

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

THIAGO KENDY TONEGAWA

**AVALIAÇÃO TÉCNICA DO CONCRETO ADICIONADO DE
RESÍDUOS DE PNEU E PET PARA A FABRICAÇÃO DE PEÇAS
DE MEIO-FIO E SEU IMPACTO ECOLÓGICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

PONTA GROSSA

2016

THIAGO KENDY TONEGAWA

**AVALIAÇÃO TÉCNICA DO CONCRETO ADICIONADO DE
RESÍDUOS DE PNEU PARA A FABRICAÇÃO DE PEÇAS DE
MEIO-FIO E PET E SEU IMPACTO ECOLÓGICO**

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Mario José Van Thienen Silva

PONTA GROSSA

2016



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO TÉCNICA DO CONCRETO ADICIONADO DE RESÍDUOS DE PNEU PARA A FABRICAÇÃO DE PEÇAS DE MEIO-FIO E PET E SEU IMPACTO ECOLÓGICO

por

Thiago Kendy Tonegawa

Monografia apresentada no dia 11 de novembro de 2016 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Elis Regina Duarte

Profa. Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli

Profa. Dra. Prof. Mario José Van Thienen Silva Orientador

Profa. Dra. Prof. Priscilla G. Leite
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

DEDICATÓRIA

À minha família, amigos, meu professor orientador e a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, pela força, incentivo, companheirismo e amizade. Sem eles isso não seria possível.

A minha querida avó Reclê Jacotenski Fernandes (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família que esteve sempre ao meu lado independente da dificuldade encontrada no decorrer da minha graduação, sempre me dando forças para continuar.

Agradeço ao meu professor orientador Mario, um grande amigo antes de tudo, que se juntou comigo nessa pesquisa e nunca deixou que um dia eu desanimasse.

Agradeço aos meus amigos, muitos a se listar aqui, que estavam comigo nas horas boas quantos nas ruins.

RESUMO

O acelerado crescimento populacional desde a revolução industrial causou uma busca na evolução nos processos de produção, para conseguir suprir essa maior demanda de produtos que era necessária. Existiram vantagens, mas também o surgimento de problemas, se destacando o descarte dos produtos após sua utilização.

Os produtos derivados do petróleo, pneus e produtos de PET, que possuam destinação incorreta, acarretam muitos problemas, dentre eles, enchentes, oriundas de entupimento de bueiros e obstruções de leitos dos rios. Além de doenças, como a dengue, pois o mosquito transmissor necessita de água parada para se reproduzir, encontrando as mesmas nos recipientes depositados incorretamente ao ar livre. Devido a essa problemática, a busca para encontrar uma solução para esses resíduos está em constante discussão.

O desenvolvimento da sociedade nesse último século esteve baseado no aumento do consumo de concreto, material que possui uma vasta área de aplicação, desde a construção de calçadas até pilares de prédios. Sua composição é uma mistura de cimento, água mais adição em parte de sólidos grosseiros, como areias, pedras e cascalhos.

Sólidos esses, que nesta pesquisa, serão substituídos em parte por esses resíduos de pneu e PET.

Resíduos esses que não utilizados, teriam como destino lixões a céu aberto ou iriam servir de combustíveis para termoelétricas, destino também incorreto devido à liberação de gases tóxicos e poluentes durante sua queima.

O estudo buscou demonstrar a possibilidade de utilização de resíduos oriundos de pneus e PET na substituição de areia e pedra na receita original do concreto e analisar alterações em suas características físicas e mecânicas, em comparação com o concreto original.

Também buscou estabelecer uma relação com a quantidade de resíduos que estarão sendo retirados da natureza quando a pasta teste é utilizada para a construção de peças de meio-fio.

Palavras-chave: Concreto, Resíduos, Pneu , PET.

ABSTRACT

The rapid population growth since the industrial revolution caused a search on developments in production processes, to achieve meet this increased demand for products was necessary. There have advantages, but also the emergence of problems, especially the disposal of the product after use.

The oil products, tires and PET products, which have incorrect allocation, entail many problems, among them, flood, coming from clogging drains and obstructions of riverbeds. In diseases such as dengue mosquito because the need to stop water to reproduce, lying in the same containers incorrectly disposed outdoors. Because of this problem, the quest to find a solution to this waste is in constant discussion.

The development of society in the last century was based on the increased consumption of concrete, a material that has a wide application range, from building sidewalks to pillars of buildings. Its composition is a mixture of cement, water added over part of coarse solids, such as sand, stones and gravels.

Solids such that this research will be replaced in part by these tire waste and PET.

Waste that these unused, would like dumpsters destination in the open or would serve as fuel for power plants, also incorrect destination due to the release of toxic gases and pollutants during its burning.

The study aimed to demonstrate the possibility of using waste from tires and PET in replacing sand and stone in the original concrete recipe and analyze changes in their physical and mechanical properties compared to the original concrete.

It also sought to establish a relationship with the amount of waste that are being taken from nature when the test folder is used for the construction curb parts.

Keywords: Concrete, Waste, Tire, PET

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição Química de um Pneu.....	14
Tabela 2 – Comparação dos materiais contidos nos pneus.....	15
Tabela 3 – Peso dos Corpos de Prova.....	28
Tabela 4 – Densidade dos Corpos de Prova.....	28
Tabela 5 – Resistência característica à compressão.....	34

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 – Total de vendas anuais de Pneumáticos até 2014 (em milhões de unidades)	15
Gráfico 2 – Consumo de Pet no Brasil.....	19
Gráfico 3 – Evolução da Reciclagem do PET.....	19
Gráfico 4 – Tensão x Deformação para os corpos de prova.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das várias destinações dos pneus inservíveis.....	17
Figura 2 – Misturas realizadas até o concreto final.....	21
Figura 3 – Disposição das tábuas para construção do molde do corpo de ensaio.....	24
Figura 4 – Fôrma para construção do corpo de prova com a pasta de concreto.....	25
Figura 5 – Corpo de prova	25
Figura 6 – Resíduos de PET pré-tratados que irão substituir os agregados miúdos.....	26
Figura 7- Resíduo de pneu pré-tratados que irão substituir os agregados graúdos.....	26
Figura 8 - Máquina de Ensaio DL-10000.....	29
Figura 9 – Corpos de prova sob ação de soluções ácidas.....	33
Figura 10 – Medidas de Meio Fio Padrão.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS

PET - Politereftalato de Etileno

ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do Pet

NBR - Norma Brasileira

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP – Corpo de Prova

Sumário

1. Introdução	12
2. Objetivos	13
2.1. Objetivo geral	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. Revisão bibliográfica	14
3.1. Pneus	14
3.1.1. Constituição físico químicas dos pneus	14
3.1.2. Produção brasileira de pneumáticos.....	15
3.1.3. Resíduos de pneus	15
3.2. Pet-politereftalato de etileno	18
3.3. Concreto	20
4. Produção de peças de meio fio com concreto adicionado de resíduos..	22
5. Metodologia	23
5.1. Materiais.....	23
5.2. Métodos	23
5.3. Corpo de ensaio	24
5.4. Composições testadas	26
5.4.1. Composição original.....	27
5.4.2. Composição teste	27
6. Ensaio.....	29
6.1. Ensaio de compressão	29
6.1.1. Equipamento de ensaio de compressão.....	29
6.2. Teste de corrosão	33
7. Análise técnica	34
8. Aplicação do concreto e o impacto ambiental.....	35
9. Conclusão	37
10.Referências bibliográficas	38

1. INTRODUÇÃO

O resíduo, como o próprio nome já diz, é algo que sobrou e não tem mais utilidade para sua função inicial. A busca para a destinação correta dos resíduos dos processos industriais é muito importante, pois alguns resíduos são nocivos ao meio ambiente.

Com essa problemática a busca para encontrar um tratamento ou um destino correto para esses resíduos é constante.

No caso dos resíduos de pneus, as produtoras e distribuidoras tem como obrigação, sustentado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei 12305/10 | Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, acompanhar o ciclo de vida do produto em todas as etapas que envolvem o seu desenvolvimento, desde a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final. Sendo as mesmas sujeitas a multa caso o não cumprimento da lei.

Medidas e políticas de fiscalização cada vez mais intensas, devido ao impacto ambiental que esses resíduos geram, fazem com que empresas invistam em programas de sistemas de gestão ambiental, para obter a diminuição ou resolução dos problemas com resíduos. Somado a isso as empresas buscam mostrar para a sociedade sua marca como colaboradoras com o meio ambiente. Estratégia de tratamento de resíduos alinhavada com a estratégia de marketing da empresa.

Essa preocupação vem aumentando, pois a cada dia que passa a questão ambiental e consciência social ganha mais força em relação aos consumidores, consequentemente dando mais visibilidade as empresas que colocam em prática essas questões.

Refletindo diretamente na busca para que soluções adequadas sejam constantes e contínuas. Podendo ser observada em alguns exemplos de aproveitamento de resíduos de pneus na produção de asfalto e aproveitamento de resíduos de PET como agregado miúdo em concreto.

Neste contexto a adição destes resíduos como substituto de agregados minerais ao concreto apresenta-se como uma alternativa viável para dar uma destinação aos mesmos, agregando valor e reduzindo impactos ambientais para a obtenção de concretos com propriedades aceitáveis para uma aplicação específica.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Obter uma pasta de concreto agregada de resíduos de pneu e resíduos de PET que atendam as especificações para a construção de peças de meio-fio.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Substituir os agregados miúdo e graúdo por resíduos.
- Calcular a porcentagem de substituição dos resíduos e analisar o que afeta nas características do material.
- Analisar quantidade de resíduos não dispostos de maneira incorreta com os resultados da pesquisa.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PNEUS

Os Pneus são feitos de borracha, material esse que pode ser de origem natural, polímero retirado de uma árvore de origem amazônica chamada seringueira posteriormente processado ou originária de um polímero retirado do “crackeamento” do petróleo, as duas tem como polímero principal da cadeia o poli-isopreno sendo diferenciadas pelos seus processos de fabricação.

A borracha utilizada na fabricação de pneus é uma borracha que passou por um processo de vulcanização, processo esse que foi casualmente inventado pelo estadunidense Charles Goodyear, no ano de 1845, quando deixou cair em seu fogão uma quantidade de borracha e enxofre. Essa descoberta se tornou uma revolução, pois os pneus substituíram todas as rodas de madeira e metal de carroças e carruagens, mostrando um ótimo desempenho na absorção do impacto entre o solo e a roda tornando o transporte muito confortável e o deixando com uma maior durabilidade (CANEVAROLO Jr.,SEBASTIÃO V, 2002).

3.1.1. CONSTITUIÇÃO FÍSICO-QUÍMICAS DOS PNEUS

Segundo ANIP a composição do pneu é estabelecida em compostos pela Tabela 1 e por materiais na Tabela 2:

Tabela 1 - Composição química média de um Pneu.

ELEMENTO/ COMPOSTO	%
Carbono	70,0
Hidrogênio	7,0
Óxido de Zinco	1,2
Enxofre	1,3
Ferro	15,0
Outros	5,5

Fonte: Carvalho (2007)

Tabela 2 – Comparação dos materiais contidos nos pneus

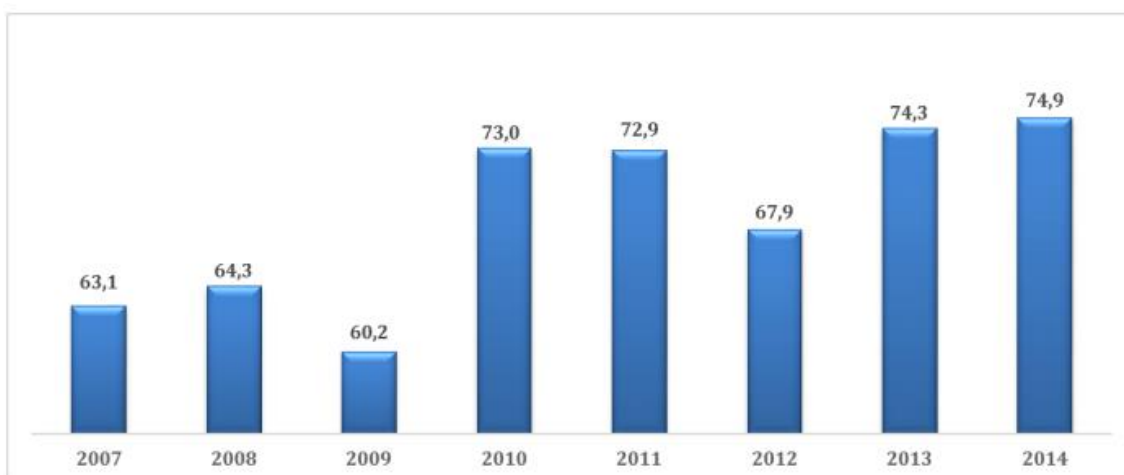
MATERIAL	% AUTOMÓVEL	% CAMINHÃO
Borracha/Elastômeros	48	45
Negro de fumo	22	22
Aço	15	25
Tecido de nylon	5	-
Óxido de Zinco	1	2
Enxofre	1	1
Aditivos	8	5

Fonte: ANIP (2009)

3.1.2. PRODUÇÃO BRASILEIRA DE PNEUMÁTICOS

Segundo a ANIP os dados de produção brasileira até o ano de 2014 é descrito pelo gráfico 1:

Gráfico 1 – Total de vendas anuais de Pneumáticos até 2014 (em milhões de unidades):



Fonte: ANIP(2014).

A produção de pneumáticos no Brasil tem uma considerável importância no quadro de empregos, conseguindo uma base de 29,5 mil empregos diretos, 120 mil empregos indiretos e 40 mil empregos relacionados com pontos de venda, mostrando que apesar de uma diminuição na produção no ano de 2012, devido à crise mundial, ela vinha em constante crescimento desde o ano de 2010 (ANIP 2014).

3.1.3. RESÍDUOS DE PNEUS

De acordo com as Resoluções criadas pelo CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, “258/99” e “301/02” temos como classificação de pneus por:

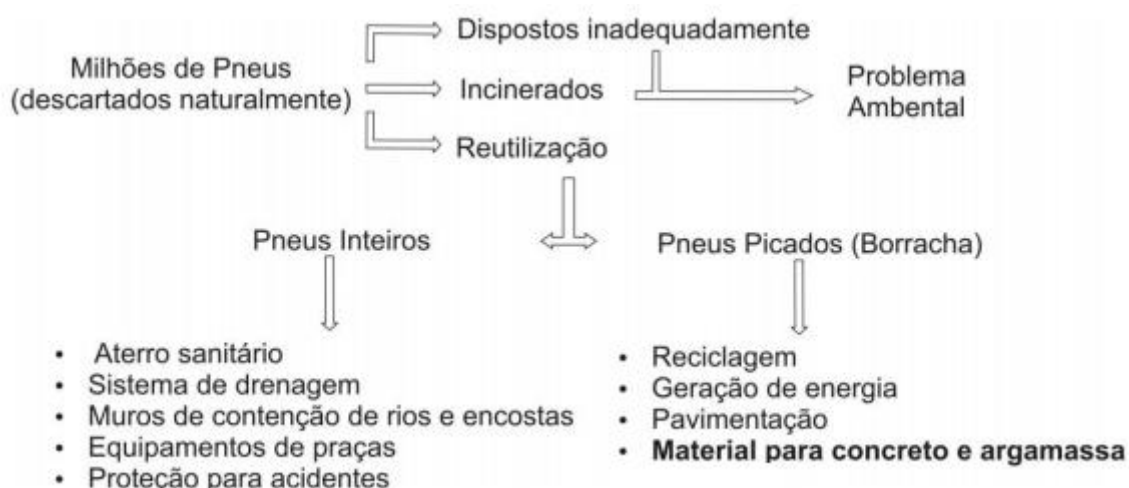
- Pneu ou pneumático: todo artefato inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem de veículos;
- Pneu ou pneumático novo: aquele que nunca foi utilizado para rodagem sob qualquer forma, enquadrando-se, para efeito de importação, no código 4011 da Tarifa Externa Comum – TEC;
- Pneu ou pneumático reformado: todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial com o fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem, enquadrando-se, para efeitos de importações, no código 4012.10 da TEC;
- Pneu ou pneumático inservível: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional.

O material da produção de pneus é a borracha vulcanizada e devido a isso os seus resíduos devem possuir um correto destino final, pois trata-se de um material cujo o tempo de decomposição é indeterminado e se não possuir um destino correto poderá gerar muitos danos ao meio ambiente.

Devido a isso foi criada a Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que “Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.”, para que medidas de proteção ao meio ambiente começassem a serem vistas também pelas indústrias, mas só em 1999 que foi implantada na lei, o artigo 33 que a partir deste momento os fabricantes de pneus são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos.(LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010).

Mesmo com a criação de leis e políticas para a tentativa de proteger o meio ambiente ainda existem muitos resíduos que são despejados de maneira incorreta na natureza e causam problemas ao meio ambiente, mas também já existindo alguns destinos corretos para os mesmos como mostra a figura 1:

Figura 1 – Fluxograma das várias destinações dos pneus inservíveis



Fonte: GRANZOTTO (2010)

O fluxograma mostra que a deposição correta dos pneus é de primordial importância para redução dos impactos ambientais, quando depositados em aterros sanitários acarretam a contaminação dos lençóis freáticos devido ao escoamento de óleos e graxas contidos.

No caso de incineração, sua queima libera muitos gases tóxicos como Monóxido de Carbono, Óxidos de Enxofre, Hidrocarbonetos e metais pesados acarretando a poluição da atmosfera.

Possui um processo de reciclagem complicado, sendo uma realocação, ou utilização do mesmo como substituto de algumas matérias primas nos processos de fabricação como pode ser o caso da utilização na fabricação de asfalto e material para a fabricação de concreto e argamassa (GRANZOTTO, A. 2010).

3.2. PET - POLITEREFTALATO DE ETILENO

Mais conhecido como PET ele é um, poliéster, polímero termoplástico, com densidade de $1,38\text{g/cm}^3$.

Utilizado em várias embalagens de produtos que consumimos diariamente, produtos alimentícios, produtos farmacêuticos e até medicamentos.

É um material que possui a melhor resistência dentre os plásticos, apresentando uma alta resistência mecânica (impacto) e química, aguentando o contato com agentes agressivos e não permitindo a passagem de gases e odores.

Possui uma modelagem simples o que acarreta uma variedade maior de modelos podendo se obter produtos com embalagens personalizadas ou que facilitam hora do transporte, evitando assim o risco com desperdícios. (ABIPET 2010).

No Brasil, o uso do PET iniciou em 1988 em substituição às garrafas, litros, garrafões e outras embalagens de vidro que eram utilizadas pelas indústrias de bebidas e alimentos. As vantagens imediatas para estas indústrias foram a substituição das embalagens retornáveis e que necessitavam de sistemas de logística reversa por outras descartáveis, sem retorno, mais baratas, versáteis e sem necessidade de manutenção e reposição das perdas. Para os consumidores, a praticidade do descarte imediato após o consumo, sem necessidade de guardar e devolver na próxima compra (HENDGES 2014)

Em 2011 a produção brasileira de PET foi de 572 mil toneladas, sendo apenas 294 mil toneladas desse material reciclado, como mostram os gráficos 2 e 3, um valor que representa 57,1% do número total da produção brasileira (ABIPET 2012).

Gráfico 2 – Consumo de Pet no Brasil

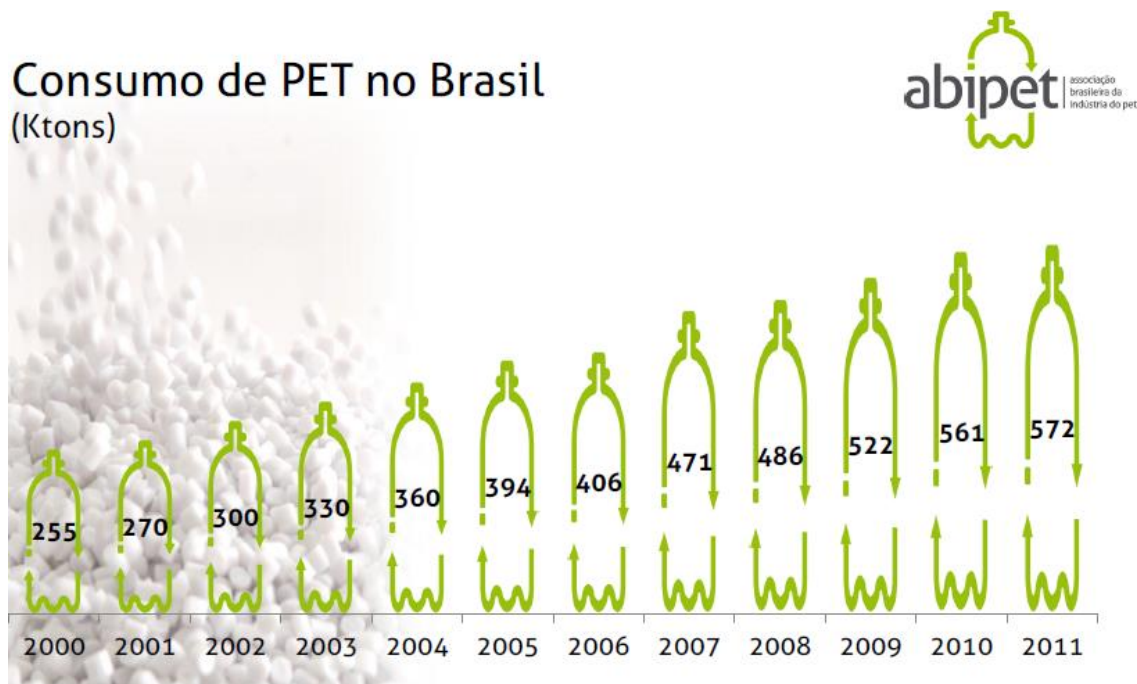
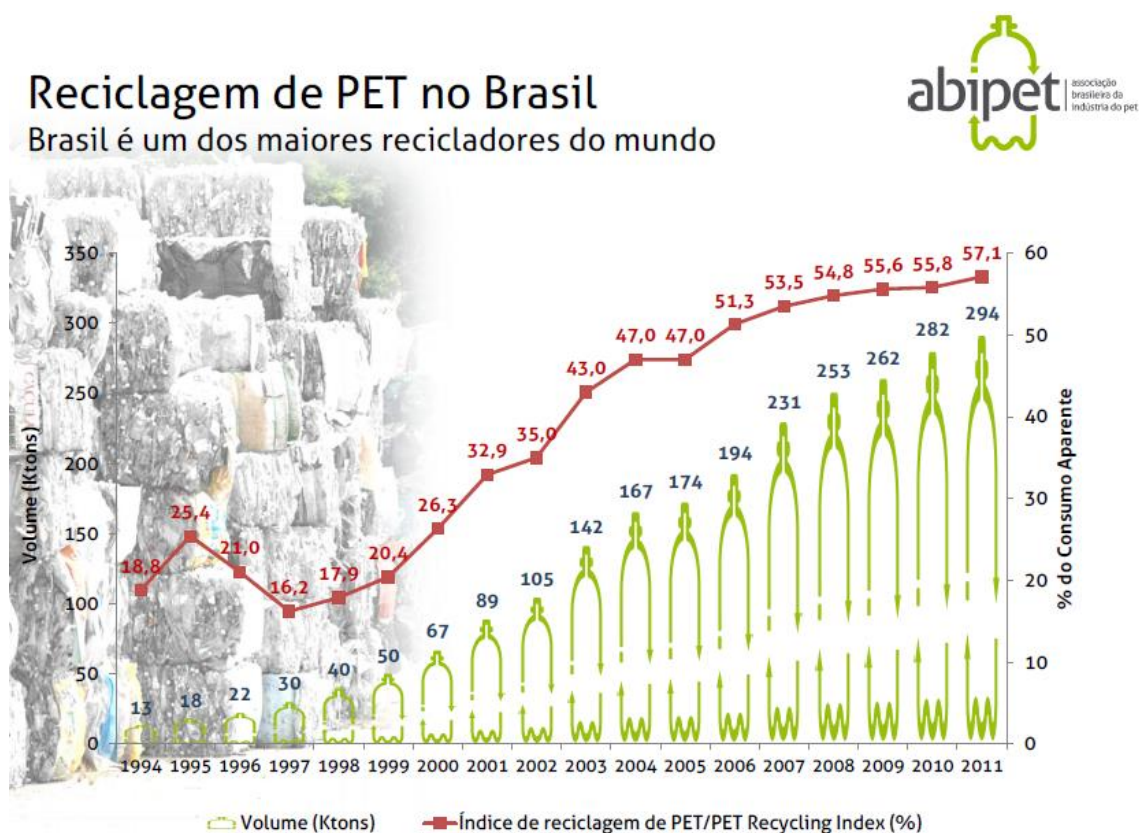


Gráfico 3 – Evolução da Reciclagem do PET



O Gráfico 3 mostra que existiu um constante aumento no número de embalagens recicladas com o passar dos anos desde 1994 até o ano de 2011, mas

mostra também que mesmo sendo um material com processo de reciclagem simplificado, e também possuir vários destinos para os seus resíduos. É que devido à uma destinação incorreta e falta de consciência por uma parte dos consumidores o número de embalagens que ficam dispostos indevidamente ainda é grande.

É um material inerte, não liberando líquidos ou gases tóxicos ao meio ambiente durante seu processo de decomposição, mas seu problema está em seu tempo de decomposição que chegam, dependendo de sua espessura, em torno de 400 anos o que acarreta nos montes de lixo que vemos nos grandes centros nos lugares em que não existe a coleta seletiva de lixo (PENSAMENTO VERDE 2013).

Somado a alguns efeitos da natureza como chuvas e tempestades causam um número de grandes enchentes, além da grande quantidade de embalagens de PET que são depositados no mar e acarretam a morte de vários animais, devido ao fato de ingerirem esse plástico por confundirem com alimento ou ficarem enroscados nas embalagens (PROJETO TAMAR 2016).

A grande problemática do resíduo de PET é a realização do correto destino dos resíduos para a reciclagem ou a implementação desse material como substituto de outras matérias em outros produtos.

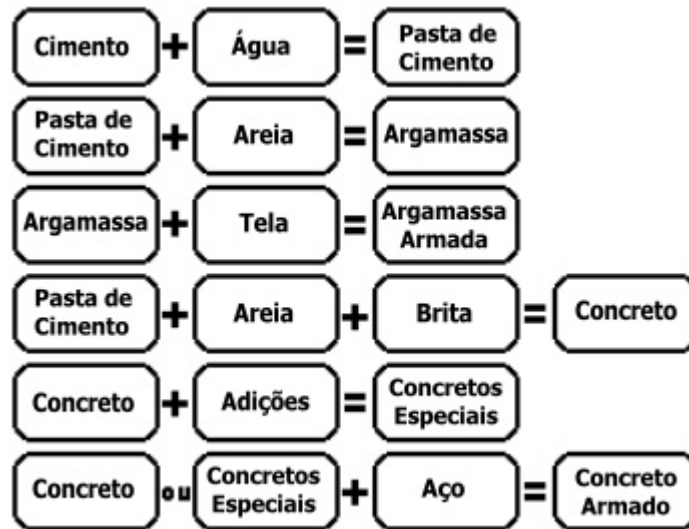
3.3. CONCRETO

O concreto é o material mais utilizado no setor da construção civil, consiste basicamente na mistura de um aglomerante, agregados, água e aditivos, dependendo da finalidade do concreto. O aglomerante mais conhecido é o cimento, os agregados são subdivididos em agregados graúdos e agregados miúdos que geralmente são pedra brita e areia respectivamente, sua densidade está compreendida entre 2.000 kg/m³ e 2.800 kg/m³ (Fonte: NBR 6118:2003).

A água utilizada na sua produção é de extrema importância, pois se utilizada em menor quantidade que o necessário ela não ativará a totalidade de cimento para a produção da pasta de cimento e se colocada em excesso diminuirá a resistência do concreto devido a formação de poros que existiram quando o excesso de água evaporar. (PORTAL DO CONCRETO 2013).

A Figura 2 mostra os resultados das misturas por etapas na produção do concreto:

Figura 2 – Misturas realizadas até o concreto final



Fonte (<http://www.portaldoconcreto.com.br/> acessado 24/10/2016)

4. PRODUÇÃO DE PEÇAS DE MEIO FIO COM CONCRETO ADICIONADO DE RESÍDUOS

O lado negativo da evolução dos processos industriais pode ser visto na utilização em excesso dos recursos naturais e no descaso com o tratamento de resíduos gerados nesses processos. A busca para a solução desse problema é constante, sempre procurando algo que consiga conciliar a questão ambiental com lucro, o que se busca atualmente na maioria das indústrias.

O Meio Fio é basicamente um bloco de concreto, mas que possui medidas e formas diferentes de acordo com o trabalho que será realizado (INPREART 2016).

Ele se encontra geralmente nos extremos das ruas e rodovias servindo como delimitador de tamanhos das vias e fronteira entre asfalto e calçada, geralmente em planos situados em níveis diferentes.

Por se tratar de um corpo (meio fio de concreto) que não está sujeito a grandes impactos e resistir a choques frequentes, sendo colocado a prova quando sofre impactos climáticos e meteorológicos, ou seja, erosão pela chuva, alterações de temperatura e pequenas forças.

Tendo de seguir algumas técnicas, que para nosso estudo é regulamentado pela, NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação Especificação e métodos de ensaio, que define desde o cimento que deve ser utilizado, dependendo da função que o bloco irá desempenhar, até o tempo de cura mínimo para a peça estar pronta (ABNT 2013).

Busca-se estudar e analisar uma formulação da receita básica de concreto com alterações nas quantidades de agregados graúdos e miúdos, os substituindo em parte por resíduos de pneu e PET, para posteriormente testar quais características foram alteradas com essa substituição.

Com os resultados encontrados irá se calcular a quantidade de resíduos que irão se destinar para um melhor uso com obtenção de algum retorno financeiro.

5. METODOLOGIA

5.1. MATERIAIS

- Cimento Portland composto CP II-Z-32 (Cimento VOTORAN)
- Areia
- Pedra Brita
- Água
- Resíduos de Pneu
- Resíduos de PET
- Tábua de Madeira MDF com 2cm de espessura

5.2. MÉTODOS

Para a fabricação do concreto necessitamos de:

- 1 Saco de Cimento
- 8 Latas e meia de Areia
- 11 Latas e meia de Pedra
- 2 Latas de água

*Considerando 1 Lata = 18 Litros

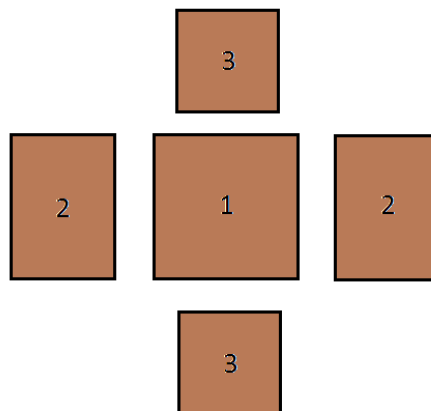
Partindo dessa receita, mas utilizando os valores os valores em uma escala de 100:1, começou a construção dos corpos de prova para que os testes sejam realizados.

5.3. CORPO DE ENSAIO

Foram construídos formas (moldes) com tábuas de madeira afim de se obter um corpo de ensaio cúbico com medidas 10cmX10cmX10cm.

Para isso os moldes foram construídos segundo as disposições como na Figura 3:

Figura 3 – Disposição das tábuas para construção do molde do corpo de ensaio



Fonte: Autoria própria

As tábuas usadas para a construção do molde possuem as seguintes dimensões:

Placa 1 – 14cmX14cmX2cm

Placa 2 – 14cmX10cmX2cm

Placa 3 - 10cmX10cmX2cm

Seguindo a disposição das tábuas na figura 4 montamos a fôrma para os corpos de ensaio como na Figura 4.

Figura 4 – Fôrma para construção do corpo de prova com a pasta de concreto



Fonte: Autoria própria

Após o despejar das pastas de concreto nas fôrmas as mesmas ficaram no processo de cura durante um período de 30 dias até que pudessem ser desenformadas. Quando retiradas das fôrmas, os corpos de prova apresentaram um bom aspecto, tanto para a receita original como para a receita que substitui em partes os agregados graúdo e miúdo, como mostra o corpo de prova da Figura 5.

Figura 5 – Corpo de prova



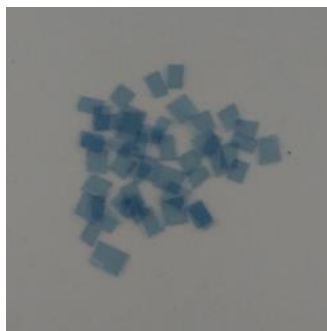
Fonte: Autoria própria

5.4. COMPOSIÇÃO TESTADA

Como a busca de alternativos destinos para os resíduos industriais, buscamos realizar alterações na receita de concreto para analisar se a utilização desses resíduos substituindo, em parte, os agregados miúdos e graúdos alteram as características originais do material.

Para a substituição do agregado miúdo, areia, foi necessário utilizar o PET com um tratamento prévio. Esse tratamento constitui simplesmente em um processo de trituração das garrafas PET, com ajuda de um moedor, para que alcancem uma granulometria próxima ao do agregado miúdo, com tamanhos máximos de 3mm, como mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Resíduos de PET pré-tratados que irão substituir os agregados miúdos.



Fonte: Autoria própria

No caso da substituição do agregado graúdo, pedra brita, pelos resíduos de pneu também foi necessário um tratamento prévio primeiro passando pelo triturador de pneus e posteriormente um processo de catação, escolha dos resíduos, pois a variação na granulometria da pedra brita possui uma margem maior. Os resíduos de pneu utilizados são mostrados na Figura 7.

Figura 7- Resíduo de pneu pré-tratado que irão substituir os agregados graúdos



Fonte: Autoria própria

5.4.1. COMPOSIÇÃO ORIGINAL

A primeira composição produzida para a realização dos ensaios foi a composição original do concreto sem alterações, para que os resultados obtidos por essa composição sirva de comparação.

Como o tamanho dos corpos de ensaio são reduzidos, para a economia de materiais, a receita original foi reduzida numa escala de 100:1 obtendo os respectivos valores:

- 600g de Cimento
- 1530ml de areia
- 1980ml de pedra
- 400ml de água

5.4.2 COMPOSIÇÃO TESTE

Com estudos realizados no pré-projeto em que foram testadas 3 proporções diferentes de substituição dos agregados por resíduos, a proporção que se mostrou com os melhores resultados foi a que irá ser descrita a seguir, sendo que as outras duas composições foram descartadas devido a não conformação do corpo e uma redução no volume durante o processo de cura.

Para a composição de teste utilizando os resíduos como substitutos dos agregados foram utilizados:

- 600g de Cimento
- 1147ml de areia / 382ml resíduos de PET - 75%-25%
- 990ml de pedra / 990ml resíduos de pneu - 50%-50%
- 400ml de água

Os corpos de prova foram construídos em triplicata, para se obter uma margem de segurança durante a realização do projeto, e foram obtidos os resultados apresentados nas tabela 3 com os pesos dos corpos e na tabela 4 com os valores das densidades:

Tabela 3 – Peso dos Corpos de Prova

	Peso dos Corpos de Prova	
CP	Composição Original	Composição Teste
1	2,947 Kg	2,345 Kg
2	2,899 Kg	2,394 Kg
3	2,985 Kg	2,329 Kg

Fonte: Autoria própria

Tabela 4 – Densidade dos Corpos de Prova

	Densidade	
CP	Composição Original	Composição Teste
1	2947 Kg/m ³	2345 Kg/m ³
2	2899 Kg/m ³	2394 Kg/m ³
3	2985 Kg/m ³	2329 Kg/m ³

Fonte: Autoria própria

6. ENSAIOS

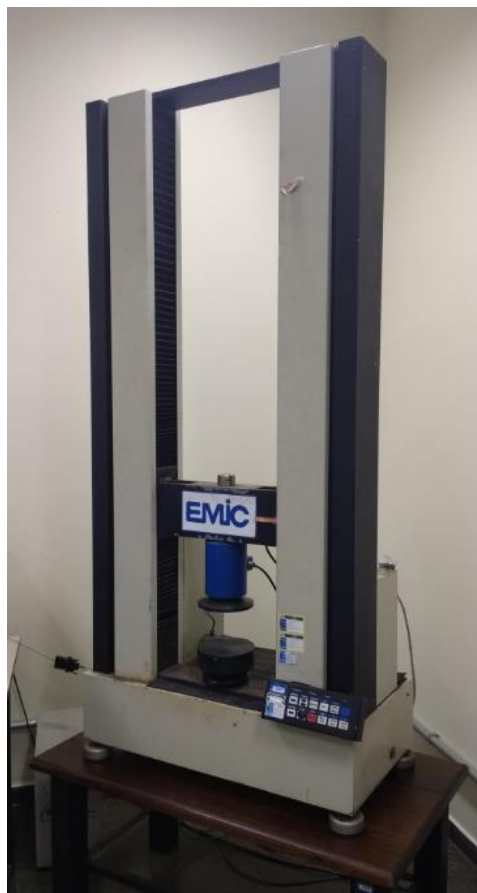
6.1. ENSAIO DE COMPRESSÃO

Como trata-se de um projeto que exige uma requerida resistência de acordo com a norma da ABNT NBR 9781:2013, Peças de concreto para pavimentação Especificação e métodos de ensaio, deve se especificar que o material possua resistência à compressão, que não se deforme facilmente e que assegure boa precisão dimensional quando solicitado por esforços de compressão. O ensaio de compressão é o mais indicado para avaliar essas características, principalmente quando se trata de materiais frágeis, como ferro fundido, madeira, pedra e concreto.

6.1.1. EQUIPAMENTO DE ENSAIO DE COMPRESSÃO

Para esse tipo de ensaio foi utilizado à máquina apresentada na Figura 8, Emic DL10000.

Figura 8 - Máquina de Ensaio DL-10000



Fonte: Autoria própria

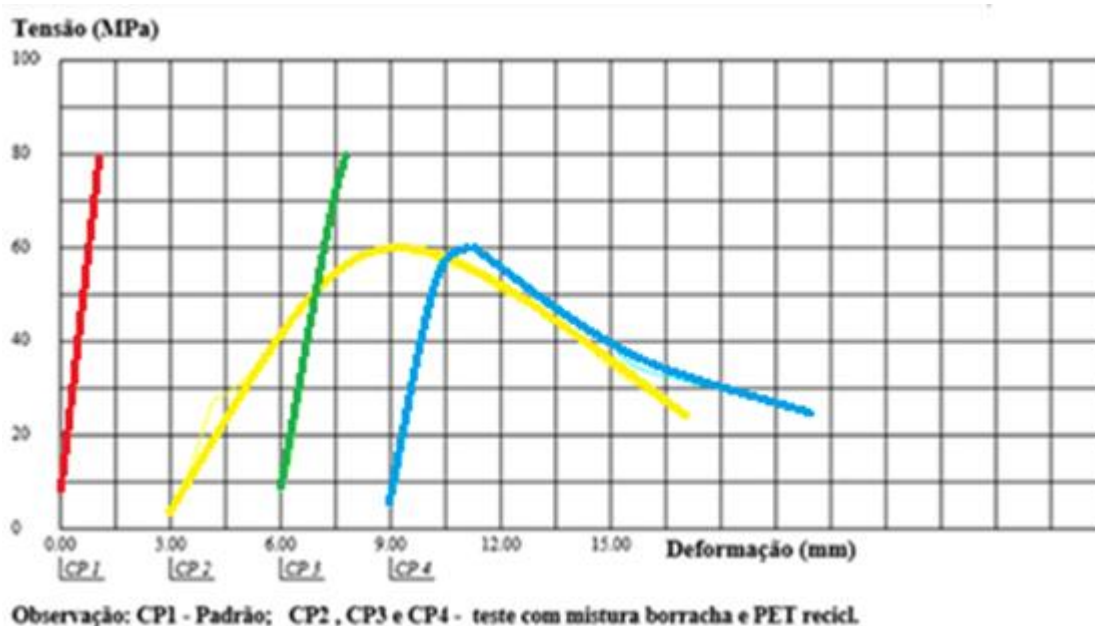
A Máquina de Ensaio DL-10000 destina-se à realização de ensaios de tração, compressão, flexão, dobramento. Projetada para operar em bancada, são dotadas de estruturas tipo dupla coluna. Os ensaios tanto de tração como de compressão e seus derivados são realizados no quadrante inferior, permitindo ao operador uma posição de manuseio bastante confortável. A faixa de variação de velocidades é bastante ampla, permitindo a realização de virtualmente qualquer tipo de ensaio até 500 mm/min.

O equipamento vem em sua configuração básica já provido internamente com um medidor de deslocamento da travessa móvel, que atua através da medição da rotação do motor, Esta configuração permite a medição em todo o curso do equipamento e pode ser utilizado nos ensaios onde o extensômetro (aparelho que mede a deformação do material durante o ensaio) possa ser dispensado (Manual DL-10000, EMIC).

O ensaio realizado por essa máquina consiste em colocar o corpo de prova entre as duas faces que irão a aplicar a compressão no corpo, sem que alguma parte do corpo de prova fique para fora da área de contato, de modo bem centralizado. Deixar as prensas bem coladas ao corpo de prova, manualmente, para então começar o ensaio. Ainda antes da realização do ensaio escolhemos os dados de funcionamento na máquina pelo computador utilizando o TESC, software esse que irá criar as linhas de comportamento para cada corpo de prova separadamente, mas sendo mostrada no mesmo gráfico.

Neste ensaio foi testado primeiramente um corpo de prova da composição original, para que fosse criada uma linha de tendência, e posteriormente foram testados os outros três corpos de prova construídos com a composição testada, assim os dados obtidos são mostrados no Gráfico 4:

Gráfico 4 – Tensão x Deformação para os corpos de prova



Fonte: Software TESC

Como se observa no Gráfico 4 temos a linha vermelha representando o comportamento do corpo de prova com a composição original e as demais representando os comportamentos dos corpos de prova com a composição teste.

- CP1 (Padrão) – Chegou até a compressão máxima da máquina 80 MPa sem o corpo de prova apresentar rachaduras ou descaracterização da forma do corpo de ensaio.
- CP2 (Teste) – Chegou até a compressão de uma tensão de 60 MPa, mas como mostra a linha amarela apresentou uma maior região elástica se comparado aos resultados do corpo de prova com a mistura padrão, mostrando o efeito da substituição dos agregados, miúdo e graúdo, do concreto.
- CP3 (Teste) – Obteve um resultando próximo da mistura de concreto original, alcançando a tensão máxima de 80MPa, e uma região de deformação elástica maior que a da mistura original.
- CP4 (Teste) – Parecido com o comportamento do corpo de prova 2 chegou até a compressão de uma tensão de 60 MPa, mas mostrando um região elástica maior se comparado aos resultados do corpo de prova com a mistura padrão, mostrando o efeito da substituição dos agregados, miúdo e graúdo, do concreto.

Os resultados encontrados foram bastante plausíveis, pois foi encontrado um valor menor de resistência se comparado ao valor obtido pelo corpo de prova padrão, o que já era esperado.

O resultado observado pelo CP3 foi o melhor obtido, mas como testamos mais dois corpos construídos com a mesma pasta de concreto, podemos considerar que sua composição estava diferente das demais, podendo ser explicada ou por uma maior quantia de pedras, ou uma maior quantidade de cimento utilizada.

Isso mostra a importância da construção dos corpos de prova em triplicata, pois assim é possível conseguir excluir um resultado que esteja muito fora dos padrões obtidos por outras amostras que eram tidas como iguais.

6.2. TESTE DE CORROSÃO

Devido ao projeto da criação desse concreto se destinar a construção de meios-fios, se pensou em realizar um teste de corrosão com ácidos que possam realmente entrar em contato com esse material como é o caso do ácido nítrico (HNO_3) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4), pois são os ácidos que são encontrados no fenômeno da chuva ácida.

O teste consistiu no mergulho de uma parte do corpo de ensaio nas soluções ácidas de menor concentração e em seguida deixa-lo em repouso na solução por um período de 30 minutos como mostrado na figura 9.

Entretanto para o teste com as soluções mais concentradas foram utilizadas aproximadamente 10 ml de solução que era simplesmente despejado sobre os corpos de prova.

Foram utilizadas soluções:

- 6M de ácido nítrico
- 6M de ácido sulfúrico
- 0,5M de ácido nítrico
- 0,5M de ácido sulfúrico

Os resultados encontrados foram bastante semelhantes para os dois corpos de prova, tanto para as soluções de 6M quanto as soluções 0,5M. Apresentando um desgaste mínimo na sua superfície somente quando colocados em contato com os ácidos de maior concentração, enquanto no teste com as soluções nenhum desgaste foi observado.

Figura 9 – Corpos de prova sob ação de soluções ácidas



Fonte: Autoria própria

7. ANÁLISE TÉCNICA

De acordo com a Tabela 5 da norma da ABNT NBR 9781:2013, Peças de concreto para pavimentação Especificação e métodos de ensaio, em que relaciona a resistência característica a compressão (f_{pk}) com a solicitação para qual o bloco de concreto foi feito, pode se observar os valores mínimos de tensão que o bloco deve suportar.

Tabela 5 – Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: ABNT NBR 9781:2013

Os valores encontrados nesse estudo após a realização dos ensaios foram bastante positivos, pois como mostrado na tabela 3, o valor mínimo da resistência característica à compressão associado a solicitação de maior risco é de 50MPa. Isso mostra que o valor de 60 MPa obtido pelo corpo de prova com a pasta de concreto teste se enquadra dentro dos valores requeridos pela norma NBR 9781:2013.

8. APLICAÇÃO DO CONCRETO E O IMPACTO AMBIENTAL

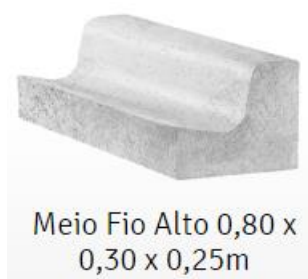
Os estudos realizados conseguiram constatar que a composição testada conseguiu somar o que era buscado no início desta pesquisa, ou seja, uma massa de concreto adicionado de alguns resíduos industriais com boas características de resistência para a fabricação de meios-fios.

De acordo com as quantias utilizadas para a fabricação dos corpos de prova temos as seguintes % dos materiais de composições do corpo de prova:

- Areia = 26,01%
- Pedra = 22,45%
- PET = 8,67%
- Pneu = 22,45%
- Água e Cimento = 20,42%

Com a utilização de um modelo para a construção do meio-fio mostrado na Figura 10 conseguimos realizar o cálculo do volume de massa de concreto utilizada para posteriormente analisar a quantidade, em volume, de resíduos que foram corretamente destinados.

Figura 10 – Medidas de Meio-Fio Padrão



Fonte: Inpreart 2016

Com a utilização dos valores acima conseguimos obter que cada peça do meio-fio possui a utilização de $0,05\text{m}^3$ de massa de concreto.

Considerando as porcentagens calculadas da composição teste obtemos que os volumes de resíduos de PET e resíduos de pneu que foram acoplados a essa peça de meio-fio foram $0,004335\text{m}^3$ e $0,011225\text{m}^3$ respectivamente.

Para representar com outros parâmetros a quantidade de material que será aproveitado vamos realizar o cálculo baseado na pavimentação de 1Km de rua, mas

como em cada via devem se existir meios-fios nos dois lados, calcularemos fazendo essa consideração.

Para 1Km de pavimentação junto com a utilização dos meios-fios com a massa da composição teste serão utilizados 2500 peças de meios-fios, assim se obtém que as quantidades de resíduos utilizados por Km de pavimentação são:

- 10,84m³ de resíduo de PET/Km
- 28,07 m³ de resíduo de pneu/Km

Considerando as densidades do PET igual a 1380Kg/m³ e a densidade da borracha de pneu (polímero de isopropeno) igual a 920Kg/ m³ temos que a quantidade em massa desses materiais em 1Km de pavimentação será de:

- 14960 Kg de resíduos de PET
- 25825 Kg de resíduos de pneu

Agora se considerarmos o peso de uma garrafa PET de 2 litros em torno de 57g e o peso de um pneu de carro variando de 5 a 7 Kg, temos que se utilizando essa quantidade de resíduos teríamos aproximadamente 262456 garrafas de pet e 4304.

9. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise de como o concreto elaborado com a composição teste, em que os agregados miúdo e graúdo substituídos parcialmente por resíduos de pneu e PET, pode ser um destino bastante viável para estes resíduos.

Os resultados se comparados aos resultados obtidos pelo concreto original no ensaio de compressão foram relativamente piores, mas mesmo com essa perda de resistência, a construção de peças de meio-fio. Valores que atendem as definições da norma, NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação, para a construção dos mesmos. Quanto ao teste de corrosão, realizado para a simulação do meio-fio sob ação da chuva ácida, os resultados foram positivos, pois conseguiram um bom comportamento quando colocadas em contato com as soluções ácidas.

Outro ponto que não era o principal deste estudo, mas que deve ser colocado em evidência é a redução dos custos para a construção das peças de meio fio, pois a quantidade dos agregados que deveria ser utilizado foi reduzida, somando uma redução de custos do produto com uma questão ambiental.

Isso mostra que é possível encontrar alternativas para a destinação correta de resíduos industriais, mas que deveriam ser mais estudadas e apoiadas por órgãos governamentais de pesquisa, pois ainda não conseguem resultados tão expressivos. Fato evidenciado pela quantidade de resíduos que ainda existem ao nosso redor, em aterros e lixões, ou simplesmente jogados na natureza.

Os resultados apresentados por esse estudo conseguiram uma composição para a construção das peças alocando resíduos industriais em sua composição.

Visando aumentar ainda mais a resistência da peça sem que se diminua em grande proporção a substituição dos agregados por resíduos, esse estudo pode ser levado à diante em busca de resultados que possam ser aplicados para outras finalidades.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Luiz Paulo Argao de; SILVA, Fabiana Alves da. ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE CONCRETO CELULAR ADICIONADO DE PET TRITURADO NA FABRICAÇÃO DE RESIDÊNCIAS E SEU IMPACTO ECOLÓGICO. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente**, São Carlos-são Paulo, p.1-10, 15 set. 2010. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_wic_121_787_17339.pdf>. Acesso em: 02 maio 2016.

ANIP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS (Brasil). Departamento de Estudos. **Produção e Vendas 2014**. 2014. Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/producao_vendas.pdf>. Acesso em: 01 maio 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação. 2 ed. 2013. 26 p. Disponível em: <[file:///C:/Users/Thiago/Downloads/NORMA ABNT NBR 9781 PISOS.pdf](file:///C:/Users/Thiago/Downloads/NORMA%20ABNT%20NBR%209781%20PISOS.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2016.

BRASIL. Casa Civil. Lei nº 12305. LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA. Brasília, DF, 12 de janeiro de 1998. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 02 ago. 2010.

CAMPOS, Wendersen Cássio de; JACINTHO, Ana Elisabete P. G. A. Concreto com adição de fibras de borracha: um estudo frente às resistências mecânicas. **Anais do Xv Encontro de Iniciação Científica da Puc-campinas**, Campinas, p.1-6, 27 out. 2010. Disponível em: <https://www.puc-campinas.edu.br/websist/portal/pesquisa/ic/pic2010/resumos/2010923_16020_379135473_resnaE.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2016.

CANEVAROLO Jr.,SEBASTIÃO V. Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber, 2002.

CORREA, Priscila Marques; SANTANA, Prof. Dra. Ruth Marlene Campomanes. RECICLAGEM DE PET, VISANDO A SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO LEVE. **Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, Porto Alegre - Rio Grande do Sul, p.1-9, 15 maio 2014. Disponível em: <<http://www.abes-rs.org.br/qualidade2014/trabalhos/id971.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2015. CORREA, Priscila Marques; SANTANA, Prof. Dra. Ruth Marlene Campomanes. RECICLAGEM DE PET, VISANDO A SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO LEVE. **Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, Porto Alegre - Rio Grande do Sul, p.1-9, 15 maio 2014. Disponível em: <<http://www.abes-rs.org.br/qualidade2014/trabalhos/id971.pdf>>. Acesso em: 08 set 2016.

EMIC. **Manual da linha DL**: Equipamento Modelo: 5000/10000. São José dos Pinhais: -, 2012. 15 p. Disponível em: <http://docente.ifb.edu.br/paulobaltazar/lib/exe/fetch.php?media=manual_ensaio_tracao_dl10000_emic.pdf>. Acesso em: 05 out. 2016.

FRANÇA, Valério Henrique. Aderência aço-concreto: uma análise do comportamento do concreto fabricado com resíduos de borracha. 2004. viii, 127 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/91477>>. Acesso em: 02 set 2016.

FIORITI, Cesar Fabiano; INO, Akemi; AKASAKI, Jorge Luís. Avaliação de blocos de concreto para pavimentação Inter travada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 7, p.43-54, 20 ago. 2007. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3753/2106>>. Acesso em: 05 set 2016.

GRANZOTTO, Laura. **CONCRETO COM ADIÇÕES DE BORRACHA: UMA ALTERNATIVA ECOLÓGICAMENTE VIÁVEL**.2010. 132 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010. Cap. 4. Disponível em: <<http://www.peu.uem.br/Discertacoes/Laura.pdf>>. Acesso em: 03 set 2016.

HENDGES, Antônio Silvio. **Produção, utilização, descarte e reciclagem do PETnoBrasil**.2014.Disponívelem: <<http://www.ecodebate.com.br/2014/02/11/producao-utilizacao-descarte-e-reciclagem-do-pet-no-brasil-artigo-de-antonio-silvio-hendges/>>. Acesso em: 02 set 2016

INPREART (Colombo/paraná). **Meio Fio**. 2015. Disponível em: <<http://www.inpreart.com.br/meio-fio/>>. Acesso em: 02 set 2016.

MENESES, Ilzenete Andrade. **AVALIAÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE PET SUBMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS**. 2011. 90 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Cap. 4. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ilzenete_dissertacao_final_28_12_2011.pdf>. Acesso em: 03 set 2016.

PENSAMENTO VERDE. Decomposição da Garrafa Pet. Disponível em:< <http://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/qual-e-o-tempo-de-decomposicao-da-garrafa-pet/>>. Acesso em 22/10/16.

PIETROBELLI, Eliton R. **ESTUDO DE VIABILIDADE DO PET RECICLADO EM CONCRETO SOB ASPECTO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO**. 2010. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unochapecó, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2010. Cap. 3. Disponível em: <<http://www5.unochapeco.edu.br/pergamum/biblioteca/php/imagens/000061/000061C4.pdf>>. Acesso em: 03 out 2016.

PROJETO TAMAR. Lixo x Tartaruga. Disponível em: < <http://tamar.org.br/interna.php?cod=316>>. Acesso em 22/10/16.

SABENDO UM POUCO MAIS SOBRE CONCRETO. Portal do concreto. Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/tipos>. Acesso em: 6 jun. 2013.

S COM PET RECICLADO. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Maceió, p.2423-2432, 14 nov. 2014. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_57.pdf. Acesso em: 03 out 2016.

SILVA, Samir Lacerda da. Avaliação do coeficiente de atrito de calçada com adição de grãos de borracha de pneus no concreto. **Exatas Online**, Campos dos Goytacazes, v. 3, n. 2, p.40-46, 05 dez. 2012. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/V3N2pp40-46.pdf>. Acesso em: 03 out 2016.

VELOSO, Zilda Maria Faria. **CICLO DE VIDA DOS PNEUS**. Brasil, 2009. 24slides,color. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/Zilda-Maria-Faria-Veloso-Ciclo-Vida-Pneus.pdf>. Acesso em: 02 maio 2015.

VERZEGNASSI, Emerson; LINTZ, Rosa Cristina Cecche; BARBOSA, Luisa Andréia Gachet. Concreto convencional com adição de borracha reciclada de pneus: estudo das propriedades mecânicas. **Estudos Tecnológicos**, Campinas, p.98-108, 01 maio 2011. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/4516-14914-1-SM.pdf>. Acesso em: 02 out 2016.