

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ELIZA CAROLINE TEIXEIRA DO CARMO

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE BORRACHA PROVENIENTE DE PNEUS NA
FABRICAÇÃO DE CONCRETOS**

FORMIGA – MG
2018

ELIZA CAROLINE TEIXEIRA DO CARMO

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE BORRACHA PROVENIENTE DE PNEUS NA
FABRICAÇÃO DE CONCRETOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como
requisito parcial à obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Rosiene Gonzaga de Jesus Pimenta

FORMIGA - MG

2018

C287 Carmo, Eliza Caroline Teixeira do.
Incorporação de resíduo de borracha proveniente de pneus na
fabricação de concretos / Eliza Caroline Teixeira do Carmo.– 2018.
39 f.

Orientadora: Rosiene Gonzaga de Jesus Pimenta.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –
Centro Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Material alternativo. 2. Resistência mecânica. 3. Meio Ambiente.
I. Título.

CDD 628.44

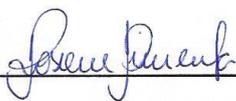
Eliza Caroline Teixeira do Carmo

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE BORRACHA PROVENIENTE DE PNEUS NA
FABRICAÇÃO DE CONCRETOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como
requisito parcial à obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

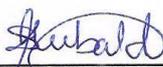
Orientadora: Prof^ª. Rosiene G. de Jesus Pimenta

BANCA EXAMINADORA



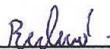
Prof^ª. Rosiene Gonzaga de Jesus Pimenta

UNIFOR-MG



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

UFLA



Bruno César Comitante Leão

ENGENHEIRO CIVIL

Formiga, 07 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por todas as bênçãos derramadas durante todo esse caminho até aqui. Principalmente nesta última etapa, em que tudo é mais intenso e difícil.

Aos meus pais Antônio e Cleusa por todo amor, carinho e paciência. Obrigada por não medirem esforços para me verem bem. Meu irmão Lourenço, obrigada pelo apoio e incentivo.

Ao meu namorado Jonas pelo amor incondicional, companheirismo, cumplicidade e paciência, você é muito importante.

Aos meus tios, madrinhas e primos, obrigada pela preocupação e torcida de sempre.

A minha prima querida Claudia, obrigada pela disponibilidade, atenção, ajuda e apoio durante todos esses anos.

Aos meus amigos da vida e aos amigos que a faculdade me deu, quantas pessoas de coração bom, sempre generosas e prontas para ajudar. Obrigada a cada um que me ajudou nessa longa caminhada, e principalmente que me ajudou de alguma forma nessa última etapa, serei eternamente grata a cada um.

Aos meus professores pelos ensinamentos compartilhados, vivências e aprendizados.

Aos meus orientadores Rosiene Pimenta e Michael Thebaldi, por toda competência, dedicação, atenção, amizade e sabedoria, cada um em um período, mas os dois essenciais e importantes na construção deste trabalho. Ao meu co-orientador Paulo José pela experiência e sabedoria compartilhada.

Enfim, obrigada a cada um que de alguma forma direta ou indiretamente contribuíram com na minha formação e elaboração deste trabalho. Muito Obrigada, que Deus os abençoe sempre.

RESUMO

A conscientização em relação ao desenvolvimento sustentável tem se tornado cada vez mais importante, assim, a utilização de materiais que normalmente seriam descartados na natureza é uma das maneiras mais conscientes de preservação ambiental, além de, na maioria das vezes serem muito eficazes, trazendo resultados favoráveis e mais uma alternativa para o setor da construção civil. Desta maneira, o objetivo desse trabalho é verificar a viabilidade técnica da substituição parcial, do agregado miúdo por resíduos de borracha de pneus na fabricação de concreto, visando a verificação de sua consistência, trabalhabilidade, massa específica e resistência mecânica à compressão aos 28 dias. Para os ensaios, foram confeccionados corpos cilíndricos com 0%, 5%, 15% e 25% de resíduos de borracha de pneus, que depois de 28 dias foram rompidos e comparados os valores obtidos no ensaio, com os valores obtidos no concreto testemunha, com 0% de adição de resíduos. Notou-se pelos resultados uma diminuição na resistência à compressão, que pode ter originado na forma de adensamento a que os corpos de prova foram submetidos, não sendo suficiente. A formação de vazios nos corpos de prova reforça mais ainda essa hipótese. Adicionalmente também a granulometria, quantidade de borracha e relação água/cimento pode ter afetado a trabalhabilidade dos concretos com resíduos de borracha.

Palavra-chave: Material alternativo. Resistência mecânica. Meio ambiente.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Conjunto slump test	19
Figura 2 – Processo da recauchutagem do pneu.....	21
Figura 3 – Peneiras utilizadas no ensaio granulométrico	25
Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia	31
Gráfico 2 – Curva granulométrica dos resíduos de borracha	31
Gráfico 3 – Diferença de abatimento do tronco de cone para cada traço	32
Gráfico 4 – Relação das massas específicas por traço.....	33
Gráfico 5 – Redução da resistência com base no concreto testemunha	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação de materiais utilizados por traço	27
Tabela 2 – Distribuição granulométrica da areia e dos resíduos de borracha	30
Tabela 3 – Média das resistências dos corpos de prova	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP – Corpo de prova

CP I – Cimento Portland Comum

CP II – Cimento Portland Composto com adição de escória

CP III – Cimento Portland de Alto-Forno

CP IV – Cimento Portland Pozolânico

CP V – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PET – Polietileno Tereftalato

PVC – Policloreto de Vinila

RB – Resíduos de borracha

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto

UNIFOR – Centro Universitários de Formiga Minas Gerais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo geral	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
4.1 Desenvolvimento Sustentável	12
4.2 Reuso de resíduos na fabricação de concreto.....	13
4.3 Concreto.....	14
4.4 Constituintes	15
4.5 Reações de formação do concreto	17
4.6 Propriedades do concreto fresco e endurecido	18
4.7 Resíduo de borracha de pneu	20
5 MATERIAL E MÉTODOS	23
5.1 Caracterização dos materiais	23
5.2 Equipamentos utilizados	24
5.3 Granulometria	24
5.4 Dosagem do concreto.....	26
5.5 Slump Test	28
5.6 Preparação dos corpos de prova	28
5.7 Cura do concreto.....	28
5.8 Massa específica dos corpos de prova.....	28
5.9 Resistência à compressão.....	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo desenvolvimento sustentável tem se tornado cada vez maior em todo o mundo, alternativas e medidas estão sempre sendo adotadas e testadas, na tentativa de encontrar soluções para esse grande problema que afeta a natureza, com o desmatamento, queimadas, poluição dos solos e das águas, efeito estufa, entre outros.

O impacto ambiental que o setor da construção civil causa com a utilização de recursos naturais, consumo de energia elétrica, descarte incorreto de entulhos, entre outros é muito alto. O setor automotivo não fica muito atrás, com o descarte de pneus na natureza, desmatando a flora, fauna, causando queimadas com o lançamento de gases poluentes, favorecendo para o aquecimento global.

A construção civil tem a grande vantagem de contar com alternativas que podem além de favorecer o próprio setor, diminuindo o uso de agregados naturais, ajudar ao meio ambiente com a utilização de materiais que muitas vezes são descartados na natureza. Como o uso de resíduos de PET (*Polietileno tereftalato*); resíduos de sílica da casca de arroz; escória de cobre; resíduos de borracha; restos de argamassa, entre outros.

Um exemplo de utilização destes materiais é na mistura do concreto, com a substituição pelos materiais tradicionais do traço ou com o acréscimo nas composições como mais um material, ocasionando com a mistura das propriedades de cada componente, um concreto de qualidade.

Com isso, a alternativa de utilização de resíduos de borracha como substituto na confecção de concretos vem se tornando cada vez mais frequente, pois a utilização favorece aos diferentes setores apresentados, de forma proporcional.

Assim, visando a importância da utilização destes materiais, a proposta deste trabalho é utilizar resíduos de borracha de pneus na composição do concreto, com substituição em porcentagens de 5, 15 e 25 do agregado miúdo por resíduos de borracha, fazendo um comparativo das resistências à compressão encontradas, após 28 dias em água, tendo como referência a resistência encontrada no concreto testemunha, sem acréscimo de resíduos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliação da interferência da adição de resíduo de borracha na resistência à compressão, massa específica, consistência e trabalhabilidade do concreto.

2.2 Objetivos específicos

- Fabricar corpos de prova de concretos com dosagens de 0, 5, 15 e 25 % de resíduos de borracha de pneus, em substituição ao agregado miúdo;
- Determinar a massa específica e a resistência à compressão dos diferentes traços de concreto estudados, após um tempo de cura de 28 dias; e
- Fazer um comparativo entre os valores obtidos na resistência à compressão, tendo como referência o concreto testemunha.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Desenvolvimento Sustentável

A incansável busca pela evolução mundial, constantemente desordenada e desprovida de barreiras, trouxe como consequência resultados negativos relacionados ao meio ambiente. Notou-se que por mais tecnológica ou inteligente a evolução ocorresse, não seria possível sanar tamanhos problemas, estes que por muitas vezes, ainda misteriosos para a humanidade (BRAGA, et al., 2006).

O equilíbrio entre a tríade sociedade, ambiente e economia passou a ser necessário, surgindo assim a procura insistente, por um exemplo de desenvolvimento sustentável, com o uso consciente dos recursos naturais, atendendo as necessidades humanas e visando a preservação do ecossistema (AGOPYAN; JOHN; GOLDEMBERG, 2011).

Em 1972, foi realizada a Conferência de Estocolmo (*United Nations Conference on the Human Environment*) que teve como foco principal a preservação do meio ambiente, mostrando a responsabilidade de zelar pelo que se tem, garantindo vida as próximas gerações. Desde a década de 1980, ocorreram importantes Conferências com os países desenvolvidos e os países em desenvolvimento, sempre conscientizando sobre o problema existente e alertando para que cumprissem com suas obrigações em relação ao meio, adotando medidas cabíveis para cada país (REIS; FADIGA; CARVALHO, 2012).

O Brasil esteve sempre consciente das suas responsabilidades e, desde os anos de 1970, adota medidas não apenas ligadas a problemas ambientais, como também a pobreza, a fome e a desigualdade social. A criação de entidades responsáveis por cada setor fez-se necessária, na busca de melhor desempenho e orientação aos membros ligados a cada um (REIS; FADIGA; CARVALHO, 2012).

Para a Construção Civil, criou-se o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBSC), que teve como objetivo a busca pela preservação, com a diminuição dos desperdícios de materiais; a reciclagem dos resíduos; a limitação da falta de condições básicas para moradia; alternativas para um ar atmosférico mais puro, entre outros (AGOPYAN; JOHN; GOLDEMBERG, 2011).

Assim como em outros países, no Brasil, mesmo nos dias atuais, ainda não há um modelo de desenvolvimento sustentável a seguir, existem exemplos de medidas adotadas que deram certo e trouxeram excelentes resultados, é preciso o empenho de todos, desde órgãos

federais, estaduais e municipais como também da população em geral, para que o desenvolvimento aconteça (LOPES et al., 2017).

4.2 Reuso de resíduos na fabricação de concreto

O efeito estufa tem provocado cada vez mais o aquecimento global, com o lançamento exagerado de gases poluentes que ficam retidos na superfície, originados de combustíveis fósseis, da atual frota de veículos e do crescente aumento de indústrias. As consequências desse aquecimento exagerado são diversas, e afetam os solos, o fluxo das águas, a fauna, a flora, enfim todo o meio em que se vive. (BARBOSA; IBRAHIN, 2014).

Medidas vêm sendo adotadas na tentativa de retardar esse grande problema mundial, com programas de conscientização que visam simples medidas, que podem ser aplicadas no dia a dia e que geram resultados positivos, exemplo disso é a separação do lixo, que por sua vez ainda não é vista com bons olhos, em relação a sua utilidade após o descarte. Neste processo cada material é separado por suas características específicas e reciclados, sendo elas: o metal, o vidro, o papel, o plástico a borracha entre outros (MANO; PACHECO; BONELLI, 2010).

Na construção civil não é diferente: o reaproveitamento de resíduos sólidos é muito utilizado, após descartados são separados conforme suas características e de acordo com o tipo de material, logo após são triturados e utilizados. Sua aplicação varia desde a confecção de peças pré-moldadas, como na fabricação de blocos de concreto de vedação (MANO; PACHECO; BONELLI, 2010).

A utilização de resíduos sejam eles restos de argamassa, blocos cerâmicos, concreto, cinzas e tantos outros, tem diferentes resultados, como exemplo, quando utilizados no traço do concreto, a resistência pode chegar a ser igual ou até superior ao recomendado, porém, são necessárias análises para constatação da resistência, que pode variar de acordo com o resíduo utilizado e a área de aplicação deste concreto (NAKAMURA et al., 2014).

Como exemplo de uso de resíduos na fabricação do concreto, tem-se o concreto com resíduos de PET (*Polietileno tereftalato*) usado sem alterações, da maneira como disponível em indústrias de reciclagens. Quando substituem os agregados convencionais, podem ser utilizados na produção não estrutural, obtendo uma resistência mecânica com resultados satisfatórios (MODRO et al., 2009).

Outro exemplo é o Concreto com resíduos de sílica da casca de arroz, que tem por finalidade acrescentar durabilidade ao concreto, com a substituição de uma parte do cimento

utilizado para o traço, por sílica da casca de arroz, resultando em proteção ao ataque de íons e também uma opção sustentável e econômica (MENDES et al., 2014).

O concreto com escória de cobre, também é uma opção de utilização consciente de resíduos. Quando acrescentada ao traço, melhora o comportamento mecânico e sua resistência. Quando utilizada por substituição da areia, torna-se uma ótima opção, não só pelos objetivos específicos, mas também pela diminuição da retirada da mesma da natureza (MOURA, 2000).

Na utilização de resíduos de recauchutagem de pneus, a substituição é por agregado graúdo e o resultado é favorável quanto a resistência mecânica. Além dos benefícios ambientais, como a redução do resíduo descartado na natureza e redução das queimadas provenientes de pneus, levando a uma diminuição do lançamento de gases poluentes na atmosfera e os benefícios ligados a saúde humana, entre outros (FIORITI; AKASAKI; INO, 2006).

Percebe-se nesses exemplos citados acima, entre tantos outros existentes, que a utilização destes resíduos na fabricação do concreto, tem um papel importante além de pontos positivos, como a economia de materiais, a contribuição com o meio evitando a poluição, ajudando a manter o ambiente urbano limpo e proporcionando novas oportunidades de trabalho (ROCHA; CHERIAF, 2003).

4.3 Concreto

Conhecido desde o final do século XIX, o concreto é um material de extrema importância, ligado diretamente ao desenvolvimento humano, ao crescimento da economia, da cultura, além de ser o material mais utilizado em todo o mundo. Em alguns países, além do desenvolvimento, é visto como fonte de poder, sendo investidos recursos financeiros significantes, para um conhecimento aprofundado e estratégico (ISAIA, 2007).

O concreto é o resultado da junção de cimento, agregados (miúdos e graúdos) e água. De acordo com a utilidade a ser empregado, tem o acréscimo de aditivos na sua composição, que causam variações em suas características, tornando-o um material resistente e durável. Quando em estado de flexibilidade, nas primeiras horas, torna-se ajustável a fôrmas de diferentes dimensões (ISAIA, 2007).

Pode ser produzido na obra, manualmente (indicado para obras pequenas) ou de forma mecânica (com o uso de betoneiras) ou pode ser produzido fora da obra, em indústrias

concreteiras que utilizam caminhões betoneiras, produzindo o concreto usinado. Este tipo de concreto é prático pois chega pronto para o lançamento nas fôrmas, e é utilizado em um tempo menor em relação ao produzido na obra, a desvantagem é o seu custo elevado. Para a escolha de qual tipo de produção utilizar, é necessária uma análise do projeto, visando a prioridade e a necessidade de cada obra, seja em questões de tempo, dinheiro, etc. (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006).

Existem dois tipos de concreto: fresco e endurecido. O concreto fresco tem por finalidade a redução dos espaços vazios, obtendo consistência, trabalhabilidade e homogeneidade. Tais características podem sofrer certas modificações devido o adensamento, a pega e a cura. Já o concreto endurecido tem suas definições de acordo com a resistência à tração e compressão, ao qual será sujeitado, além da sua durabilidade (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

4.4 Constituintes

Aos compostos utilizados na fabricação do concreto, dá-se a denominação de constituintes, sendo eles: cimento, agregados miúdos, agregados graúdos e água. Em algumas situações são utilizados produtos químicos (aditivos), para modificar algumas propriedades do concreto (SALGADO, 2011).

Existem vários tipos de cimento, o mais utilizado em todo o mundo é o cimento Portland. Originado da composição indispensável das seguintes substâncias: cal (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), determinada quantia de magnésia (MgO), óxido de sódio (Na₂O), óxido de potássio (K₂O), óxido de titânio (TiO₂) e outras menos relevantes (BAUER, 2011). Para sua fabricação estas substâncias são queimadas em altas temperaturas até a sinterização, obtendo o clínquer, que posteriormente é moído até tornar-se um pó fino. É de extrema importância o armazenamento correto dos cimentos, em locais fechados, evitando uma possível hidratação, pois uma vez ocorrida sua utilização torna-se suspeita (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Os tipos de cimento Portland variam de acordo com suas composições, sendo eles (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006):

- Cimento Portland Comum - CP I;
- Cimento Portland Composto - CP II (com adições de escória de alto-forno, pozolana e filer)
- Cimento Portland de Alto-Forno - CP III (com adição de escória de alto-forno, apresentando baixo calor de hidratação);

-Cimento Portland Pozolânico - CP IV (com adição de pozolana, apresentando baixo calor de hidratação); e

-Cimento Portland de Alta Resistência Inicial- CP V (com maiores proporções de silicato tricálcico, que lhe confere alta resistência inicial e alto calor de hidratação).

As principais características do cimento são: finura - em relação aos grãos, quanto mais fino melhores resultados; tempo de pega - tempo do endurecimento do cimento; expansibilidade - é a expansão logo após a pega, causando fissuras; resistência à compressão - ligação entre carga de ruptura e área de seção transversal; calor de hidratação - quantia de calor vinda da hidratação, durante o fortalecimento do cimento. Estas características, visam atender as diferentes necessidades do consumidor, tendo influência direta no resultado final (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006).

Os agregados são materiais de origem natural como: areia e cascalho, encontrados em margens de rios ou industrializados como: britas, argila e areias artificiais, adquiridos de processos artificiais, como a trituração (BAUER, 2012). Compostos por diferentes tamanhos de grãos, tendo grande influência nas propriedades dos concretos, sendo necessária o conhecimento de sua distribuição granulométrica (VARELA, 2012).

Ainda de acordo com o mesmo autor, as areias classificadas como agregados miúdos, possuem em geral grãos com diâmetros entre 0,06 e 2,0 mm; necessariamente fortes, limpas e livre de impurezas. Com propriedades mecânicas como inchamento: absorção de água na areia seca, inchando os grãos. Higroscopia: quando à vazios na areia seca, o contato com a água no interior, atinge nível acima da água do exterior. Coesão aparente: obtenção de uma resistência ao cisalhamento. E friabilidade: em caso de grãos friáveis, a areia perde suas características, para isso faz-se uma verificação, seguida de comparação calculando a porcentagem de redução.

Já os agregados graúdos são os cascalhos e britas, que também devem encontrar-se, antes do uso, livres de impurezas, como galhos, pó de britagem, folhas, barro de jazida, entre outros. A classificação dos cascalhos é de acordo com seu diâmetro, que varia entre 4,8 e 76 mm. Para a definição de resistência e dureza de ambos, são necessárias análises laboratoriais (SALGADO, 2011).

A água para utilização no concreto, deve ser limpa, livre de qualquer sujeira, para que não interfira no resultado final do concreto. Em caso de contaminação da água, faz-se necessária a troca por uma água pura e cristalina (SALGADO, 2011).

Segundo Leonhardt e Mönning, (2008), os aditivos são utilizados para alcançar propriedades específicas, a que cada concreto necessita. Existem os materiais aditivos, como

corantes minerais, cinzas volantes e pó de pedra. E os agentes aditivos, que modificam as características pela prática física e química. Como exemplos de aditivos utilizados, tem-se:

- Retardadores: utilizados para retardar a pega;
- Incorporadores de ar: tem por finalidade aumentar a capacidade contra o congelamento;
- Plastificantes: utilizado para reduzir a quantidade de água do concreto, obtendo-se maior resistência a compressão;
- Impermeabilizantes: utilizados para diminuir a permeabilidade à água;
- Aceleradores: utilizados para acelerar o endurecimento e a pega;
- Anticongelantes: utilizados para baixar o ponto de congelamento;
- Resinas à base de Policloreto de vinila (PVC) ou de epóxi: utilizadas para colar peças pré-fabricadas de concreto.

4.5 Reações de formação do concreto

O processo de endurecimento por hidratação do cimento Portland é um tipo de reação química ainda não conhecida profundamente, com alguns pontos a serem apresentados. O processo inicia com a hidrólise do silicato de tricálcico, ou seja, a separação em silicato bicálcico e hidróxido de cal, ocorrendo a precipitação do último, da solução extremamente saturada de cal. Em seguida, o silicato bicálcio presente, decorrente da hidrólise, mistura-se com a água no processo de hidratação, obtendo-se duas moléculas de água, tornando-se em baixas temperaturas, estado de gel. Quando em altas temperaturas, obtém-se uma estrutura de propriedades cristalina. O aluminato tricálcico e o ferro aluminato de cálcio, se hidratam e resultam respectivamente em cristais diversos de água e em uma fase horrenda gelatinosa (BAUER, 2012).

O aluminato tricálcio é conhecido como o responsável pelo começo rápido, no processo de endurecimento. Enquanto esse processo acontece, uma importante quantidade de calor se expande nas reações de hidratação. O aumento da temperatura, decorrente de grandes obras, acarreta o surgimento de trincas de contração ao fim do resfriamento da massa. Esse processo é conhecido como calor de hidratação (BAUER, 2012).

Já as reações álcali-agregado (RAA), referem-se às reações dos álcalis do cimento com constituintes de certos agregados, que produzem uma expansão do concreto. Existem três tipos de reações expansivas, sendo elas: álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato, mas

somente se preocupa com a reação álcali-sílica, devido a facilidade de expandir. Para que ocorra a reação álcali-sílica, é necessária uma quantidade considerável de sílica reativa, que em contato com os sulfatos de sódio e de potássio, vindos do cimento, e desfeitos na água, aconteça a formação do gel, que expandirá o concreto (FUSCO, 2008).

Para evitar que estas reações aconteçam, é necessário que se saiba as fontes de fornecimento dos agregados. Em caso de incertezas da origem, pode-se realizar ensaios químicos para constatação da reatividade do agregado (FUSCO, 2008).

4.6 Propriedades do concreto fresco e endurecido

A primeira etapa do processo de formação do concreto, conhecida como concreto fresco, é rápida. Esta etapa se refere ao intervalo de tempo fundamental para a mistura, transporte, lançamento e adensamento do mesmo. A segunda etapa, conhecida como concreto endurecido, tem início com a hidratação do cimento ligada ao endurecimento do concreto, sendo estas propriedades estendidas pelo resto da vida útil da estrutura (HELENE; ANDRADE, 2007).

Uma das principais propriedades do concreto fresco é a trabalhabilidade, que está ligada não somente ao concreto, mas também na forma como são executados e na natureza da obra. Tem ligação com a consistência do concreto, que varia de um concreto para outro, devido as variações dos tipos de materiais empregados no concreto (BAUER, 2012).

Para Neville, (2016) trabalhabilidade é muito mais que facilidade de lançamento e resistência a segregação. Ao considerar o processo de adensamento, seja ele por vibração ou por apiloamento, o objetivo é eliminar o ar retido no concreto até obter uma mistura mais densa possível, utilizando assim a energia para vencer os atritos internos entre as partículas. Esta quantidade de energia necessária para produzir o adensamento completo do concreto, é definida como trabalhabilidade.

A consistência se refere a maior ou menor capacidade de deformação do concreto, sob sua própria massa, variando de acordo com a quantidade de água introduzida e com a granulometria dos agregados e aditivos. Uma forma de verificação da consistência do concreto acontece, quando em um ensaio, um molde de massa de concreto é colocado na fôrma tronco cônica (FIG. 1) e golpeado, visando o assentamento da massa e ocorrendo um abatimento da mesma. Após a retirada do molde, a diferença de altura obtida entre o formato inicial e o final do concreto, é conhecida como abatimento ou *slump* (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

Figura 1 – Conjunto slump test



Fonte: Didática SP (2018).

Outras propriedades do concreto fresco são Adensamento, obtido por meio de introdução de vibração mecânica diminuindo os espaços vazios, ligado diretamente ao resultado final. A homogeneidade, que depende da uniformidade dos agregados graúdos, obtendo-se a qualidade esperada com uma massa de concreto bem misturada e bem colocada nas fôrmas. Também é propriedade a pega, que é o intervalo de tempo entre o início do endurecimento até a deformação do concreto, nesta etapa ocorre a evaporação da água existente no concreto, ocorrendo uma redução do volume que, a princípio, é impedida pelas armaduras e fôrmas, mas impossível de evitar, gerando tensões de tração, sendo necessária a hidratação. E também a cura, que é a hidratação do concreto, mantendo as superfícies molhadas, com a utilização de materiais que sejam capazes de permanecer encharcados, por tempo suficiente até obter as propriedades esperadas (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

Como propriedades do concreto endurecido, tem-se as resistências aos esforços mecânicos, dando destaque a resistência à compressão e a massa específica. A análise da resistência à compressão ocorre com o intuito de testar a resistência do concreto, sustentando a trabalhabilidade inicialmente proposta. Utilizam-se corpos-de-prova cilíndricos, preparados em moldes por camadas, com concretos de diversas características. O tempo de cura é de 7 ou 28 dias, tendo em 7 dias o alcance de cerca de 80% da resistência obtida nos 28 dias. O teste da resistência acontece, quando o cilindro é pressionado por uma prensa hidráulica com pressão elevada, até acontecer a ruptura, diminuindo bruscamente sua pressão (BLACHEYRE, 2005).

A massa específica dos concretos, ou seja, a massa seca, considerada como massa específica normal, deve estar compreendida entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³. Para o cálculo dos concretos simples, armado e protendido, caso desconheça a massa específica real, adota-se 2400 kg/m³ e 2500 kg/m³, respectivamente. Se a massa específica for conhecida, considera-se para massa do concreto armado, a massa do concreto simples acrescentada de 100 kg/m³ a 150 kg/m³ (ISAIA, 2007).

Outra propriedade do concreto endurecido é a resistência à tração que está relacionada a diversos fatores, particularmente da junção dos grãos dos agregados com a massa de cimento. Os resultados dos ensaios são desordenados, por não evitar completamente as tensões devido à retração e à temperatura. Existem três métodos de encontrar a resistência à tração, sendo eles: resistência à tração por fendilhamento, resistência à tração na flexão e resistência à tração axial (LEONHARDT; MÖNNIG, 2008).

4.7 Resíduo de borracha de pneu

Produzido no Brasil desde 1934, os pneus têm como compostos a borracha natural, extraída das seringueiras; e borrachas sintéticas, derivadas em sua maioria do petróleo. A borracha natural tem como características a elasticidade, flexibilidade e resiliência, sendo esta última, a capacidade de desenvolver energia mecânica recebida, quando misturado em uma boa quantidade de polibutadieno (GRISON; BECKER; SARTORI, 2010).

A borracha mais utilizada no mundo é o Elastômero de Estireno-Butadieno – SBR, aplicado na fabricação da grande maioria dos pneus e de artefatos de diferentes aplicações. De origem sintética, mas com características muito parecidas com as borrachas de origem natural, sendo menos elásticas, mas bem mais homogêneo (GRISON; BECKER; SARTORI, 2010).

Os resíduos de borracha são gerados, desde os processos de recauchutagem, com a transformação da rodagem velha em minúsculas partículas de diferentes granulometrias, sendo encontrados em forma de fibras ou em pó; ou pelo processo da reciclagem dos pneus (MANO; PACHECO; BONELLI, 2010).

Quando não reutilizados, os resíduos podem causar graves problemas à natureza devido o descarte incorreto, pois o seu elevado tempo para deterioração causa contaminação dos solos, das águas, além de queimadas e poluições (MANO; PACHECO; BONELLI, 2010).

Os pneus, antes do descarte final, podem ser reaproveitados por meio da recauchutagem, onde ocorre a raspagem da banda de rodagem deteriorada da carcaça, trocando a banda velha (resíduos), por uma nova (FIG. 2). Existe um limite na quantidade de

recauchutagens que os pneus podem ter, então, após atingir esse número, os pneus são considerados inúteis e, portanto, descartados (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

Figura 2 – Processo da recauchutagem do pneu



Fonte: Antoniazzi (2018).

A responsabilidade da coleta e destinação final dos pneus inaproveitáveis no Brasil, são das empresas fabricantes e das transportadoras de pneus importados, sendo a reciclagem o processo indicado. Neste processo, é necessário a separação dos constituintes dos pneus, ou seja, a borracha vulcanizada das partes metálicas e do náilon. Os pneus são retalhados e purificados pelo processo de peneiramento. No processo de desvulcanização, os retalhos são moídos e aquecidos pelo vapor d'água com produtos químicos. Logo após são polidos, obtendo grânulos de borracha (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

Os resíduos de borracha podem ser aplicados em diversos setores da construção civil, sejam em forma de retalhos, fibras ou em pó. Como exemplo, emprego na composição do asfalto de pavimentação de rodovias, apesar do custo ser alto, este processo tem maior elasticidade, quando em mudanças de temperatura, e diminuição do ruído de veículos nas rodovias, dobrando assim a vida útil das estradas. Também podem ser utilizados na confecção de solados de sapato e tapetes para carro, a borracha regenerada sofre remontagem limitada da macromolécula original, sendo utilizada na fabricação de produtos com poucos requisitos

técnicos. Outro exemplo é a utilização como combustível de uso industrial, sendo excepcional, reaquecendo a caldeira, entre outros (MANO; PACHECO; BONELLI, 2010).

5 MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo principal deste trabalho é a avaliação da interferência da adição de resíduo de borracha na resistência à compressão e massa específica do concreto. Para isso foram realizados ensaios para determinação da granulometria, ensaio de abatimento do tronco de cone e ensaio de resistência à compressão de acordo com as Normas Brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os ensaios foram executados no Laboratório de Ciências da Terra do Centro Universitário de Formiga- UNIFOR-MG.

Para a produção do concreto para montagem dos corpos de prova, foram utilizados os seguintes materiais: cimento, areia, brita, água e resíduos de borracha de pneus. Todos os materiais foram adquiridos em uma loja de materiais de construção na cidade de Arcos/MG, exceto os resíduos de borracha que foram coletados em uma empresa de Recapagem de Pneus também localizada na cidade de Arcos/MG.

Foram confeccionados 16 corpos de prova (CP), utilizando 4 traços com porcentagens de 0%, 5%, 15% e 25% de substituição de areia por resíduos de borracha (RB), que foram submetidos aos ensaios descritos em detalhes a seguir, antes e após 28 dias de idade.

5.1 Caracterização dos materiais

O cimento utilizado foi cimento Portland CP II-E 32 (Cimento Portland composto com escória), por se tratar de um cimento com satisfatórios resultados de aumento de resistência acima de 32 MPa aos 28 dias de idade do concreto, além de ser fabricado conforme a NBR 11578 (ABNT, 1991).

Para agregados miúdos utilizou-se a areia média, para agregados graúdos utilizou-se a brita nº 2, constituída por pedras de tamanho médio, com diâmetro de até 25,0 mm, muito utilizada no concreto bruto, ambos de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009).

A água para o amassamento do concreto, foi fornecida pelo sistema de Abastecimento e Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), atendendo as normas da NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

Os resíduos de borracha, proveniente da raspagem da banda de rodagem dos pneus velhos, que no processo de recauchutagem são trocados por novas banda de rodagem, para uma nova utilização. A raspagem gera pequenas fibras de borracha as quais são inutilizadas pelas empresas de recapagem.

5.2 Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios técnicos foram os seguintes:

- Balança de precisão;
- Peneiras de aço e agitador de peneiras;
- Prensa para ensaio de compressão;
- Conjunto Slump Test, composto por: Forma cônica, funil, placa base, haste socadora;
- Moldes de tubos de PVC (policloreto de vinilo) para corpos de prova cilíndricos de dimensões 10x20 cm;
- Paquímetro;
- Soquete;
- Concha de seção U;
- Colher de pedreiro;
- Banheira para imersão dos corpos de prova de concreto;
- Régua metálica;
- Trena;

5.3 Granulometria

No ensaio granulométrico dos resíduos de borracha e da areia para a determinação da composição granulométrica, utilizou as peneiras com aberturas de malha de 9,5 mm; 4,75 mm; 2,00mm; 0,85 mm; 0,425 mm; 0,300 mm; 0,150 mm, conforme especifica a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

As peneiras foram colocadas, umas sobre as outras em ordem crescente de abertura de malha, da base para o topo, sobre um fundo avulso. Como mostra a (FIG. 3).

Figura 3 – Peneiras utilizadas no ensaio granulométrico



Fonte: A autora (2018).

Em seguida, despejou os 0,3 kg, conforme recomenda a norma para agregados com dimensão máxima de 4,8mm, tampou a última peneira, fixou-se sobre o vibrador e ligou-se o aparelho. Após 1 minuto de vibração, desligou-se o vibrador e pesou-se o material retido em cada peneira. Este processo ocorreu para areia e logo após para os resíduos de borracha igualmente.

Na sequência calculou-se o percentual de material retido característico, (Equação 1).

$$\% \text{ do material retido} = \frac{(MR \times 100)}{MT} \quad (1)$$

Onde:

MR = material retido em gramas na peneira, e

MT = massa total utilizada em gramas.

O cálculo da quantidade de amostra retida acumulada em cada peneira, é o somatório do percentual retido da peneira anterior com o percentual da peneira analisada, conforme Equação 2.

$$\% \text{ do material retido acumulado} = RA + RT \quad (2)$$

Onde:

RA = porcentagem de material retido acumulado nas peneiras superiores; e

RT = porcentagem de material retido na peneira em estudo.

O cálculo da porcentagem que passa nas peneiras é a diferença entre a porcentagem que passa na peneira anterior, menos a porcentagem retida acumulada na peneira em estudo.

Ao encontrar a porcentagem retida acumulada da areia, foi verificada a sua dimensão máxima característica, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005). Para a classificação desta grandeza adota-se a malha da peneira onde a porcentagem retida acumulada é igual ou inferior a 5% em massa do agregado analisado.

Para o cálculo do módulo de finura, utilizou-se a Equação 3.

$$MF = \frac{MRA}{100} \quad (3)$$

Onde:

MF = modulo de finura; e

MRA = somatório da porcentagem de material retido acumulado nas peneiras utilizadas, exceto a do fundo.

5.4 Dosagem do concreto

Utilizou-se a dosagem em massa, pela facilidade de informação e aplicação, com o traço do concreto de 1:2:2,5 (cimento, areia e brita) e teor de 0,55 de água/cimento. Por se tratar de um traço mais usual, conforme (BARBOZA; BASTOS, 2008) e atender aos requisitos de composição, preparo e controle do concreto descritos na NBR 12655 (ABNT, 2015).

Foram confeccionados 16 corpos de prova no total, sendo 4 para cada traço. O primeiro traço é o concreto testemunha com 0% de substituição, os demais com 5%, 15% e 25% de substituição da areia por resíduos de borracha.

Com relação a dosagem ideal dos materiais, fez-se necessário o cálculo do volume unitário para cada corpo de prova, (Equação 4).

$$V = h \times \pi \times r^2 \quad (4)$$

Onde:

V = volume do corpo de prova, dm³;

h = altura do corpo de prova, dm; e

r = raio do corpo de prova, dm.

Logo após a obtenção do volume, multiplicou-se este valor pelo número total de corpos de prova, resultando no volume total do concreto, acrescido de 20% para taxa de desperdício. Assim, foi possível calcular a quantidade necessária de cada material para o traço, com a Equação 5.

$$C = \frac{V}{\frac{1}{\rho_C} + \frac{2}{\rho_A} + \frac{2,5}{\rho_B} + 0,55} \quad (5)$$

em que:

C = consumo de cimento, kg;

V = volume de concreto, dm³; e

ρ_C, ρ_A e ρ_B = massas específicas reais do cimento, areia e brita, kg/dm³ (VARELA, 2012).

Por fim, multiplicou-se o valor do consumo de cimento encontrado, pelos valores do traço, obtendo-se assim a quantidade unitária de cada material utilizado. Na TAB. 1, encontra-se a relação da quantidade exata de cada material por traço.

Tabela 1 – Relação de materiais utilizados por traço

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Resíduos de Borracha (kg)
0 %	2,7	5,5	6,8	1,5	0
5%	2,7	5,2	6,8	1,5	0,3
15%	2,7	4,6	6,8	1,5	0,8
25%	2,7	4,1	6,8	1,5	1,4

Fonte: A autora (2018).

5.5 Slump Test

Utilizado para determinar a consistência do concreto fresco com base no seu assentamento, conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Este ensaio consiste na utilização de um tronco de cone, de metal, apoiado sobre uma placa metálica, ambos limpos e umedecidos.

Para o ensaio, colocou-se o concreto em 3 camadas de volumes iguais dentro do cone, em cada camada realizou-se 25 golpes, com o auxílio da haste de socamento. Em seguida suspendeu-se o molde, na vertical, lentamente até sua retirada total, colocando-o ao lado do concreto para a medição da distância da base superior do molde ao centro da base do concreto, com o auxílio de uma régua, obteve-se assim o valor do abatimento do tronco de cone.

5.6 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2016), no formato cilíndrico com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, em moldes de cano PVC, revestidos por uma fina camada de óleo mineral, conforme indica norma vigente, e preenchidos por 2 camadas de concreto, ambas com 12 golpes manual para adensamento.

Posicionados sobre um tablado de superfície lisa, colocado no chão, livre de esbarrões ou ruídos.

5.7 Cura do concreto

Os corpos de prova permaneceram por 24 horas no local posicionado inicialmente e em seguida foram desenhformados, com o auxílio de uma lixadeira.

Logo após, todos corpos de prova foram identificados com um marcador permanente e levados para um recipiente cheio de água, onde permaneceram imersos por 28 dias, de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2016).

5.8 Massa específica dos corpos de prova

Para análise da massa específica para os 4 tipos de concreto, obteve-se o volume dos corpos de prova, antes da colocação no tange de água e 24 horas após a sua retirada, ao completar 28 dias de idade do concreto, obteve-se a massa dos corpos de prova, pesando cada

4 corpos de prova, conforme os traços utilizados. De posse destes valores dividiu-se a massa dos corpos pelo volume dos mesmos, obtendo assim a massa específica dos corpos de prova.

5.9 Resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão, utilizou-se uma Máquina Universal 100Tf, da marca SolaCap, que consiste em dois pratos onde um é fixo e o outro se movimenta fazendo um esforço axial sobre o corpo de prova, esse esforço é interrompido quando o corpo de prova sofre uma ruptura. O ensaio atende as normas da NBR 5739 (ABNT, 2018).

Inicialmente, os 16 corpos de provas, com 28 dias de idade, foram cadastrados. Antes da colocação dos mesmos, fez-se necessária, por todas as vezes, a limpeza dos pratos de compressão. Os corpos de prova foram sempre posicionados no centro do prato inferior, recebendo uma força axial contínua, até que ocorresse uma queda desta força, indicando assim sua ruptura, finalizando o processo.

Para o cálculo da resistência à compressão, utilizou-se a se a Equação 6.

$$f_c = \frac{4xF}{\pi x D^2} \quad (6)$$

Onde:

f_c = resistência à compressão, em MPa;

F = força máxima alcançada, em N; e

D = diâmetro do corpo de prova, em mm.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a substituição em porcentagem de areias por resíduos de borracha, fez-se necessário o ensaio granulométrico. A TAB. 2, mostra a distribuição granulométrica de ambos materiais.

Tabela 2 – Distribuição granulométrica da areia e dos resíduos de borracha

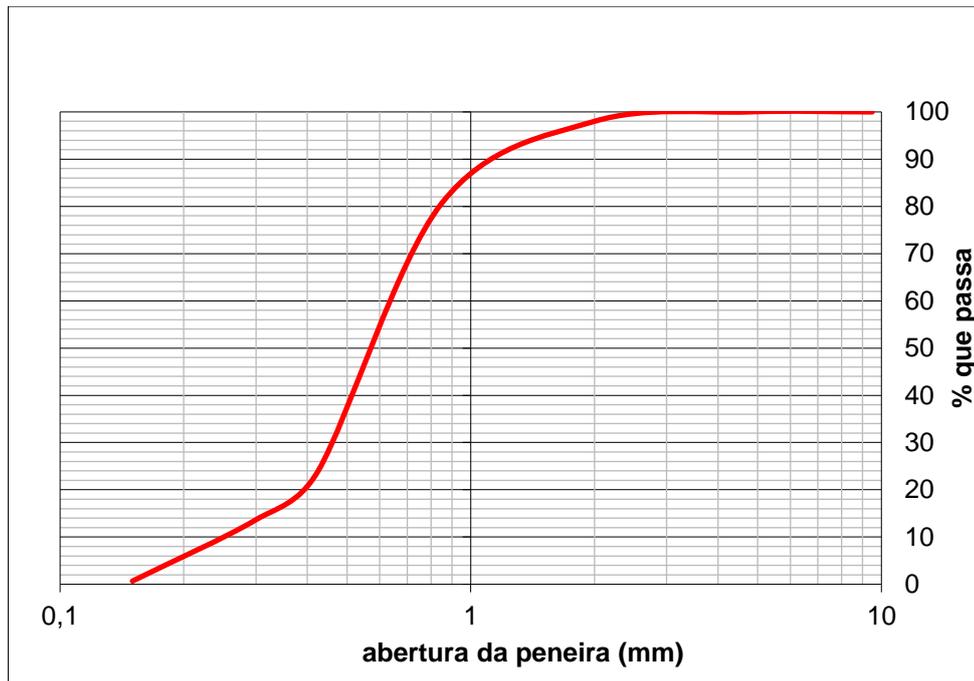
Abertura da peneira (mm)	Areia				Resíduos de Borracha			
	Massa retida (g)	% retida	% retida acumulada	% que passa	Massa retida (g)	% retida	% retida acumulada	% que passa
9	0	0,00	0,00	100,00	0	0,00	0,00	100,00
4,75	0	0,00	0,00	100,00	0	0,00	0,00	100,00
2	6	2,00	2,00	98,00	14	4,67	4,67	95,33
0,850	52	17,33	19,33	80,67	99	33,00	37,67	62,33
0,425	170	56,67	76,00	24,00	97	32,33	70,00	30,00
0,300	31	10,33	86,33	13,67	43	14,33	84,33	15,67
0,15	39	13,00	99,33	0,67	45	15,00	99,33	0,67
Fundo	2	0,67	100	0,00	2	0,67	100	0,00
Total	300	100	100	0	300	100	100	0

Fonte: A autora (2018).

Com base nos dados apresentados e conforme a NBR 7211 (ABNT, 2005), identificou-se o diâmetro máximo característico de 2 mm tanto para a areia, quanto para os resíduos de borracha. O módulo de finura da areia de foi 2,83 e o módulo de finura da borracha de 2,96. Também notou-se que a quantidade de material retido no fundo, teor de finos, foi idêntica para ambos materiais.

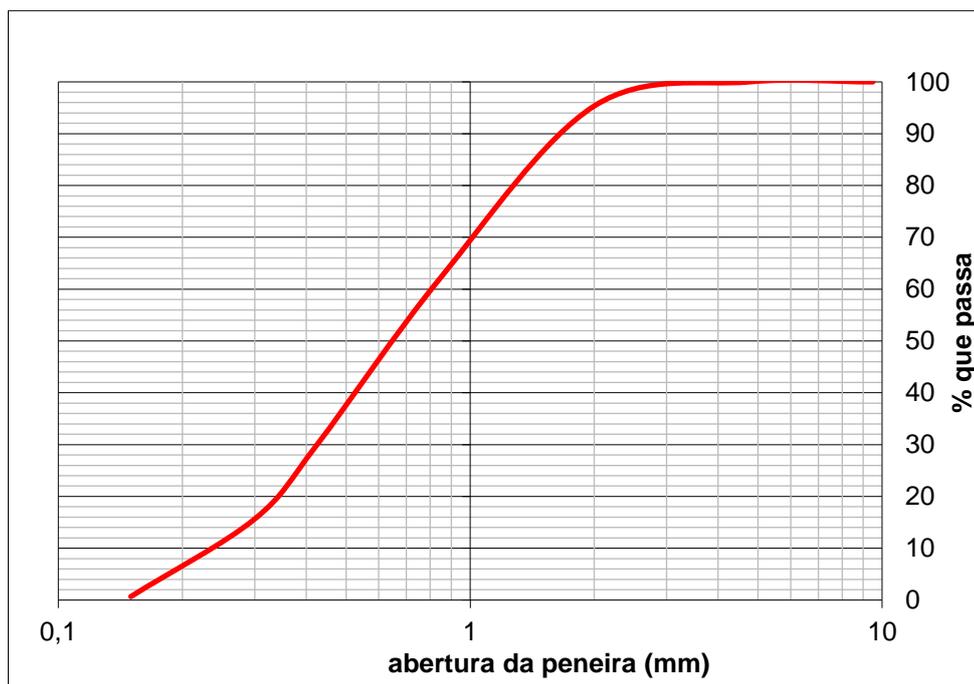
Nos GRAF. 1 e 2 a seguir tem-se a curva granulométrica da areia e dos resíduos de borracha, respectivamente, relacionando a % passante em cada peneira com a abertura a abertura da mesma.

Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia



Fonte: A autora (2018).

Gráfico 2 – Curva granulométrica dos resíduos de borracha

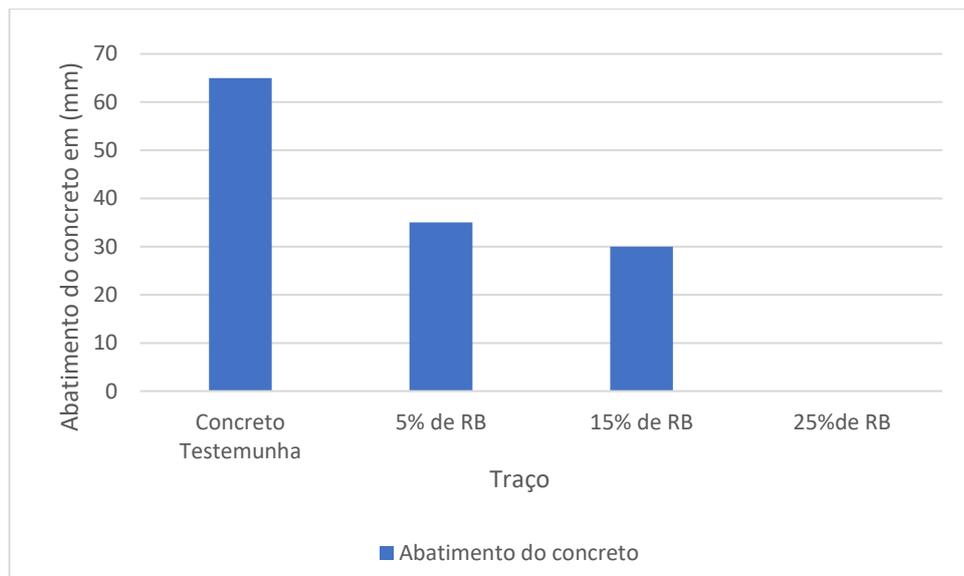


Fonte: A autora (2018).

Analisando as curvas granulométricas observou-se que ambas possuem uma granulação uniforme, podendo dizer que a granulometria dos resíduos de borracha coincide com a granulometria da areia substituída, conforme também analisado por (MARQUES; AKASAKI; FIORITI, 2012).

O concreto fresco foi submetido ao ensaio de abatimento do tronco de cone, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998), para determinar a consistência do concreto através da medida de seu assentamento. O GRAF. 3 demonstra a diferença de abatimento entre o concreto testemunha e os concretos com 5%, 15% e 30% de resíduos de borracha (RB).

Gráfico 3 – Diferença de abatimento do tronco de cone para cada traço



Fonte: A autora (2018).

Notou-se uma redução no abatimento dos concretos variando de 65 mm com o concreto testemunha até 0 mm com 25% de substituição de RB, à medida em que as porcentagens de substituição aumentaram.

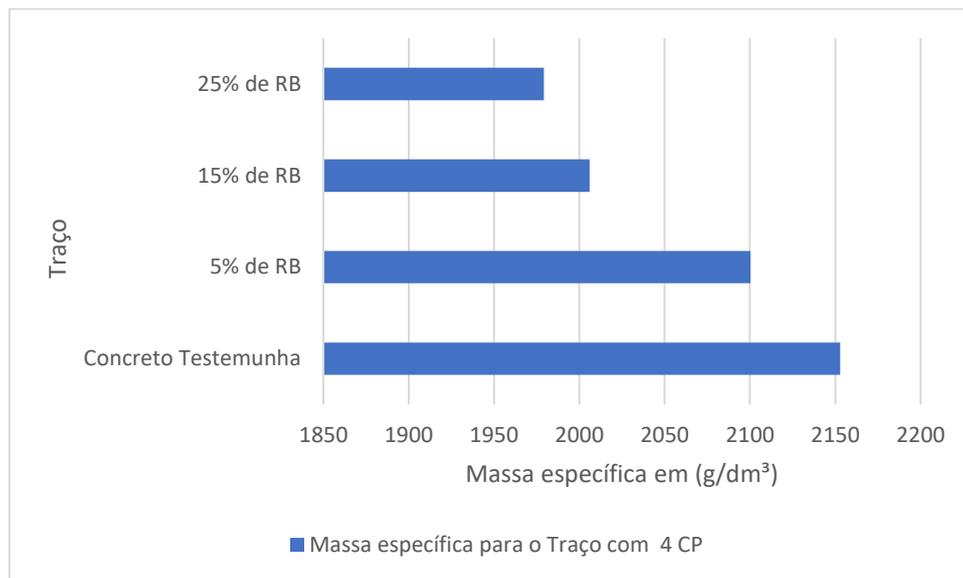
Esta redução também foi notada por Moreira; Fidelis; Dias (2014) em suas substituições, que ressalta que conforme o consumo de borracha foi aumentando piorou a trabalhabilidade do concreto, devido ao travamento das partículas, em função do atrito interno causado pela borracha.

Seguindo a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), que diz que este ensaio é aplicável aos concretos plásticos e coesivos que apresentam como resultado do ensaio, um assentamento igual ou superior a 10 mm. Constatou-se que os traços do concreto testemunha, 5% e 15% de substituição, com abatimento de 65 mm, 35 mm e 30mm, respectivamente, atenderam ao proposto pela norma com assentamento superior a 10 mm, mas o traço com 25% não atendeu, obtendo abatimento nulo.

Observou-se que a consistência dos concretos se tornou cada vez maior conforme o aumento das porcentagens de substituições. Para Carrijo (2005) algumas características dos resíduos como textura, lisos ou ásperos, forma angular e heterogênea, podem causar uma redução na água livre e maior travamento nas misturas, influenciando nos resultados.

Os valores obtidos para massa específica são apresentados no GRAF. 4.

Gráfico 4 – Relação das massas específicas por traço



Fonte: A autora (2018).

Os concretos testemunha, 5% de RB e 15% de RB, foram classificados como concreto normal, com massa específica seca compreendida entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³. Os concretos com 25% de RB são classificados como concreto leve com massa específica seca menor que 2000 kg/m³, conforme NBR 8953 (ABNT, 2015).

Observou-se que o concreto testemunha apresenta maior massa específica que os concretos com substituição de RB, sendo a maior diferença de 8% de redução do concreto na amostra com 25% de RB em relação ao concreto testemunha, 7% de redução para concreto com 15% de RB e 3% a menor diferença, para concreto com 5% de RB em relação ao concreto testemunha. A medida que foi aumentando a substituição do agregado miúdo por areia, a massa específica foi diminuindo, devido a borracha ser um material mais leve. Esta diferença na massa específica do concreto testemunha para os concretos com substituição também foi notada por (ALBUQUERQUE et al., 2006).

Para obtenção dos valores de resistência à compressão, fez-se a média para cada um dos 4 traços de concretos confeccionados, apresentados na TAB. 5.

Tabela 3 – Média das resistências dos corpos de prova

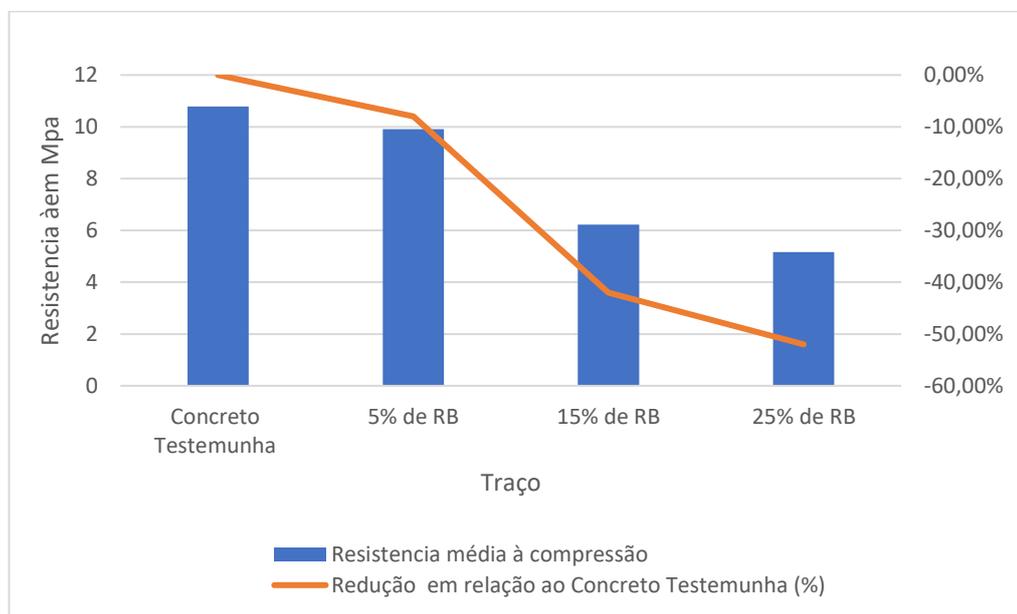
Traço	Média da Tensão de ruptura (MPa)	Desvio Padrão
Concreto Testemunha	10,78	2,21
5% de RB	9,91	2,04
15% de RB	6,23	1,21
25% de RB	5,16	0,94

Fonte: A autora (2018).

Neste ensaio de resistência à compressão notou-se uma diminuição gradual de resistência, conforme o aumento da porcentagem de resíduos de borracha, em relação a resistência obtida no concreto testemunha, como já analisado por (SOFI, 2017).

No GRAF. 5 demonstra a diminuição da resistência dos concretos com substituição em relação ao concreto testemunha.

Gráfico 5 – Redução da resistência com base no concreto testemunha



Fonte: A autora (2018).

A redução da resistência à compressão do traço com substituição variou de 8 a 52% em relação ao valor obtido pelo concreto testemunha. No concreto com 5% de RB houve redução de aproximadamente 8% em relação ao concreto testemunha. Para o traço com 15%

de RB a redução foi de aproximadamente 42%, e para o traço com 25% de RB obteve-se 52% de redução da resistência.

Segundo Santos (2005) a redução de resistência quando há aumento da adição de resíduo de borracha pode ser atribuída a forma de adensamento a que foram submetidos, não sendo suficiente. Acredita-se nessa hipótese por observar a formação de vazios nos corpos de prova.

Uma solução seria a utilização de camadas menos volumosas, com um melhor adensamento, eliminando o ar e os vazios contidos na massa.

Para Marques; Akasaki; Fioriti (2012), a redução da resistência dos corpos de prova, pode ter relação com a granulometria, quantidade de borracha e relação água/cimento, que afetam na trabalhabilidade dos concretos com resíduos de borracha. Para eles, uma alternativa é aumentar o consumo de cimento, para conseguir resultado semelhante ao do concreto testemunha.

Já para Sofi (2017), a redução da resistência pode estar ligada a formação da pasta de cimento contendo partículas de resíduos de borracha, que resulta no endurecimento desta pasta, devido à falta de ligação entre a pasta de cimento e os resíduos de borracha, causando rapidamente a falha nas amostras.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de concretos com substituição em porcentagens do agregado miúdo por resíduos de borracha, obteve resistência menor em relação a resistência do concreto testemunha, conforme já encontrado na literatura. A resistência alcançada pelo traço com 5% de substituição de RB por areia, foi a que mais se aproximou da resistência do concreto testemunha com 8% de redução.

Com os resultados obtidos, notou – se que a forma de adensamento do concreto é de extrema importância, assim como a relação água/cimento, que interfere diretamente na trabalhabilidade dos concretos com substituição.

Os concretos produzidos, com 0 %, 5 %, 15 % e 25 % de resíduos de borracha, podem ser utilizados para fins não estruturais, onde a resistência máxima exigida é de até 15 MPa, como em pavimentação de ciclovia; meio fio de ruas; postes de pequeno porte, dentre outros.

Quanto mais elevado o valor de substituição, menor é a resistência do concreto, assim, sugere - se para futuros trabalhos a substituição com porcentagens menores de resíduos de borracha, do que as apresentadas. Também sugere - se, avaliar outras propriedades não analisadas nesse estudo, como resistência à tração, análise do comportamento quando submetidos a temperaturas elevadas e teste de congelamento e descongelamento.

Assim a ideia em relação a retirada desse material da natureza evitando o desmatamento, queimadas e tantas outros terríveis problemas, continua presente na tentativa de obter bons resultados, para ambos os lados.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M.; GOLDEMBERG, J. **O desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. v. 5, São Paulo: Blucher, 2011. 144p.

ALBUQUERQUE, A. C. et al. **Adição de borracha de pneu ao concreto convencional e compactado com rolo**. 2006. 8p. Artigo científico - Centro de gestão de tecnologia e inovação, Campinas – SP, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009. 2 p.

_____. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009. 11 p.

_____. **NBR NM 248**: Agregados- Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015. 1 p.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

_____. **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016. 1 p.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015. 7 p.

BARBOSA, P. R.; IBRAHIN, F. I. D. **Resíduos sólidos, Impactos, Manejo e Gestão Ambiental**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014. 176p.

BARBOZA, M. R.; BASTOS, P. S. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. 2008. 8 p. Artigo científico – UNESP, Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru - SP, 2008.

BRAGA, B. et al. **Introdução a Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. 318p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção 1**. 5. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 488p.

BLACHEYRE, A. **Construção Civil: Teoria e prática**. v. 3, Santos: Hemus, 2005.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** 2005. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Calculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado:** Segundo a NBR:6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016. 415 p.

FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L.; INO, A. **Fabricação de pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de recauchutagem de pneus.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENTAC, 2006.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural:** tópicos aplicados, componentes, durabilidade, resistência mecânica, corrosão, compressão. 1. ed. São Paulo: PINI, 2008. 179p.

GRISON, E. C.; BECKER, E. J.; SARTORI, A. F. **Borrachas e seus aditivos:** Componentes, Influências e Segredos. 1. ed. Porto Alegre: Letra & Vida, 2010. 206p.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v. cap. 27, p. 905-944.

IBRAHIN, F. I. D.; IBRAHIN, F. J.; CANTUÁRIA, E. R. **Análise ambiental gerenciamento de resíduos e tratamento de efluentes.** 1. ed. São Paulo: Érica, 2015. 144p.

ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v. 1712p.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto:** princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado. 2. rev. e atual. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 336p.

LOPES, A. E. et al. Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: a trajetória de conflitos e desafios para o meio ambiente. **ForScience: revista científica do IFMG,** Formiga, v. 5, n. 2, out. 2017. Edição especial. 17p.

MANO, E. B.; PACHECO, E. B. A. V.; BONELLI, C. M. C. **Meio Ambiente, poluição e reciclagem.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

MARQUES, A. C.; AKASAKI, J. L.; FIORITI, C. F. 2012. **Análise da resistência mecânica à compressão de concretos incorporados com resíduos de pneus submetido à elevada temperatura.** Revista Tópos, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 82 – 97. 2012.

MENDES, G. G. et al. Durabilidade de concretos com adição de sílica da casca de arroz obtida em leiro fluidizado à penetração de íons cloretos. In: AGUIAR, B. et al. **Materiais de Construção Sustentáveis.** Guimarães: Universidade do Minho, 2014. v.1. p. 697-707.

- MODRO, N. L. R. et al. Utilização de resíduos de espuma de poliuretano rígido proveniente de indústria de refrigeração como elemento de enchimento de lajes nervuradas de concreto moldadas "in loco", **Revista Tecnológica**, Santa Catarina, Edição Especial ENTECA 2009, p. 49-55, 2009.
- MOREIRA, J. F.; FIDELIS, V. R. P.; DIAS, J. F. **Concreto com borracha de pneus aplicado em ciclovias**. *Holos Environment*, Rio Claro, v.14, n. 2, p. 185, 2014.
- MOURA, W. A. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto**. 2000. 232 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2000.
- NAKAMURA, E. S. et al. Desempenho de concretos estruturais confeccionados com agregado miúdo de resíduo de construção e demolição. In: AGUIAR, B. et al. **Materiais de Construção Sustentáveis**. Guimarães: Universidade do Minho, 2014. v.1. p. 573-582.
- NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 472p.
- NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888p.
- PINAFFI, C. D. et al. **Estudo e análise da fabricação de concreto a partir do uso de resíduos de borracha de pneus**. 2013. 8 p. **Artigo científico – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente -SP, 2013. Retirar se não usar novamente**
- REIS, F.; FADIGAS, E. A. F. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. rev. e atual. Barueri: Manole, 2012. 447p.
- RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG; Escola de engenharia da UFMG, 2002. 102p.
- ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Aproveitamento de resíduos na construção. In: ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO HABITACIONAL**. Porto Alegre: ANTAC, 2003. Coleção Habitare, v. 4. cap.3, p. 73-93.
- SALGADO, J. C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificações**. 2. ed. rev. São Paulo: Érica, 2011. 320p.
- SANTOS, A. C. dos. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. 2005. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005. 116p.
- SOFI, A. **Efeito da borracha residual de pneus nas propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto**. *Jornal de Engenharia Ain Shams*. Egito: Universidade Ain Shams, 2017.
- VARELA, M. **Mini curso de dosagem de Concreto método ABCP/ACI**. In: CONGRESSO CIENTÍFICO UNIVERSIDADE DE POTIGUAR., 2012, Mossoró. 2012. 24p.