

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

IZABELLE NAYARA CORREA SILVA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM A
INFLUÊNCIA DE FIBRAS DE POLITEREFTALATO DE
ETILENO: UMA REVISÃO LITERÁRIA**

ANÁPOLIS / GO

2020

IZABELLE NAYARA CORREA SILVA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM A
INFLUÊNCIA DE FIBRAS DE POLITEREFTALATO DE
ETILENO: UMA REVISÃO LITERÁRIA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: AURÉLIO CAETANO FELICIANO

ANÁPOLIS / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, IZABELLE NAYARA CORREA

Análise da Resistência do Concreto com a Influência de fibras de Politereftalato de Etileno: Uma Revisão Literária 39P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Cimento Portland
3. Aditivos e Adições
I. ENC/UNI

2. Politereftalato de Etileno.
4. Resistência
II. Bacharel

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Isabelle Nayara Correa. Análise da Resistência do Concreto com a Influência de fibras de Politereftalato de Etileno: Uma Revisão Literária. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 39p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Isabelle Nayara Correa Silvs

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise da Resistência do Concreto com a Influência de fibras de Politereftalato de Etileno: Uma Revisão Literária

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Izabelle Nayara Correa Silva
E-mail: iza.bellecrr@hotmail.com

IZABELLE NAYARA CORREA SILVA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM A
INFLUÊNCIA DE FIBRAS DE POLITEREFTALATO DE
ETILENO: UMA REVISÃO LITERÁRIA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**AURÉLIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADORA)**

**WELINTON ROSA DA SILVA, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**GLEDISTON NEPOMUCENO C. JUNIOR, Mestre(UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 06 de NOVEMBRO de 2020.

AGRADECIMENTOS

Meus sentimentos de gratidão, primeiramente à Deus, que desde o início esteve derramando de sua graça, bondade e misericórdia para com a minha vida e me direcionando a seguir os passos que trilhei até aqui, por ser meu sustento, meu amparo, a fortaleza na qual me refúgio, à Ele toda honra, toda glória e todo louvor.

Agradeço também ao meu amado esposo, David Gomes, por toda compreensão, paciência e apoio durante os dias mais difíceis e por ser amoroso e incrível em todo o tempo. Ele é meu maior incentivador.

Agradeço às minhas tias, Kellen e Fátima, por serem as melhores desse mundo todo, por todo amor demonstrado, por lutarem para sempre me dar as melhores condições de estudo, educação e em todo tempo me impulsionar a ir em busca dos meus objetivos.

Aos meus pais, Keyla e Júnior, por em meio a todas as circunstâncias terem gerado um ambiente de crescimento para mim, cada um a seu próprio modo, me trazendo o entendimento de que todas as coisas cooperam para um propósito maior.

Gratidão também ao meu orientador Prof^o Esp. Aurélio Caetano por aceitar a dividir esse desafio comigo, por ser sempre atencioso, disposto e excelente ao orientar, por sempre me fazer acreditar que no final tudo dá certo. A ele, muito respeito e admiração.

Por fim, meus agradecimentos a UniEvangélica, e todo o corpo docente por esses anos de caminhada, por serem contribuintes essenciais para a minha formação profissional e a todos os amigos que de alguma maneira apoiaram essa etapa significativa da minha vida.

Izabelle Nayara Corrêa Silva

RESUMO

A indústria da construção civil está no hall de atividades que mais consomem recursos naturais, visto que dentre eles estão a água e os agregados, por outro lado, temos também a problemática de resíduos descartados de maneira inadequada gerando desgaste ambiental e outras questões biológicas. Visando a sustentabilidade, ao analisar as possibilidades de solução para as problemáticas acima, destaca-se por meio de uma revisão literária a influência em adição e substituição de politereftalato de etileno à dosagem em concreto estrutural e sua capacidade de resistência à compressão e tração. Essa análise apresentará um comparativo entre os resultados de ensaios realizados com corpos de prova compostos por traços com substituição de fibras de pet em cortes distintos. Os cortes perfurados superaram os resultados aqui obtidos pelas fibras de corte liso, verifica-se o grande avanço que a modificação na estrutura da fibra proporcionou diante da dificuldade de aderência da fibra ao concreto. A partir do estudo realizado nota-se a inviabilidade da utilização do PET moído no concreto estrutural visto que a perda de resistência é notoriamente grande. Por outro lado, observa-se uma possível viabilidade na composição de concretos sem fins estruturais como o próprio concreto magro e unidades de alvenaria de vedação. Pautando-se nas normativas da NBR 6136:2016, pode-se verificar que a diferença de resistência (em MPa) de um bloco de concreto estrutural e um bloco de concreto para vedação (baseado na Classe II de agressividade) é de 50%.

PALAVRAS-CHAVE:

Cimento Portland. Aditivos e Adições. Politereftalato de Etileno. Resistência.

ABSTRACT

The construction industry is in the hall of activities that most consume natural resources, since among them are water and aggregates, on the other hand, we also have the problem of waste disposed of inappropriately generating environmental wear and other biological issues. With a view to sustainability, when analyzing the possibilities for solving the above problems, the influence of adding and replacing polyethylene polyethylene to structural concrete dosing and its ability to resist compression and traction is highlighted through a literary review. This analysis will present a comparison between the results of tests performed with specimens composed of lines with substitution of pet fibers in different cuts. The perforated cuts surpassed the results obtained here by the smooth cut fibers, there is a great advance that the modification in the fiber structure provided in face of the difficulty of adhering the fiber to the concrete. From the study carried out, it is noted that the use of ground PET in structural concrete is not viable since the loss of strength is notoriously great. On the other hand, there is a possible viability in the composition of non-structural concrete such as lean concrete itself and sealing masonry units. Based on the norms of NBR 6136: 2016, it can be verified that the difference in strength (in MPa) of a structural concrete block and a concrete block for sealing (based on Class II of aggressiveness) is 50%.

KEYWORDS:

Portland Cement. Additives and additions. Polyethylene Terephthalate. Strength.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Fluxograma do tipo de abordagem adotado | 16 |
| Figura 2 – Insumos para a formação do cimento..... | 20 |
| Figura 3– Classificação Granulométrica | 21 |
| Figura 4– Fator água/cimento (a/c) | 22 |
| Figura 5– Concreto no estado fresco | 23 |
| Figura 6– Corpos de prova desmoldados | 24 |
| Figura 7– Ensaio de compressão para a) material dúctil e b) material frágil | 25 |
| Figura 8– Ensaio de compressão para a) material dúctil e b) material frágil | 25 |
| Figura 9– A reciclagem no Brasil..... | 26 |
| Figura 10– Reações químicas para a formação do PET | 28 |
| Figura 11– Ciclo do PET | 29 |
| Figura 12– Corpo de prova com adição de PET após ruptura..... | 30 |
| Figura 13– Cortes de PET utilizados nos ensaios..... | 31 |
| Figura 14– Cortes de PET utilizados nos ensaios..... | 32 |
| Figura 15– Comparação dos resultados dos ensaios com substituição de 10% de fibras de PET | 36 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland | 19 |
| Quadro 2 - Resultado dos Ensaios de Resistência à Compressão Axial nos corpos de prova com as fibras tipo “A” e “B” | 33 |
| Quadro 3 - Resultado dos Ensaios de Resistência à Compressão Axial nos corpos-de-prova com as fibras tipo “C” | 34 |
| Quadro 4 - Resultado dos Ensaios de Resistência à Compressão Axial nos corpos-de-prova com as fibras tipo “D” | 35 |

LISTA DE TABELA

| | |
|--------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Artigos selecionados..... | 16 |
|--------------------------------------|----|

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

| | |
|--------|---|
| ABCP | Associação Brasileira Cimento Portland |
| ABIPET | Associação Brasileira da Indústria do Pet |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CP | Corpo-de-prova |
| NBR | Norma Brasileira |
| PET | Politereftalato de Etileno |

SUMÁRIO

| | |
|---|--------------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA..... | 14 |
| 1.2 OBJETIVOS | 15 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 155 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 155 |
| 1.3 METODOLOGIA | 16 |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 17 |
| | |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | |
| 2.1 O CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND | 18 |
| 2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CIMENTO | 18 |
| 2.2.1 Cimento | 18 |
| 2.2.2 Agregados..... | 19 |
| 2.2.3 Água..... | 231 |
| 2.3 PROPRIEDADES MECANICAS DO CONCRETO | 22 |
| 2.3.1 Estado Fresco | |
| 2.3.2 Estado Endurecido | 23 |
| 2.3.2.1 Resistência à compressão | 24 |
| 2.3.2.2 Resistência à tração diametral | 25 |
| 2.4 SUSTENTABILIDADE..... | 26 |
| 2.5 POLITEREFLATO DE ETILENO..... | 27 |
| 2.5.1 Reciclagem do PET | 28 |
| 2.6 UTILIZAÇÃO DE FIBRAS NO CONCRETO | 30 |
| | |
| 3 PROGRAMAS EXPERIMENTAIS SELECIONADOS..... | 31 |
| 3.1 ANÁLISE DAS RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO OBTIDAS NOS ESTUDOS APRESENTADOS | 32 |
| 3.2 ANÁLISE DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO AXIAL OBTIDAS NOS ESTUDOS APRESENTADOS | 32 |
| | |
| 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | |

| | |
|--------------------------|-----------|
| REFERENCIAS | 38 |
|--------------------------|-----------|

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil tem papel fundamental no desenvolvimento do país, e desta forma se torna peça chave para o atendimento dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. A indústria da construção é uma das atividades humanas que mais consome recursos naturais. Estima-se internacionalmente que entre 40% e 75% dos recursos naturais existentes são consumidos por esse setor, resultando assim em uma enorme geração de resíduos. Só no Brasil, a construção gera cerca de 25% do total de resíduos da indústria. (SALLES, 2014).

O concreto é um dos elementos mais utilizados na construção civil, composto por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Os agregados, correspondem a 70% do volume total do concreto e por se tratarem de grãos de areia e brita podem ser obtidos diretamente na natureza, em leitos de rios ou barrancos, ou por processos artificiais, como a fragmentação ou a trituração de britas e areias artificiais.

A necessidade de buscar nossos materiais para substituir os convencionais, se dá pela escassez de recursos naturais, novas regras, limitações exigidas no ato de se construir e ao alto custo dos materiais de construção. Fundamentando então a busca por novos materiais visando reduzir o custo final e amenizar todo e qualquer dano gerado à natureza. Uma possibilidade a se considerar é a inserção de fibras de politereftalato de etileno, conhecido popularmente como PET, ao cimento, substituindo agregados miúdos, buscando validar a eficiência e a eficácia deste método na melhoria contínua das propriedades físico-mecânicas do material. (CORÓ, 2002).

Perante às necessidades de redução de custos, redução de impactos ambientais e a contribuição da construção civil para o desenvolvimento do país, este trabalho tem por objetivo apresentar por meio de uma revisão literária a utilização de fibras e materiais politereftalato de etileno aplicados a dosagem no concreto, bem como desenvolvimento de sugestões da aplicabilidade desse composto nas obras de engenharia.

1.1 JUSTIFICATIVA

Esquadrinhar as possibilidades de sustentabilidade na engenharia, é uma necessidade para diminuir a degradação ambiental, o reaproveitamento das PET's é uma ferramenta de baixo custo, visto que se trata de algo que já foi descartado, diminui a necessidade de extrair matéria prima dos rios, evitando impactos na natureza.

Segundo Marczuk (2015), a dedicação a novas pesquisas envolvendo compósitos cerâmicos com agregados (fibras) de PET se justificam pelo fato da grande utilização em diversos produtos (embalagens de garrafas d'água, refrigerantes), os quais, muitas vezes mal descartados, contaminando mares, rios e lagos. Além disso, ao ser lançado nas ruas, entope bueiros, causando enchentes e, servem de recipientes para insetos se proliferarem livremente trazendo doenças à população.

Justifica-se então que as fibras de PET influenciarão em vários aspectos das propriedades do concreto, por essa razão, será traçado quantidades diferentes de fibras para analisar o comportamento em âmbitos diferentes de aplicação, visando alcançar à medida que mais influenciará positivamente a matriz.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Apresentar por meio de uma revisão literária a influência em adição e substituição de politereftalato de etileno à dosagem em concreto estrutural e sua capacidade de resistência à compressão e tração.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evidenciar a aplicabilidade de fibras de politereftalato de etileno nos elementos estruturais da construção civil;
- Salientar a variabilidade da quantidade e qualidade no aspecto morfológico de fibras de plástico acrescentadas na dosagem do concreto;
- Analisar os resultados da resistência à tração e à compressão do concreto com adição e substituição de plástico em experimentos realizados;
- Apresentar os resultados obtidos em trabalhos experimentais já desenvolvidos e ressaltar as vantagens e desvantagens da aplicação do plástico à dosagem de concreto.

1.3 METODOLOGIA

Este trabalho se apresenta pela revisão literária a respeito da influência da utilização de politereftalato de etileno a dosagem do concreto para fins estruturais. Destaca-se nesta revisão as obras *Análise Das Características Mecânicas do Concreto com Fibra de Politereftalato de Etileno (Pet)* de Ferreira e Lima em 2018; *Concreto com Adição de Fibras de Politereftalato de Etileno* de Schettino em em 2015; *Análise Experimental de Blocos de Concreto Estrutural Tratados com Polietileno Tereftalato* de Neto em em 2019, vide Tabela 1.

Tabela 1 – Artigos selecionados.

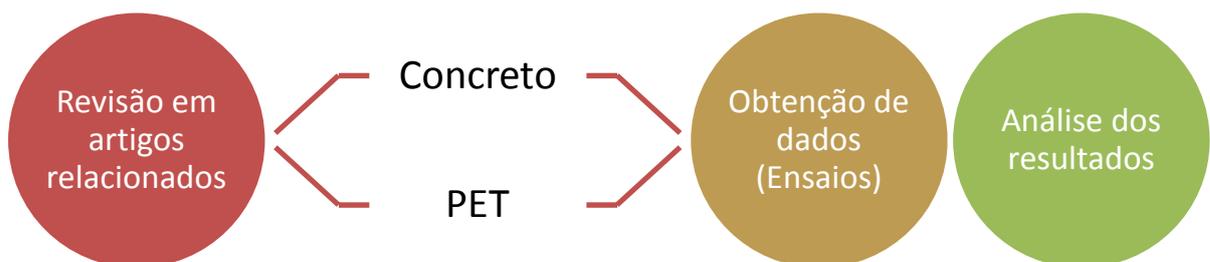
| Nº | Artigo | Tipo de material |
|----|--|--|
| 1 | ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO COM FIBRA DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) | <ul style="list-style-type: none"> • PET; • Concreto. |
| 2 | CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLITEREFTALATO DE ETILENO | <ul style="list-style-type: none"> • PET; • Concreto. |
| 3 | ANÁLISE EXPERIMENTAL DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL TRATADOS COM POLIETILENO TEREFLATO | <ul style="list-style-type: none"> • PET; • Concreto Armado. |

Fonte: Autora, 2020

A partir da apresentação dos conceitos teóricos envolvidos previamente, observa-se a variabilidade da aplicação de politereftalato de etileno e compósitos plásticos similares no traço do concreto em obras na construção civil.

Para melhor compreensão do desenvolvimento do artigo foi criado um fluxograma demonstrando como foi realizada a pesquisa, conforme Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do tipo de abordagem adotado



Fonte: Autora, 2020

Analisa-se as proporções em: a primeira obra traçou a seguinte proporção em massa 1:1, 1:31, 1:39 com um fator água/cimento igual a 0,44; a obra de nº 2 optou pela proporção em volume com o seguinte traço 1:2:3 utilizando um volume de água de 28,7L. A estes foram acrescentados 5%, 10% e 15% de fibras de PET e por fim, a obra de nº 3, usando a proporção em massa de 1:2:3:0,55, que contou com a substituição parcial de 20% da massa de agregado miúdo por PET e seus resultados obtidos através da avaliação da resistência a compressão e tração por compressão diametral. E com isso propõe-se a discussão sobre estes resultados obtidos e a caracterização envolvida relativa a estes no que se apresenta como parâmetros de confiabilidade de aplicação a dosagem em concreto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é constituído por cinco capítulos. O primeiro capítulo constitui a introdução do tema, a contextualização do assunto realçando a importância da reciclagem das PET's descartadas. Também estão apresentados a justificativa, os objetivos e a estrutura da monografia.

Logo, capítulo 2 expõe o referencial teórico, ou seja, os principais conceitos necessários para o entendimento deste trabalho.

A seleção de trabalhos desenvolvidos sobre a pesquisa é apresentada no capítulo 3. Caracterização dos materiais utilizados, desenvolvimentos dos traços e as características analisadas.

No capítulo 4 é apresentado os resultados através de gráficos, figuras e quadros com os resultados observados para cada um dos trabalhos selecionados, juntamente com a discussão destes e as análises.

E o por último o capítulo 5, apresenta as considerações finais, discorrendo sobre as possibilidades do uso deste concreto e do ganho ambiental e as sugestões para futuros trabalhos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

As estruturas de concreto armado são as mais utilizadas no Brasil para a execução de pequenas, médias e grandes edificações. Sua ampla utilização, associada à sua complexidade

química e física, fazem do material um dos mais visados nas pesquisas da área, de modo a buscar formas de melhorar/aprimorar suas características tanto quando sujeito a situações comuns quanto a situações peculiares (LOREZON, 2014).

Segundo Fusco (2008), o concreto é resultante da mistura em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após efetuar a mistura o concreto deve adquirir plasticidade suficiente para que possa ser manuseado, transportado e lançado em formas para ser moldado. Como consequência de suas reações químicas, com o passar do tempo ele endurece e ganha resistência durante toda sua vida útil. Alguns tipos de concreto podem ser adicionados aditivos para modificar suas características físicas e químicas.

Deste modo, o levantamento das propriedades do concreto, físicas e químicas, se constitui como um dos enfoques das pesquisas da área, uma vez que diversos fatores irão interferir de maneira efetiva na resposta que no material terá em serviço. Dentre esses fatores, alguns se sobressaem, como por exemplo: a quantidade de água inserida no concreto durante sua fabricação, a natureza do agregado utilizado e a interação entre os constituintes da mistura. (BRAGA; RAMOS, 2019).

2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

2.2.1 Cimento

Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2017), o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto, que é a mistura de cimento, agregados miúdos e graúdos e água, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra.

Segundo Oliveira (2000), os traços físicos do cimento portland são examinados sob três concepções distintas: característica do produto em sua condição natural, em pó, do composto de cimento e água e proporções convenientes da pasta e, por fim, do composto da sua pasta com agregado padronizado.

Os tipos de cimento existentes no Brasil diferem em função da sua composição, como o cimento portland comum, o composto, o de alto-forno, o pozolânico, o de alta resistência inicial, o resistente a sulfatos, o branco e o de baixo calor de hidratação. Dentre os diferentes tipos de cimento listados no Quadro 1, os de uso mais comuns nas construções são o CII E-

32, o CII F32 e o CIII-40. O cimento CPV-ARI é também muito utilizado em fábricas de estruturas pré-moldadas (BASTOS, 2006).

Quadro 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

| Designação normalizada (tipo) | Subtipo | Sigla | Classe de Resistência (MPa) | Sufixo | | |
|---|-------------------------------------|--------------|------------------------------------|---------------|-----|--|
| <i>Cimento Portland Comum</i> | Sem Adição | CP I | 25, 32 ou 40 | RS ou BC | | |
| | Com Adição | CP I-S | | | | |
| <i>Cimento Portland Composto</i> | Com escória granulada de alto forno | CP II-E | | | | |
| | Com material carbonático | CP II -F | | | | |
| | Com material pozolânico | CP II-Z | | | | |
| <i>Cimento Portland de alto-forno</i> | | CP III | | | ARI | |
| <i>Cimento Portland Pozolânico</i> | | CP IV | | | | |
| <i>Cimento Portland de alta Resistência inicial</i> | | CP V | 25, 32 ou 40 | | | |
| <i>Cimento Portland Branco</i> | Estrutural | CPB | - | - | | |
| | Não-estrutural | CPB | | | | |

CP: Cimento Portland, RS: resistente a sulfatos; BC: baixo calor de hidratação;

ARI: alta resistência inicial.

Fonte: ABNT NBR 16697 (adaptado)

Segundo a ABCP, o cimento Portland comum (CP I) é referência, por suas características e propriedades, aos demais tipos básicos de cimento Portland. Esses tipos se diferenciam de acordo com a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio e de adições - tais como escórias, pozolanas e material carbonático - acrescentadas no processo de moagem (Figura 2).

Figura 2 – Insumos para a formação do cimento



Fonte: ABCP, 2009.

O próprio Cimento Portland Comum (CP I) pode conter adição, neste caso, de 1% a 5% de material pozolânico, escória ou carbonato de cálcio e o restante de clínquer. Já o CPI-S pode conter de 6% a 10% de material carbonático. O Cimento Portland Composto (CP II- E, CP II-Z e CP II-F) tem adições de escória, pozolana e filer, respectivamente, mas em proporções um pouco maiores que no CP I e no CP I-S. O Cimento Portland de Alto-Forno (CP III) e o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) contam com proporções maiores de adições: escória, de 35% a 75% (CP III), e pozolana, de 15% a 50% (CP IV).

2.2.2 Agregados

Os agregados, segundo Andolfato (2002) representam cerca de 75% do total do concreto e suas características agregam valor em suas proporções. Conforme na Figura 3, a NBR 7211 (ABNT, 2005) estabelece o agregado miúdo como sendo os grãos que passam pela peneira com abertura da malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. Os Agregados graúdos, por sua vez, são os grãos cuja granulometria refere-se aos grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,75 mm (ABNT, 2005).

Figura 3– Classificação Granulométrica

| Série Normal | Série Intermediária |
|-----------------------|---------------------|
| ABNT 75 mm | - |
| " | ABNT 64 mm |
| " | ABNT 50 mm |
| ABNT 38 mm | " |
| " | ABNT 32 mm |
| " | ABNT 25 mm |
| ABNT 19 mm | " |
| " | ABNT 12,5 mm |
| ABNT 9,5 mm | " |
| " | ABNT 6,3 mm |
| #4 ABNT 4,8 mm | - |
| ABNT 2,4 mm | " |
| ABNT 1,2 mm | " |
| ABNT 0,600 mm | " |
| ABNT 0,300 mm | " |
| ABNT 0,150 mm | " |

↑ Agregado graúdo
↓ Agregado miúdo

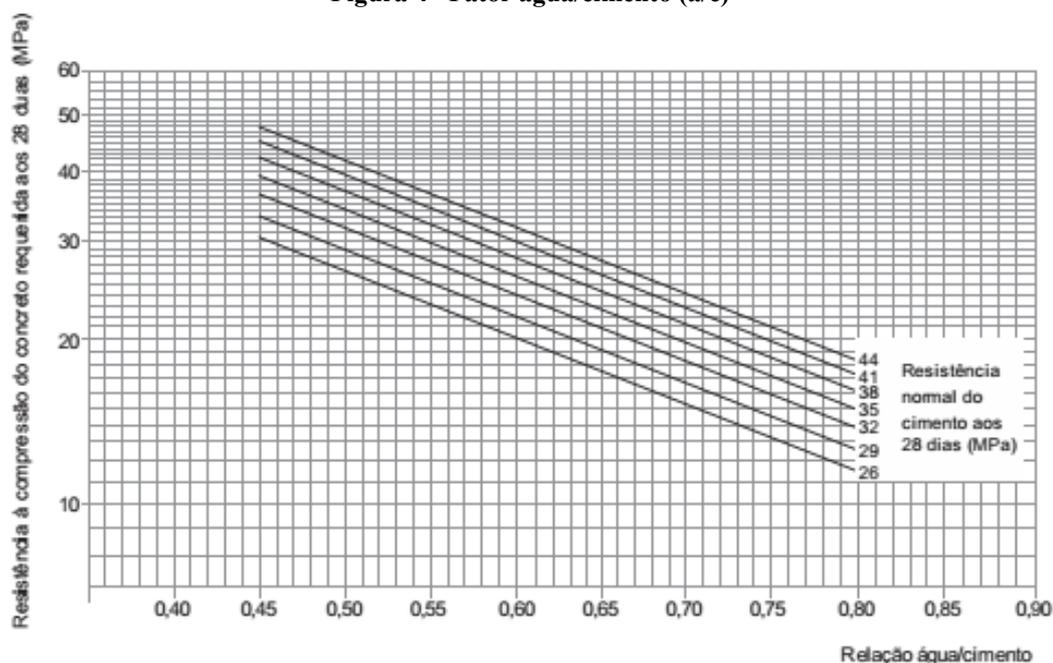
Fonte: ABNT, 2005.

As areias e rochas de emprego na construção civil são abundantes na natureza, entretanto, fatores exógenos à geologia influenciam a relação entre o quantitativo de reservas existentes e aquelas realmente disponíveis para o uso. A mineração de agregados, como também o seu beneficiamento gera impactos ambientais como poluição sonora e do ar. A produção dos agregados tende a ser bastante descentralizada espacialmente, e com grande quantidade de ocorrências e empreendimento. Fato que acompanha a dinâmica do principal setor consumidor, o da construção civil, relevante em todas as regiões urbanas. Além dos agregados naturais, que são encontrados já de forma particulada no meio ambiente (cascalho, areia), pode-se obter por meio de processos industriais os agregados artificiais, nesse caso, as matérias-primas a serem fragmentadas podem ser escoria de alto forno, argila e rocha. (LA SERNA e REZENDE 2009)

2.2.3 Água

Cada um dos constituintes do concreto é adicionado à mistura com um determinado intuito, a água, por exemplo, tem por função hidratar o cimento e fazer com que este, que é um aglomerante hidráulico, endureça adquirindo resistência mecânica. A relação água/cimento (a/c) é o principal fator a ser observado para garantia desse pré-requisito mínimo, devendo estar dentro dos valores estipulados pela NBR 6118, conforme Figura 4. (ABNT, 2014).

Figura 4– Fator água/cimento (a/c)



Fonte: ANBT, 2014.

A determinação da relação a/c só é dada após um estudo da dosagem levando em consideração todos os requisitos, tais como, o tipo de aplicação, o local, a qualidade do cimento a ser utilizado, os tipos de agregados, a resistência desejada, entre outros (TUTIKIAN e HELENE, 2014).

2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

2.3.1 Estado Fresco

Ao tratar das propriedades do concreto no estado fresco, pode-se destacar como características de maior importância a consistência, a coesão e a homogeneidade, tal que a relação dessas fundamenta a trabalhabilidade. Para a ABCP, a noção de trabalhabilidade é, portanto, muito mais subjetiva que física. O componente físico mais importante da trabalhabilidade é a consistência, termo que, aplicado ao concreto, traduz propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, tendo em vista a uniformidade e a compacidade do concreto e o bom rendimento da execução. (SOUZA, 2007).

Figura 5– Concreto no estado fresco



Fonte: TECNOSIL, 2020.

Definir se o concreto é trabalhável ou não está diretamente relacionado a finalidade, resistência esperada e o modo aplicação, de modo a evitar a segregação e exsudação. A segregação é, assim, entendida como a separação dos constituintes da mistura, impedindo a obtenção de um concreto com característica de razoável uniformidade, já a exsudação é uma forma particular de segregação, em que a água da mistura tende a elevar-se à superfície do concreto recém-lançado.

2.3.2 Estado Endurecido

A resistência à compressão axial é a característica mais importante de um concreto. Ela dá uma percepção da qualidade do concreto, pois está diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento hidratada. É determinada em corpos de prova padronizados para possibilitar que resultados de diferentes concretos possam ser comparados. Além da compressão, outros aspectos devem ser estudados, nesse tópico serão abordados também a resistência a tração e o módulo de elasticidade do concreto. (ALVES, 2017)

Pode-se listar os fatores que influenciam diretamente na resistência aos esforços mecânicos, como por exemplo: a relação a/c, idade, tipo e granulometria dos agregados, tipo e consumo de cimento, cura do concreto, uso de aditivos, entre outros. (FREITAS, 2013).

A qualidade efetiva do concreto na obra deve ser assegurada por um correto procedimento de mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura e desmoldagem. Na maioria dos casos, um concreto de resistência mais alta é, em princípio e sob certas

circunstâncias, potencialmente mais durável do que um concreto de resistência mais baixa, obtido com os mesmos materiais. (HELENE E ANDRADE, 2010).

Figura 6– Corpos de prova desmoldados



Fonte: INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2019.

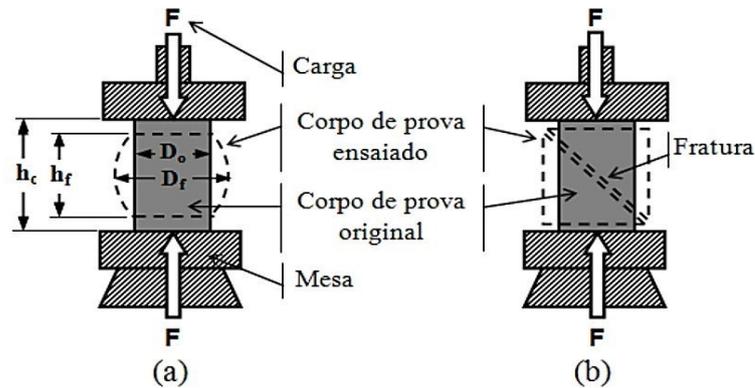
2.3.2.1 Resistência à compressão (NBR 12655:2015)

Carvalho (2012) afirma que o concreto é um elemento que resiste muito bem aos esforços de compressão. Dentre os fatores influentes para tal característica estão:

- Relação água/cimento;
- Duração da carga;
- Idade;
- Tipo de cimento;
- Forma e graduação dos agregados;
- Velocidade de aplicação da carga de ensaio.

Observe a Figura 7, nela está representado a aplicação uniaxial de carga compressiva em um corpo de prova (CP). Os resultados obtidos nesse ensaio consistem na relação entre a deformação linear, obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo de prova, em função da carga de compressão aplicada em cada instante.

Figura 7– Ensaio de compressão para a) material dúctil e b) material frágil



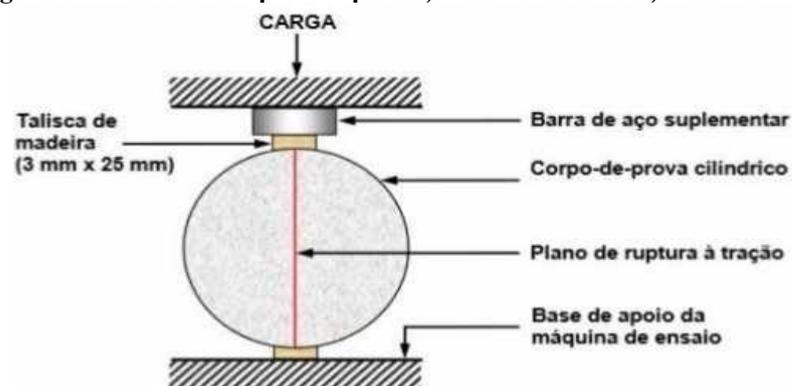
Fonte: BIOPDI, 2020

Em razão dos efeitos de natureza aleatória, como a falta de homogeneidade da mistura, níveis de compactação diferentes para corpos de prova diferentes, dentre outros, verifica-se experimentalmente uma razoável dispersão dos valores da resistência obtidos em um grupo de corpos de prova. Assim, considerando que a resistência do concreto, f_c , é uma variável. A resistência característica é um valor tal que existe uma probabilidade de 5% de se obter resistências inferiores à mesma (ARAÚJO, 2001).

2.3.2.2 Resistência à tração diametral (NBR 7222:2011)

A resistência à tração do concreto depende do tipo de ensaio realizado. Isto ocorre porque as tensões de tração se distribuem de maneira diferente para cada um dos ensaios. No que tange a resistência à tração diametral, este ensaio tem por função submeter um corpo-de-prova com geometria definida a um esforço axial crescente do corpo-de-prova, até que o seu limite de ruptura seja alcançado. (ARAÚJO, 2001)

Figura 8– Ensaio de compressão para a) material dúctil e b) material frágil



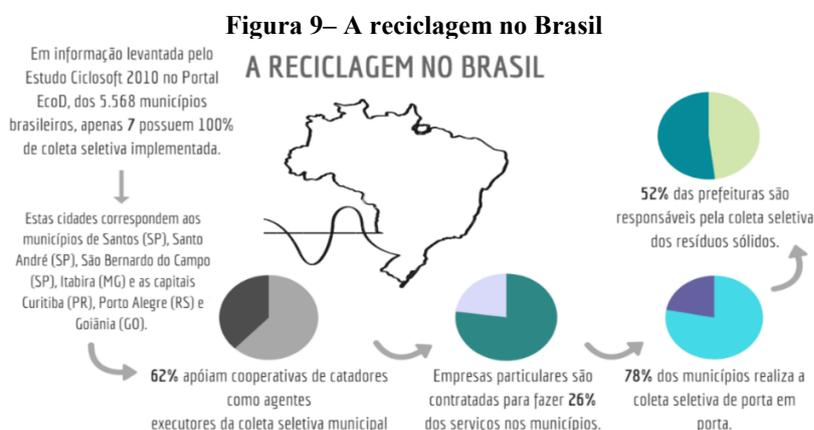
Fonte: METTA E MONTEIRO, 1994.

A máquina do ensaio faz a medição do esforço aplicado e todas as dimensões para os corpos-de-prova para o ensaio de tração são padronizadas e regulamentadas por normas nacionais e internacionais que devem ser correspondentes a capacidade da máquina de tração utilizada para o ensaio. (SILVA, 2018)

2.4 SUSTENTABILIDADE

O termo “sustentabilidade” significa que todas as atividades a serem realizadas devem sofrer uma análise mais profunda de forma a determinar todos os seus efeitos sobre o meio ambiente. De acordo com a Cúpula Mundial em 2002, o desenvolvimento sustentável pode ser conceituado como “a melhoria na qualidade de vida de todos os habitantes” e ao mesmo tempo envolve a distinção do fator que limita tal desenvolvimento, podendo prejudicar as futuras gerações com o uso de recursos naturais além da capacidade tolerada pela Terra (MIKHAILOVA, 2004).

Alguns grandes eventos foram primordiais e marcaram o início dessas discursões como a Primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente das Nações Unidas, em Estocolmo, Suécia, em 1972, onde iniciou-se uma busca de equilíbrio entre as relações do homem com o meio ambiente, 20 anos depois, ocorreu a Eco-92 ou Rio 92, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, a qual apresentou progressos dos países, em relação à conferência retromencionada, no que diz respeito à preocupação com desenvolvimento socioeconômico e as alterações geradas no meio ambiente para o futuro do planeta (MARTINS, 2004). A Figura 9 mostra como tem se desenvolvido parte disso no Brasil.



Fonte: Ecod, 2020.

No final do último milênio, ocorreu uma disseminação da utilização de embalagens "descartáveis", em forma de garrafas, produzidas com resina de politereftalato de etileno (PET), como uma alternativa às até então tradicionais garrafas de vidro denominadas "retornáveis", que eram utilizadas diversas vezes durante sua vida útil para o envase de um mesmo tipo de produto. Porém, a praticidade destes hábitos apresenta como contrapartida uma grande geração de resíduos pós-consumos, entre as alternativas possíveis para a destinação final de resíduos podem-se destacar a deposição dos resíduos em aterros e a reciclagem que, além de reduzir a necessidade de criação de novos aterros, possibilita a redução da utilização de novos recursos naturais não renováveis (MODRO, 2008)

Pezzin (2007), afirma que quando depositado em aterros o PET pode levar aproximadamente 400 anos para degradar-se, reduzindo a capacidade física dos mesmos e provocando, durante este tempo, uma diminuição da capacidade de percolação de gases e líquidos, resultando em um aumento no tempo necessário para estabilização da matéria orgânica, além disso, o PET possui alta resistência a agentes biológicos e atmosférico.

Em conformidade a lógica da sustentabilidade, Ângelo, Zordan e John (2001) afirmam que a reciclagem vem se consolidando cada vez mais como uma prática importante para a sustentabilidade. Assim, sugerem o emprego de agregados dos plásticos em diversas finalidades, - uma delas à composição do concreto – atentando-se para um controle adequado, visando a valorização do resíduo.

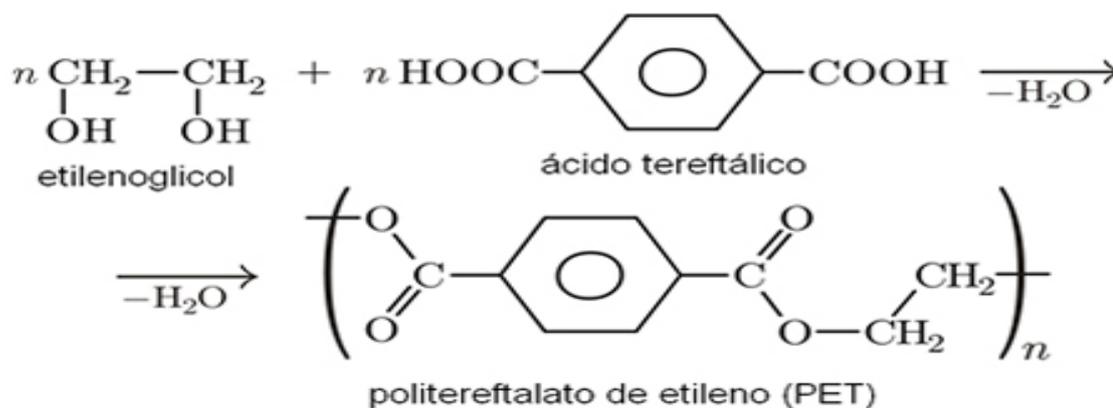
2.5 POLITEREFLATO DE ETILENO

O politereftalato de etileno (PET) está entre os plásticos mais encontrados no mercado nas embalagens para acondicionar bebidas, filmes laminados para café, potes para fornos e fornos microondas, entre outros. Segundo Romão, Spinacé e Paoli (2009) 71% das embalagens fabricadas no Brasil possuem PET em sua composição e, corresponde a 32% do mercado brasileiro de polímeros utilizados para a composição de embalagens de bebidas carbonatadas – refrigerantes.

A Figura 10 corresponde às reações químicas que ocorrem na fabricação do PET, além de todas essas reações deve ser realizado sobre este polímero um procedimento que induz a orientação das longas cadeias para uma formatação em dois eixos, o que garante uma baixa considerável de permeabilidade ao gás carbônico (CO₂), transparência e boas propriedades mecânicas. Conforme sua composição, este polímero possui cristalização lenta, com uma faixa

de temperatura entre 120° C e 220 ° C, com um ponto de fusão em 265° C e densidade variando entre 1,33 g/cm³ a 1,45 g/cm³ (HELFRICH JR, 1994)

Figura 10– Reações químicas para a formação do PET



Fonte: Fogaça, 2009.

Devido as boas propriedades mecânicas, o PET vem sendo utilizado como um insumo alternativo em edificações residenciais de baixo custo, uma possível solução para o déficit habitacional mundial. Podem se ver, no mercado, três tipos de aplicações das garrafas na construção civil ecológica. Primeiro, como substitutas dos agregados na fabricação de concreto. Segundo, como substitutas da areia, na produção de tijolos e blocos. E terceiro, como peças preenchidas com areia ou entulho de obra, intercaladas de argamassa ou barro e moldadas em fôrmas de madeira, para a formação de paredes. (SOUZA, BRITO e SILVA, 2018)

2.5.1 Reciclagem do PET

Entre as alternativas possíveis para a destinação final de resíduos pode-se destacar a reciclagem que, além de reduzir a necessidade de criação de novos aterros, possibilita a redução da utilização de novos recursos naturais não renováveis, traz benefícios econômicos, sociais e ambientais.

No Brasil, a reciclagem de PET's é uma das mais desenvolvidas no mundo. Conta com alto índice de reciclagem e uma enorme gama de aplicações para o material reciclado, criando uma demanda constante e garantida. Desde 1994 a ABIPET (Associação Brasileira da Indústria do PET) procura mensurar este mercado e informar ao público sua atividade e desempenho. Também é tarefa da ABIPET estimular a reciclagem e o descarte adequado das embalagens pós-consumo, bem como oferecer as informações necessárias para

que a indústria de embalagens possa produzir com a questão ambiental em foco, direcionada pela reciclabilidade das garrafas, frascos e outras embalagens de PET. (ABIPET, 2019)

A Figura 11 ilustra o ciclo do politereftalato de etileno desde o uso da matéria prima até o processo de trituração para novamente ser usado como matéria prima. O petróleo é a matéria prima do plástico, e o poliéster, é muito utilizado como fibra sintética, sendo a matéria prima de embalagens. Após passar por todo o processo de industrialização, envase, consumo e descarte, o produto passa por um processo de limpeza e seleção, para então ser triturado e receber uma nova vida útil (CASEL E SANTOS, 2009)



Fonte: CASEL E SANTOS, 2009.

Atualmente, a indústria recicladora está estabelecida por todo território nacional, o que demandou uma nova atividade de pesquisa: O Censo da Reciclagem de PET no Brasil. Um estudo completo sobre este importante segmento industrial, gerador de empregos e que destina adequadamente uma grande quantidade de embalagens de PET pós-consumo. Através do censo, será possível ter um panorama bastante completo sobre o universo de empresas dedicadas à reciclagem do PET, número de empregos gerados, demandas para o produto reciclado e concentrações geográficas. (CICLOVIVO, 2020)

Embora todas essas informações sejam positivas quanto a reciclagem, ainda existe um grande número de PET's que são descartados de maneira inadequada, causando uma série de danos ao ambiente, visto que se trata de um produto de degradação lenta, acumulando em bueiros, rios, aterros e lixões.

2.6 UTILIZAÇÃO DE FIBRAS NO CONCRETO

As utilização de fibras no concreto se dá pelo comportamento das mesmas, onde as fibras atuam ponte de transferência de tensão pelas fissuras. Destacando nessa função as fibras que possuem baixo módulo de elasticidade e baixa resistência, pela sua eficiência em concretos que também possuam baixa resistência e baixo módulo, além disso são usadas para a obtenção de melhoria no estado fresco e no processo de endurecimento, atuando no controle de fissuração plástica em pavimentos. (MARCZUK, 2015)

Isaia (2005), por outra ótica destacou que as fibras de alto módulo e alta resistência, que são as fibras de aço, atuam como reforço do concreto endurecido e podem substituir a armadura convencional. Nesse caso, o trabalho de ponte de transferência de tensão de tração realizado por meio das fissuras existentes no concreto é um dispositivo muito interessante no que trata o aumento de energia inerente à ruptura do material e à restrição à propagação das fissuras.

A concentração de tensões gera a ruptura da matriz, levando a extensão da fissura, fibras possuidoras de resistência e módulo adequados, podem ser adicionadas ao concreto, fazendo com que ele perca o seu comportamento frágil. Nesse caso, as fibras de PET, que apresentam boas propriedades mecânicas, vejam Figura 12.

Figura 12– Corpo de prova com adição de PET após ruptura.



Fonte: VASCONCELOS, 2018.

O teor de fibras adicionadas ao concreto está ligado diretamente à sua capacidade de reforço. Ou seja, quanto maior o teor, maior será a quantidade de fibras atuando como ponte de transferência de tensão por entre as fissuras, o que amplia a resistência pós-fissuração (ISAIA, 2005).

3 PROGRAMAS EXPERIMENTAIS SELECIONADOS

Este tópico apresenta os dados resultantes do experimento da utilização de politereftalato de etileno a dosagem do concreto para fins estruturais de três formas. Destaca-se que em sua obra, Ferreira e Lima (nº1) utilizou dois tipos de cortes de garrafa PET, ambos aproveitando apenas as partes lisas da garrafa. O primeiro com 7 mm de largura e 60 mm de comprimento, perfurada com 5 furos de 3 mm de diâmetro e espaçados em 10 mm, devidamente centralizados em relação à largura(A) e o segundo com 3,5 mm de largura e 60 mm de comprimento, perfurada com 5 semicírculos com raio de 1,5 mm, espaçado em 10 mm, e dispostos alinhados com a lateral da fibra(B).

Schettino (nº2) também utilizou as garrafas de PET, mas essas, foram cortadas em tiras de 30mmx3mm por meio de um processo manual (guilhotina), seguido de um processo mecânico (C).

Já Neto (nº3), em sua obra, utilizou embalagens de PET resultantes de um processo de moagem, em forma de grãos mais finos, os quais são denominados industrialmente de “talco” por conta de sua finura e semelhança com um pó bem leve e branco (D).



Fonte: A e B: Ferreira e lima (2018), C: Schettino (2015), D: Neto (2019) – (adaptado).

3.1 ANÁLISE DAS RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO OBTIDAS NOS ESTUDOS APRESENTADOS

Sobre a análise dos resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova (CP), observa-se que a obra nº1, bem como a obra nº2 abrange o assunto. A obra nº3 se abstém dessa abordagem.

Pode-se constatar que aos 28 dias de idade o concreto com utilização da fibra tipo “A” teve uma perda maior de resistência em comparação ao concreto com utilização da fibra tipo “B”, resultando, para essa mesma idade, uma diferença de 0,20 MPa. Ao analisar o gráfico a seguir nota-se que o concreto com tipo de fibra “A” obteve menor resistência em comparação ao concreto com fibra “B” em todos os dias de ruptura.

Nota-se que o volume de fibra adicionado ao concreto apresenta influência no abatimento do concreto, sendo que o volume de fibra tipo “A” foi menor, no entanto ele teve um abatimento maior em comparação ao volume de fibra tipo “B”, o volume de fibra Tipo “B” foi maior, pois, a fibra foi partida ao meio.

A resistência à tração transversal do CP ensaiados com as fibras tipo “C” comparados aos demais corpos-de-prova compostos por politereftalato de etileno obtiveram uma diminuição da resistência à tração, especificamente 0,26MPa. Observa-se na Figura 14 essa comparação.

Figura 14– Cortes de PET utilizados nos ensaios.



Fonte: Autor, 2020.

3.2 ANÁLISE DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO AXIAL OBTIDAS NOS ESTUDOS APRESENTADOS

O Quadro 2 apresenta os dados resultantes do ensaio de compressão axial realizado no trabalho nº1. Observe que utilização de 10% de fibra, tanto o traço com fibra tipo “A” e o traço com fibra tipo “B” obtiveram resultados positivos, entretanto o traço com fibra tipo “B” obteve resultados melhores se comparado ao concreto com fibra tipo “A”, alcançando então a resistência determinada no cálculo do traço.

Nota-se que aos 14 dias de idade o concreto com utilização da fibra tipo “A” teve uma perda de 15,6% de sua resistência em relação ao concreto convencional, onde de acordo com a tabela, evidencia um declínio de 22,5 para 19,44 MPa, ou seja, uma redução de cerca de 3,06 MPa (13,6%).

Ao analisar o gráfico nota-se que o concreto com tipo de fibra tipo “B” teve sua maior perda de resistência aos 07 dias, cerca de 2,50 % em relação ao concreto normal, ou seja, uma queda de 0,48 MPa. Ao comparar o concreto normal com o concreto com utilização da fibra tipo “B”, os resultados mantiveram em patamar estável, praticamente igual, diferente dos resultados obtidos por Schettino (2015), que em seu projeto de pesquisa não conseguiu atingir resistência à compressão em seu concreto com adição de 10% de fibra por conta da falta de aderência entre a fibra e o concreto, já que a fibra incorporada naquele estudo era se seção cheia, sem furos (Tipo “A”) ou serrilhas (Tipo “B”).

Quadro 2 - Resultado dos Ensaio de Resistência à Compressão Axial nos corpos de prova com as fibras tipo “A” e “B”

| Concreto | Idade | Resistência (MPa) | | | Resistência Média (MPa) |
|----------------|-------|-------------------|-------|-------|-------------------------|
| | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | |
| Normal | 03 | 15,60 | 14,54 | - | 15,07 |
| | 07 | 19,89 | 19,38 | - | 19,63 |
| | 14 | 22,55 | 22,44 | - | 22,5 |
| | 28 | 25,51 | 25,18 | - | 25,35 |
| Fibra tipo “A” | 03 | 12,63 | 12,75 | 12,27 | 12,55 |
| | 07 | 17,61 | 17,79 | 17,89 | 17,76 |
| | 14 | 19,52 | 19,42 | 19,38 | 19,44 |
| | 28 | 23,93 | 23,94 | 23,80 | 23,89 |
| Fibra tipo “B” | 03 | 15,17 | 15,19 | 15,09 | 15,15 |
| | 07 | 19,21 | 19,09 | 19,15 | 19,15 |
| | 14 | 22,12 | 21,99 | 22,05 | 22,05 |
| | 28 | 25,30 | 24,99 | 25,09 | 25,12 |

Fonte: FERREIRA e LIMA, 2018.

Os dados fornecidos pelo Quadro 3 pode-se observar que no corpo de prova em que não foram adicionadas as fibras de PET, aonde não foram acrescentadas as fibras de PET, ainda que possuam a mesma geometria e mesma idade (7 a 28 dias) alcançaram uma resistência média de 175KN. Ao comparar com os corpos-de-prova com adição de fibra, os quais a cura foi de 7 dias, identifica-se a drástica queda de resistência mecânica ao ser comprimido, ou seja, a resistência mecânica a compressão declina.

Para os CPs com a adição de fibra de PET T2 (5% de fibra adicionada), T3 (10% de fibra adicionada) e T4 (15% de fibra adicionada), observa-se que há queda considerável dos valores da resistência, que passam a ser de 68, 69 e 42,99 kN. Desta forma, verifica-se que o aumento do teor de fibra adicionada ao concreto passa a ter grande influência na resistência física do material.

Ainda sobre a obra nº 2, a comparação da resistência mecânica do material variando o percentual de adição de fibras com tempo de cura a 7 e 28 dias, nota-se uma redução na resistência à compressão axial em que se evidencia a uma faixa de interesse a 10% de adição, onde os resultados se situam em patamar estável. Ao comparar a resistência mecânica do material cujo tempo de cura é de 28 dias (adição de 5% de fibras de PET) com o corpo-de-prova sem adição de fibras de PET (tempo de cura de 7 (sete) dias), pode-se notar o declínio de sua resistência de 175 para 117 kN, resultando em um declínio percentual de 33%. O T3, por exemplo, com 10% de fibra, praticamente manteve o resultado de compressão com 5%. No entanto, quando se adicionou 15% de fibras de PET percebeu-se o declínio abrupto da resistência à compressão.

Quadro 3 - Resultado dos Ensaios de Resistência à Compressão Axial nos corpos-de-prova com as fibras tipo “C”

| Tratamento | Idade | Resistência Cps (KN) | | | Média (KN) |
|--------------------|---------|----------------------|--------|--------|------------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| T1 (0% de Fibras) | 7 dias | 102.2 | 121.4 | 123.5 | 115,7 |
| | 28 dias | 180.3 | 175.4 | 172.1 | 175,93 |
| T2 (5% de Fibras) | 7 dias | 72.17 | 64.37 | 67.58 | 68,04 |
| | 28 dias | 107.63 | 122.23 | 121.85 | 117,24 |
| T3 (10% de Fibras) | 7 dias | 65.17 | 71.95 | 71.32 | 69,48 |
| | 28 dias | 118.68 | 115.52 | 121.69 | 118,63 |
| T4 (15% de Fibras) | 7 dias | 44.52 | 43.01 | 41.44 | 42,99 |
| | 28 dias | 66.32 | 64.41 | 61.12 | 63,95 |

Fonte: SCHETTINO, 2015.

Analisando graficamente os resultados, pode-se observar que a resistência do concreto moldado com substituição por PET apresentou os menores resultados de resistência. A resistência média na idade de 21 dias do CPP alcançou a marca de 14,02 MPa, enquanto a do CPP20 ficou na marca de 7,63 MPa, uma queda de 45,5% ficando abaixo do traço convencional e apresentando mais que o triplo da queda de resistência na pesquisa utilizada como referência (percentual de queda em 13,93%).

Isso se deve ao fato deste polímero apresentar uma longa cadeia carbônica (hidrocarbonetos) em sua composição além de um anel benzênico, típico de compostos aromáticos, o que resulta em uma incorporação que coíbe as ligações do tipo ponte de hidrogênio necessárias entre o aglomerante e água de amassamento. (SCHETTINO, 2015)

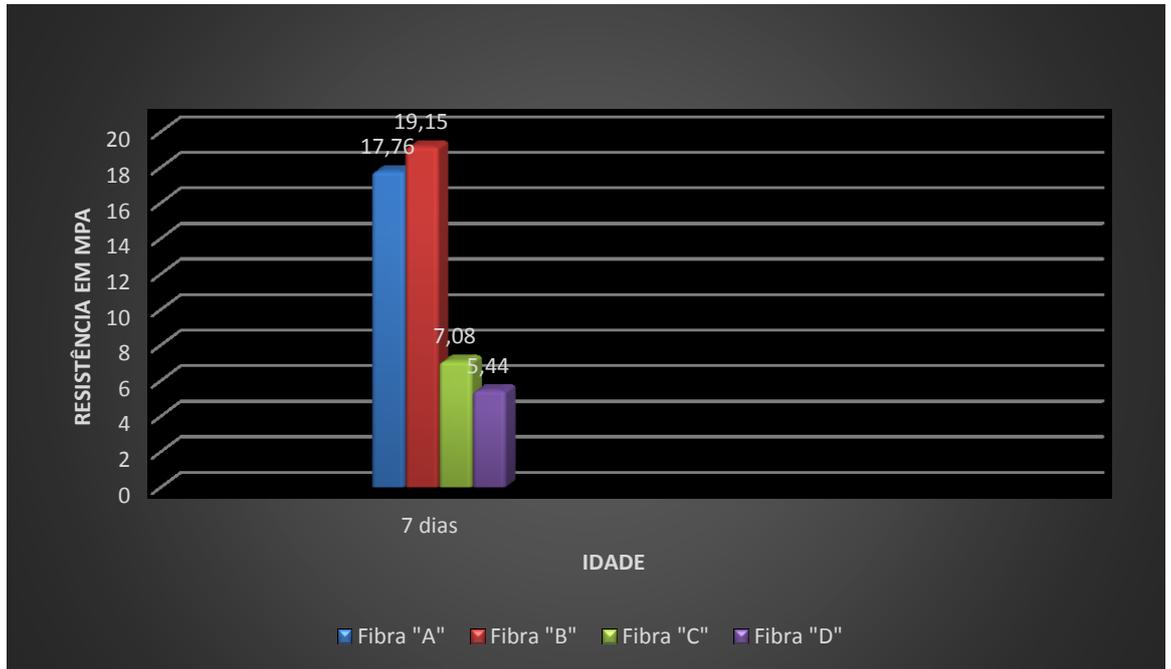
Além disso, o polímero também afetou negativamente a trabalhabilidade do concreto, dificultando o correto adensamento resultando no aumento de vazios. Por outro lado, um fator de relevância para este estudo está na diferença de densidade do “talco” e da areia fina. Nos ensaios verifica-se que a densidade do PET moído apresentou 598 kg/m³ enquanto a areia fina apresenta um valor médio de 1.500 kg/m³. Como resultado, tem-se um composto menos denso tornando o concreto produzido mais leve.

Quadro 4 - Resultado dos Ensaios de Resistência à Compressão Axial nos corpos-de-prova com as fibras tipo “D”

| Traço | Resistência à compressão – fcj (MPa) | | |
|-------------------|--------------------------------------|---------|---------|
| | 7 dias | 14 dias | 21 dias |
| CPC | 9,391 | 12,961 | 13,935 |
| | 8,478 | 12,163 | 14,066 |
| | 8,780 | 12,292 | 13,634 |
| | 9,078 | 12,648 | 14,451 |
| CPP ₂₀ | 5,428 | 6,208 | 8,073 |
| | 5,844 | 6,511 | 7,424 |
| | 4,786 | 6,238 | 7,470 |
| | 5,684 | 6,810 | 7,795 |

Fonte: NETO, 2019.

Figura 15– Comparação dos resultados dos ensaios com substituição de 10% de fibras de PET.



Fonte: Autora, 2020.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como mostrado nos resultados, o concreto com utilização de fibra de politereftalato de etileno tipo “B” atingiu resistência a compressão e a tração por compressão diametral similar ao concreto normal, possibilitando então a utilização deste concreto para fins estruturais. Já o concreto com utilização de fibra tipo “A” não atingiu a mesma resistência à compressão que o concreto normal e o concreto com fibra tipo “B” aos 28 dias, tendo uma média de resistência à compressão de 23,89 MPa, cerca de 95,56% da resistência do concreto referência. Diante dos resultados significativos alcançados com utilização de 10% da fibra tipo “B” em relação ao peso do cimento, torna-se viável a utilização do concreto com fibra de politereftalato de etileno.

Ao comparar os resultados aqui obtidos com os publicados por Schettino, verifica-se o grande avanço que a modificação na estrutura da fibra proporcionou diante da dificuldade de aderência da fibra ao concreto. A produção de fibras com perfurações e serrilhas semicirculares, apesar de não possibilitar ganhos de resistência, levou a um concreto com valores médios de resistência à compressão e à tração em patamares similares ao concreto convencional, sem adição desse elemento.

A partir do estudo realizado nota-se a inviabilidade da utilização do PET moído no concreto estrutural visto que a perda de resistência é notoriamente grande. Por outro lado, observa-se uma possível viabilidade na composição de concretos sem fins estruturais como o próprio concreto magro e unidades de alvenaria de vedação. Pautando-se nas normativas da NBR 6136:2016, pode-se verificar que a diferença de resistência (em MPa) de um bloco de concreto estrutural e um bloco de concreto para vedação (baseado na Classe II de agressividade) é de 50%.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. 2003
- _____. **NBR 5739:** Ensaio de compressão de corpos de prova, 1994.
- _____. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto. 2003.
- _____. **NBR 16697:** Cimento Portland – Requisitos. 2018.
- ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTAND. **Propriedades do concreto fresco.** 2000.
- ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTAND. **A versatilidade do cimento portland.** 2010.
- ABIPET – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. **Censo da Reciclagem de PET.** 2012.
- ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto.** 2002. 30 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, UNESP, Ilha Solteira, 2002.
- ARAÚJO, J. M. **Estruturas de concreto – A resistência a compressão e critérios de ruptura para o concreto.** Número 1. Rio Grande: Dunas, 2001.
- BASTOS, P. S. S. (Ed.). **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado: NOTAS DE AULA.** 2006. Disponível em: [http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798_Estruturas de Concreto 1/HIST.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798_Estruturas%20de%20Concreto%201/HIST.pdf). Acesso em: 15 abr. 2020.
- BRAGA, F. RAMOS, I. **Análise da resistência do concreto com adição de vidro moído Após exposição a elevadas temperaturas.** Faculdade Evangélica de Jaraguá, Jaraguá, 2019.
- CORÓ, Ângela Ghisleni, 2002. Trabalho de Conclusão de Curso. **INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRAS PET,** 2002. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wpcontent/uploads/2010/03/TCC-Angela-Ghisleni-Cor.pdf>. Acesso em: 22 mar, 2020.
- ENSAIO MECÂNICO: DE TRAÇÃO, 1997. Disponível em: <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/ensaios-nao-destrutivos-emecanicos/209-ensaio-mecanico-tracao.html>. Acesso em: 02 jun, 2020.
- FREITAS, J. de A. Jr. **Propriedades do concreto endurecido.** Universidade Federal do Paraná. Departamento de Construção Civil. Paraná, 2013.

FUSCO, P. **Tecnologia do concreto estrutural**. 1 ed. Ed. São Paulo. Editora PINI Ltda, 2008. 40p.

HELFRICH JR., HAROLD W. **A Crise Ambiental: A Luta do Homem para Viver consigo mesmo**. 2. ed. São Paulo: Melhoramentos/EDUSP, 1994.

ISAIA, Geraldo C. (ed.) **CONCRETO. Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON, 2005.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Disponível em: <
http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV_Vanderley_John_-_Reciclagem_Residuos_Construcao_Civil.pdf>. Acesso em 05 mai, 2020.

LA SERNA, H.; REZENDE, M. **Agregados para a construção civil**. DNPM, São Paulo, 2009.

LOREZON, A. **Análise da Resistência residual do concreto após exposição a altas temperaturas**. 2014. 57 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais**. São Paulo, Pini, 1994.

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Economia e Desenvolvimento**, [S.l.], jul. 2011. ISSN 2595-833X. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/eed/article/view/3442>. Acesso em: 26 maio. 2020

OLIVEIRA, H. M. de. Cimento Portland. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos, 2000. p. 35-60.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de Cimento Portland**. Editora: Globo. 1ª Edição, Porto Alegre, 1978.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. Poli(tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.121-132, jun. 2009. FapUNIFESP (SCIELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282009000200009>

SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. A TECNOLOGIA DA RECICLAGEM DE POLÍMEROS. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p.65-72, 2005. Disponível em: . Acesso em: 30 abr. 2020.