI: 10.5935/1984-6835.20150064 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150064> Acesso em: 27 set. 2020.

FOTI, D. Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers. **Construction and Building Materials**. Países Baixos, v. 25, n. 4, p. 1906-1915, abr. 2011. ISSN: 0950-0618 DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.11.066 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.066> Acesso em: 12 out. 2020

FOTI, D., PAPARELLA, F. Impact behavior of structural elements in concrete reinforced with PET grids. **Mechanics Research Communications**. Reino Unido, v. 57, 2014, p. 57-66, abr. 2014. ISSN: 0093-6413 DOI:10.1016/j.mechrescom.2014.02.007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechrescom.2014.02.007> Acesso em: 12 out. 2020.

FREIRE, M. T. A.; REYES, F. G. R. A importância do polietileno tereftalato (PET) na indústria de embalagens para alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 29, 2009.

GALVÃO, J.C.A. **Uso de materiais poliméricos reciclados em estruturas de concreto para superfícies hidráulicas**. 2010. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia e ciência dos materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/25004> Acesso em: 08 out. 2020

GARCIA, E.; JUNIOR, M. C.; QUARCIONIB, V. A.; CHOTOLIB, F. F. Resíduo de Cerâmica Vermelha (CRV): Uma alternativa como material Pozolânico. **Cerâmica Industrial**. São Paulo, v. 19, n. 4, p. 31-38, Ago. 2014. ISSN: 1413-4608 DOI: 10.4322/cerind.2014.083 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2014.083> Acesso em: 08 out. 2020.

GIACOBBE, S. **Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento Portland com adição de borracha de pneus**. 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-15082008-100223/pt-br.php> Acesso em: 12 out. 2020

HANNAWI, K.; KAMALI-BERNARD, S.; PRINCE, W. Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. **Waste Management**. Estado Unidos, v. 30, n. 11, p. 2312-2320, nov. 2010. ISSN: 0956-053X. DOI: 10.1016/j.wasman.2010.03.028 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.03.028> Acesso em: 08 out. 2020.

IRWAN, J. M.; ASYRAF, R. M.; OTHMAN, N.; KOH, H. B.; ANNAS, M. M. K.; FAISAL, S. K. The Mechanical Properties of PET Fiber Reinforced Concrete From Recycled Bottle Wastes. **Advanced Materials Research**. Alemanha, v. 795, p. 347-351, Set. 2013. ISSN: 1022-6680. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.795.347 Disponível em: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.795.347> Acesso em: 08 out. 2020

ISAIA, G. C. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. 1ª Ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005. v. 2, IBRACON, 2005.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Doutorado em Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: https://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV_Vanderley_John_-_Reciclagem_Residuos_Construcao_Civil.pdf Acesso em: 27 set. 2020

JÚNIOR, J. C. A.; SILVA, L. C. F.; MORAVIA, W. G. Análise experimental da adição de fibras poliméricas nas propriedades mecânicas do concreto. **Revista Matéria**. Belo Horizonte, v. 22, n. 1, p.101-109, out. 2017. ISSN: 1517-7076 DOI: 10.1590/S1517-707620170001.0112 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0112> Acesso em: 11 out. 2020

KIM, S. B.; YI, N. H.; KIM, H. Y.; KIM, J. H. J.; SONG, Y. C. Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. **Cement & Concrete Composites**. Reino Unido, v. 32, n. 3, p. 232-240, mar. 2010. ISSN: 0958-9465. DOI: 10.1016/j.cemconcomp. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.002> Acesso em: 12 out. 2020.

KOSMATKA, S. H.; KERKHOFF, B.; PANARESE, W. C. **Design and control of concrete mixtures**. 14ª Edição. Illinois (USA): Portland Cement Association, 2002. 358 p. ISBN: 0-89312-217-3 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284663491_Design_and_Control_of_Concrete_Mixtures Acesso em: 01 set. 2020

KUMAR, M. L. A.; REDDY, I. V. R.; SASIDHAR, C. Experimental investigations on the flexural strength of PET reinforced concrete. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**. v. 4, n. 2, p. 233-240, Fev. 2014. ISSN 2250-2459 Disponível em: https://ijetae.com/files/Volume4Issue2/IJETAE_0214_37.pdf Acesso em: 11 out. 2020.

MAIDL, B. **Stahlfaserbeton**. Berlin: Ernst & Sohn - Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 1991. 301 p.

MAHDI, F.; KHAN, A. A.; ABBAS, H. Physicochemical properties of polymer mortar composites using resins derived from post-consumer PET bottles. **Cement & Concrete**

Composites. Reino Unido, v. 29, p. 241–248, jan. 2007. ISSN: 0958-9465. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2006.11.00. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.cemconcomp.2006.11.009> Acesso em: 13 out. 2020.

MARANGON, E. **Aspectos do comportamento e da degradação de matrizes de concreto de cimento portland reforçados com fibras provenientes da reciclagem de garrafa PET**. 2004. 74 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí. Disponível em: http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/tcc-titulos/2003/Aspectos_d_o_Comportamento_e_da_Degradacao_de_Matrizes_de_Concreto_de_Cimento_Portland_Reforcados_com_Fibras_PET.pdf Acesso em: 13 out. 2020

MARINKOVIC, S.; DRAGAS, J.; IGNJATOVIC, I.; TOSIC, N. Environmental assessment of green concretes for structural use. **Journal of Cleaner Production**. v. 154, n. 15, p. 633-649, Jun. 2017. ISSN: 0959-6526 DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.015 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.015> Acesso em: 11 out. 2020.

MARZOUK, O. Y.; DHEILLY, R. M.; QUENEUDEC, M. Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. **Waste Management**. Estado Unidos, v. 27, n. 2, p. 310–318, mar. 2006. ISSN: 0956-053X. DOI: 10.1016/j.wasman.2006.03.012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.03.012> Acesso em: 11 out. 2020.

MENESES, I. A. **Avaliação de concreto com adição de fibras de PET submetido a altas temperaturas**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/14837> Acesso em: 27 set. 2020

MERLI, R.; PREZIOSI, M.; ACAMPORA, A.; LUCCHETTI, M. C.; PETRUCCI, E. Recycled fibers in reinforced concrete: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**. Países Baixos, v. 248, p. 119-207, mar. 2020. ISSN: 0959-6526 DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119207 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119207> Acesso em: 13 de out. 2020.

METHA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2ª Edição. São Paulo, IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. (Tradução: Salvador Giammusso). 2ª Edição. São Paulo: PINI, 2013.

OCHI, T.; OKUBO, S.; FUKUI, K. Development of recycled pet fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. **Cement & Concrete Composites**. Reino Unido, v. 29, p. 448-455, jan. 2007. ISSN: 0958-9465. DOI: :10.1016/j.cemconcomp.2007.02.002. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Katsunori_Fukui/publication/222807180_Development_of_recycled_PET_fiber_and_its_application_as_concrete-reinforcing_fiber/links/5ecc66e5458515626ccc59d1/Development-of-recycled-PET-fiber-and-its-application-as-concrete-reinforcing-fiber.pdf Acesso em: 10 out. 2020.

PELISSER, F.; MONTEDO, O. R. K.; GLEIZE, P. J. P.; ROMAN, H. R. Mechanical Properties of Recycled PET Fibers in Concrete. **Materials Research**. São Carlos, v. 15, n. 4, p. 679-686, jul. 2012. ISSN: 1516-1439. DOI: 10.1590/S1516-14392012005000088 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392012005000088> Acesso em: 10 out. 2020.

PEREIRA, E. L.; JUNIOR, A. L. O.; FINEZA, A. G. Optimization of mechanical properties in concrete reinforced with fibers from solid urban wastes (PET bottles) for the production of ecological concrete. **Construction and Building Materials**. v. 149, n. 15, p. 837-848, set. 2017. ISSN: 0950-0618 DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.148 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.148> Acesso em: 12 out. 2020.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13ª Edição. São Paulo: Globo, 1998. 295 p.

REDDY, A. K.; KUMAR, A. Study of Mechanical Properties of Concrete using Waste PET Bottle Fibres for the Reinforcement. **International Journal of Engineering and Management Research**. v. 4, n. 2, p. 232-240, Abr. 2014. ISSN: 2250-0758. Disponível em: [https://www.ijemr.net/DOC/StudyOfMechanicalPropertiesOfConcreteUsingWastePetBottleFibresForTheReinforcement\(232-240\)7e3d6ef7-8d35-4034-bd1b-920bbe75f841.pdf](https://www.ijemr.net/DOC/StudyOfMechanicalPropertiesOfConcreteUsingWastePetBottleFibresForTheReinforcement(232-240)7e3d6ef7-8d35-4034-bd1b-920bbe75f841.pdf) Acesso em: 12 out. 2020.

SANTOS, A. L. **Diagnóstico ambiental da gestão e destinação dos resíduos de construção e demolição (RCC)**: análise das construtoras associadas ao Sinduscon/RN e empresas coletoras atuantes no município de Parnamirim - RN. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/14923> Acesso em: 27 set. 2020

SALOMÃO, R.; PANDOLFELLI, V. C. Concretos refratários contendo fibras poliméricas: correlação entre a permeabilidade e o comportamento de secagem. **Cerâmica**. v. 49, n. 311, p.158-162, 2003. ISSN 1678-4553. DOI: 10.1590/S0366-69132003000300009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132003000300009> Acesso em: 08 out. 2020.

SCHETTINO, R. M. **Concreto com adição de fibras de politereftalato de etileno**. 2015. 66 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), Volta Redonda. Disponível em: http://sites.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/romulo-marczuk.pdf Acesso em: 12 out. 2020.

SILVA, J. S. **Estudo de concretos de diferentes resistências à compressão submetidos a altas temperaturas sem e com incorporação de fibras de politereftalato de etileno (PET)**. 2013. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/14844> Acesso em:

SIMÕES, L. J.; SAUER, A. S.; TRISTÃO, F. A.; CALMON, J. L.; VIEIRA, G. L. V. Caracterização do resíduo de vidro laminado de parabrisas para utilização como substituto parcial do cimento em matrizes cimentícias. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**. Rio Grande do Sul, v. 22, p. 43-49, out. 2013. ISSN: 1677-3047 Disponível em: http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art5_N22.pdf Acesso em: 11 out. 2020.

TAHERKHANI, H. An investigation on the properties of the concrete containing waste PET fibers. **International Journal of Science and Engineering Investigations**. v. 3, n. 27, p. 37-43, Abr. 2014. ISSN: 2251-8843 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312039151_An_Investigation_on_the_Properties_of_the_Concrete_Containing_Waste_PET_Fibers Acesso em: 11 out. 2020.

TASHIMA, M. M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa**: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira/SP. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/91490> Acesso em: 1º out. 2020

VECHI, N. R. G.; GALLARDO; A.L.C.F.; TEIXEIRA, C.E. Aspectos ambientais do setor da construção civil: Uma contribuição para a adoção de sistema de gestão ambiental pelas pequenas e médias empresas de prestação de serviços. **Sistemas & Gestão**. Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 17-30, mar. 2016. ISSN: 1980-5160 DOI: 10.20985/1980-5160.2016.v11n1.733 Disponível em: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n1.733> Acesso em: 12 out. 2020.

VIEIRA, D.R.; CALMON, J.L.; COELHO, F.Z.; Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: a review. **Construction and Building Materials**. v. 124, n. 15, P. 656-666, OUT. 2016. ISSN: 0950-0618 DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.07.125 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.125> Acesso em: 13 out. 2020.

APÊNDICES

LATEC

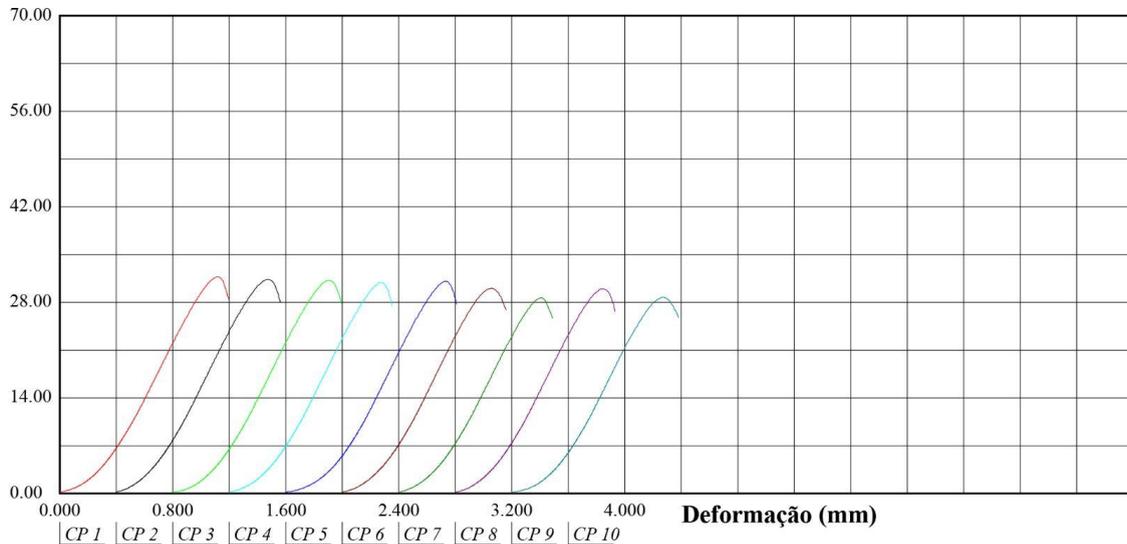
Laboratório de Tecnologias de Construções

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic SSH300** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **27/04/2021** Hora: **15:30:56** Trabalho n° **2890**
 Programa: **Tesc versão 4.00** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO CP 10x20**
 Ident. Amostra: >>>>>>>>>> Cliente: **JENIFER TAIS DE SOUZA** Identificação: **27042021COMP** Operador: **JENIFER**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Força Máxima à Compressão (kgf)	Resistência (MPa)	ID. CLIENTE	ID. LATEC	IDADE
CP 1	102.0	194	8171.28	26474.24	31.77	07		28
CP 2	102.0	194	8171.28	26164.90	31.40	08		28
CP 3	102.0	194	8171.28	26061.78	31.28	09		28
CP 4	102.0	194	8171.28	25778.22	30.94	23		28
CP 5	102.0	194	8171.28	25950.08	31.14	22		28
CP 6	102.0	195	8171.28	25090.80	30.11	24		28
CP 7	102.0	194	8171.28	23913.60	28.70	38		28
CP 8	102.0	195	8171.28	25039.25	30.05	39		28
CP 9	102.0	195	8171.28	23982.34	28.78	37		28
Número CPs	9	0	9	9	9	0	0	0
Média	102.0	*	8171	25380	30.46	*	*	*
Mediana	102.0	*	8171	25780	30.94	*	*	*
Desv.Padrão	0.0000	*	0.0000	939.8	1.128	*	*	*
Coef.Var.(%)	0.0000	*	0.0000	3.702	3.702	*	*	*
Mínimo	102.0	*	8171	23910	28.70	*	*	*
Máximo	102.0	*	8171	26470	31.77	*	*	*

Tensão (MPa)





UNIVATES

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09