

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia
de Materiais POSMAT

Juliana Aparecida Costa

ESTUDOS DE BLOCOS DE VEDAÇÃO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR
BORRACHA DE PNEU

PRESIDENTE PRUDENTE

2020

Juliana Aparecida Costa

**ESTUDOS DE BLOCOS DE VEDAÇÃO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR
BORRACHA DE PNEU**

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do título de Mestre à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, área de concentração Processamento de Materiais. Desenvolvimento e Aplicações – sob orientação do Prof. Dr. Aldo Eloizo Job.

PRESIDENTE PRUDENTE

2020

C837

Costa, Juliana Aparecida

Estudos de blocos de vedação com substituição parcial do
agregado miúdo por borracha de pneu / Juliana Aparecida
Costa. -- Bauru, 2020

80 p.

1. Engenharia Civil. 2. Bloco de Vedação. 3.
Gerenciamento de

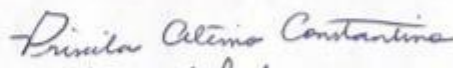
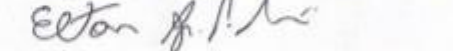
ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JULIANA APARECIDA COSTA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 06 dias do mês de março do ano de 2020, às 14:00 horas, no(a) FCT/PRESIDENTE PRUDENTE, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALDO ELOIZO JOB - Orientador(a) do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP - Presidente Prudente, Profa. Dra. PRISCILA ALESSIO CONSTANTINO do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Prof. Dr. ELTON APARECIDO PRADO DOS REIS do(a) Toledo / Toledo Centro Universitário, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JULIANA APARECIDA COSTA, intitulada **ESTUDOS DE BLOCOS DE VEDAÇÃO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR BORRACHA DE PNEU**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: A P R O V A D A. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. ALDO ELOIZO JOB

Profa. Dra. PRISCILA ALESSIO CONSTANTINO

Prof. Dr. ELTON APARECIDO PRADO DOS REIS

DEDICATÓRIA

“Prefiro acreditar que não nos dissemos adeus, mas nos separamos para que um destino nos dê um reencontro feliz...”

E nesta certeza vivo meus dias... Só tenho que agradecer a Deus, por você, agradecer pelo ano que me concedeu com a presença de um anjo, o anjo mais lindo, com sorriso mais frouxo do mundo e com olhar de amor como nunca vi igual.....

Sinto falta do seu cheirinho...

In memoriam a Miguel Amorim da Silva.



AGRADECIMENTOS

Agradeço a Lara Mazza, Lucas Neves, Victor Peixoto, Thais Aguiar e Natalia Cardoso pelo esforço que cada um teve em me ajudar, mesmo na dificuldade de cada um, ou com seus próprios afazeres não se pouparam por mim... sem esquecer meu orientador Aldo Job que mesmo com pouco tempo não se poupou a mim... com agradecimento especial ao professor Fernando Okimoto, muito obrigada a todos.

Agradeço em especial a minha querida amiga/irmã Luciana Amorim Silva, que me aconselhou por diversas vezes, ouviu minhas lamentações dos trabalhos, e me ajudou a seguir. São pessoas como vocês que me fazem seguir sem desistir.... Gratidão eterna por cada um...

RESUMO

Este trabalho tem como proposta analisar os desempenhos térmicos e acústicos realizados em blocos de concreto com incorporação de resíduo de borracha de pneus, nas porcentagens de 5% e 10%, em peso do agregado miúdo, comparados com o bloco tradicional de cimento. Os testes (resistência diminuiu até o limite normativo para vedações) comprovaram que a incorporação do resíduo de borracha de pneu, produziu blocos mais leves, melhorou os desempenhos térmicos e acústicos, diminuindo a transmissão de calor e aumentando as atenuações sonora, sendo gerado melhores produtos e reduzindo o consumo ambiental. Tal pesquisa tem como objetivo estudar formas de reduzir o uso de matérias-primas não renováveis da construção civil, visando solucionar o problema do alto consumo e descarte improprio de pneus no país, que mesmo contando com políticas públicas de incentivo a reutilização destes, o descarte inadequado ainda é uma problemática que traz além de problemas ambientais riscos à saúde pública.

Palavra-chaves: construção civil, resíduo de borracha de pneus, problemas ambientais.

ABSTRACT

The purpose of this work is to analyze the thermal and acoustic performances in concrete blocks incorporating rubber tire residue, in the percentages of 5% and 10%, by weight, of the small aggregate, compared to the traditional cement block. The tests showed that the incorporation of tire rubber residue produced lighter blocks, improved thermal and acoustic performance, decreased heat transmission, improves sound attenuation, produced better products and reduced consumption. This research aims to study ways to reduce the use of non-renewable raw materials of construction, aiming to solve the problem of high consumption and improper disposal of tires in the country, which even with public policies to encourage their reuse, the disposal inadequate is still a problem that brings beyond environmental problems risks to public health.

Keywords: *construction, tire rubber, environmental problems, partial substitution.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo linear de descarte.....	4
Figura 2 – Impacto Ambiental causado pela extração.....	4
Figura 3 - Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland.....	10
Figura 4 - Evolução da produção de agregados para construção civil no Brasil 1988 – 2010.....	12
Figura 5 - Processo de desfragmentação do pneu.....	15
Figura 6 - Dimensões do bloco.....	16
Figura 7 - Peneiramento do resíduo de borracha.....	18
Figura 8 - Granulometrias.....	19
Figura 9 - Detalhe das dimensões do resíduo utilizado (14 e 28mm).....	19
Figura 10 - Aditivo Hagen DT Plus.....	20
Figura 11 - Sistema de pesagem dos agregados (esteira).....	21
Figura 12 - Vibro-prensa semiautomática. a) misturador vertical e b) caixa de prensagem.....	22
Figura 13 - Blocos expostos para cura no pátio da fábrica.....	23
Figura 14 - Capeamento dos blocos.	24
Figura 15 - Ensaio de resistência à compressão.....	25
Figura 16 – a, Pesagem; b, secagem e c imersão dos blocos.	27
Figura 17 - Dimensões do bloco para cálculo do volume.....	29
Figura 18 - Ensaio de densidade.....	30
Figura 19 - Planta do dispositivo térmico.....	31
Figura 20 - Esquema para ensaio de atenuação sonora.....	32
Figura 21 - Dispositivo para análise térmica.....	33
Figura 22 – Termopares.....	33
Figura 23 - Zona bioclimática 6.....	34
Figura 24- Aparato usado para ensaio Acústico.....	36
Figura 25- Detalhe da vedação por Vaselina no Bloco.....	36
Figura 26 - Modelo do aparato utilizado para teste acústico.....	37
Figura 27 - Vistas com medidas do aparato acústico.....	38
Figura 28 - Resistência à compressão média com mais de 28 dias.....	42

Figura 29 - Imagens de microscopia óptica (MO) do bloco de concreto piloto (a), RBP-5% (b) e RBP-10% (c) com amplificação de 25x	44
Figura 30 - Teor de umidade relativa média	45
Figura 31 - Taxa de absorção de água.....	46
Figura 32 - Densidade dos blocos.....	48
Figura 33 – Condutividade térmica dos blocos de concreto piloto, 5% e 10%. 49	
Figura 34 – Atraso térmico dos blocos de concreto piloto, 5% e 10%.	51
Figura 35 - Atenuação sonora dos traços com frequência de 250, 1000 e 4000 Hz	53
Figura 36 – Blocos de concreto piloto, 5% e 10% de RBP após ensaio de flamabilidade	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração	5
Tabela 2 - Composição química do cimento CP-V ARI de Alta Resistência Inicial.	6
Tabela 3 - Caracterização física do cimento CP-V ARI de Alta Resistência Inicial.	7
Tabela 4 - Limites de composição do cimento Portland	9
Tabela 5 – Classificação das dimensões dos agregados graúdos e miúdos....	12
Tabela 6: traço piloto	17
Tabela 7 – Requisitos para resistência.....	26
Tabela 8 - Requisitos para absorção de água.....	28
Tabela 9 - Requisitos para o teor de umidade relativa média.....	28
Tabela 10 - Caracterização da fonte luminosa	32
Tabela 11 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condição de Verão.....	34
Tabela 12 - Massa específica aparente e absoluta dos agregados.....	41
Tabela 13 - Traços de concreto com resíduo de borracha de pneu	42
Tabela 14 - Pesagem dos blocos in natura, secos e saturados	44
Tabela 15 - Massa dos blocos secos para densidade.....	46
Tabela 16 - Volume do bloco.....	47
Tabela 17 - Densidade dos blocos.....	47
Tabela 18 - Concentração de metais no lixiviado das amostras piloto e 10% de RBP	54
Tabela 19 - Concentração de metais solubilizados das amostras piloto e 10% de RBP	55
Tabela 20 – Resultado do ensaio à flamabilidade dos blocos de concreto piloto, 5% e 10% de RBP	56

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

°C	Graus Celsius
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
Cm	Centímetros
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
cv	Cavalos
g	Gramas
Hr	Horas
Hz	Hertz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
Kg	Quilograma
Kgf	Quilograma-Força
KN	Quilonewton
Kw	Quilowatts
m	Massa
MDF	Medium Density Fiberbord
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
PVC	Polyvinyl Chloride
s	Segundos
Tf	Tonelada Força
Ton	Toneladas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRAFICA	5
2.1 - Blocos de concreto	5
2.2 - Cimento Portland	6
2.3 - Agregados	10
2.4 - Aditivo	12
2.5 – Pneus	13
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA APLICADA	16
3.1 - Produção dos Blocos	16
3.2 - Composição e Adequação dos Traços	17
3.3 - Fabricação dos Blocos de Concreto	21
3.4 - Ensaio de Resistência à Compressão	23
3.5 – Microscopia Óptica	26
3.6 - Ensaio de Absorção de Água e Teor de Umidade	26
3.7 - Ensaio de Densidade	29
3.8 - Ensaio de Desempenho Térmico	30
3.9 - Ensaio de Desempenho Acústico	35
3.10 – Lixiviação e Solubilização	38
3.11 – Ensaio de Flamabilidade	39
CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 - Produção dos blocos	41
4.2 - Resistência à Compressão	42
4.3 – Microscopia óptica	43
4.4 - Teor de umidade	44
4.5 - Absorção de água	45
4.6 - Densidade	46

4.7 - Desempenho térmico	48
4.8 - Desempenho acústico.....	53
4.9 – Lixiviação e Solubilização	54
4.10 – Flamabilidade	56
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO	57
CAPÍTULO 6 – ANEXO A	59
CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Nos dias atuais com uma demanda consideravelmente grande de pneus descartados no ambiente de forma inadequada, gera incentiva muitos estudos para a reutilização destes em novos produtos, como por exemplo, a produção de concretos emborrachados. De acordo com a bibliografia, os resíduos de pneus já vêm sendo utilizados em blocos de vedações, pisos intertravados destinados para o tráfego de pessoas, em novos tipos de concreto com adição de outros tipos de materiais como a cinza da casca de arroz, polipropilenos, gessos, argamassas, asfaltos e até mesmo a utilização do aço encontrado dentro dos pneus, que tem a propriedade de conter o endurecimento ou amolecimento do concreto com adição de borracha, onde por sua vez a borracha tem a propriedade de controlar a tenacidade inicial de fratura [1-4].

A construção civil tem sido um dos principais motores da economia, quando comparada a outros setores, trazendo números elevados de crescimento; no segundo trimestre de 2018, a variação da taxa de crescimento da construção civil, foi de 2,4%; da agropecuária 2,0%, seguido da indústria com 1,4%, de acordo com dados da CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção [5].

No entanto na contramão desse desenvolvimento, temos os danos ambientais causados pela indústria da construção civil, e o aperfeiçoamento de estratégias sustentáveis é de grande importância para garantir o futuro dos recursos do planeta, priorizando energias renováveis e tecnologias limpas buscando a preservação e proteção do meio ambiente. Estes problemas geram grande repercussão na área da construção civil, que mesmo estando no início dos pensamentos de novas tecnologias, muitas empresas da área da construção civil vem trazendo novas tecnologias ou alternativas sustentáveis na execução de seus projetos, controlando o consumo de recursos naturais, diminuindo ou zerando o desperdício, e utilizando de novas tecnologias com uso de resíduos de reciclagem [6,7].

Um dos componentes mais utilizados na construção e um dos responsáveis pela deterioração ambiental são os agregados que são extraídos de mineradoras para a construção civil através dos portos-de-areia e pedreiras,

todavia, essa matéria prima também pode ser obtida por outros meios, como por exemplo, a areia pode ser originada através de produtos industriais ou de quartzito industrial, podendo ser de indústrias vidreira e metalúrgica; a brita por sua vez, pode ser retirada da rocha calcária usada nas indústrias caieira e cimenteira [8].

Há décadas, a construção civil garante seu trabalho com materiais não renováveis da natureza, apresentando-se como grande geradora de impactos ambientais pelo mundo, que através do ciclo de extração, obtenção de matéria e produção acaba por degradar grandes áreas do planeta, gerando problemas como lençóis freáticos contaminados, mudança de cursos d'água, alterações climáticas, aumento de ruídos que propagam vibrações, secas, enchentes, dentre outros, destacam-se também os processos onerosos como poluição sonora e poluição do ar [9,10].

Estimasse que cerca de 50% dos recursos naturais existentes são utilizados na indústria da construção civil; dados do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE), publicada no ano de 2015, mostrou um crescimento populacional anual de 1,0%, no período de 2005 a 2015, sendo o Brasil considerado o quinto país com maior índice populacional. Na mesma direção a esse crescimento esta também o consumo de 75% dos insumos naturais do planeta. Assim, uma alternativa para mudar essa situação esta no setor da construção civil, que é um dos setores mais indicado para incorporar resíduos sólidos dispensados no ambiente, diminuindo custos e prejuízos ambientais [11,12].

Estudos anteriores relatam que a incorporação do residuo de pneu em concretos é um interessante componente como agregado, já que ajuda a dissipar as energias de impacto no concreto, diminuindo o despedaçamento/quebra de concretos de altas resistências, diminui a densidade, diminui também o peso do produto final, além de diminuir a velocidade de propagação do som, aprimorando o coeficiente de atenuação sonora, conseguindo um nível de redução global sonora, tanto para ondas de de pressão quanto para ondas de cisalhamento, sendo importante o formato do residuo, no entanto tanto o residuo esferico ou em forma de fibra tras melhores isolamentos acusticos e melhora na atenuação do som [3,13-15].

Também tem-se estudado sobre a condutividade térmica em concretos com adições de borracha de pneu, evidenciando que a medida que é adicionado maiores porcentagens de borracha no concreto, sua condutividade térmica diminui, sendo otimizada a capacidade de isolamento térmico dos elementos. Estudos anteriores destacam a diferença do gradiente de temperatura interior e exterior, quando se compara a um elemento sem a incorporação do resíduo a um com adição, melhorando em 6% o gradiente de temperatura para uma adição de 10% de resíduo e 7,5% para uma adição de 20% de resíduo [16,17].

Por outro lado, quanto maior a incorporação deste resíduo de borracha no concreto, culminara em uma maior redução na resistência mecânica, como compressão e flexão, por exemplo, sendo uma diminuição aproximada de 9 e 35,31% para incorporação de 5 e 10% de resíduo de borracha, quando comparada a um elemento sem qualquer adição, em relação a resistência de compressão. [16,18].

Tais resultados estimulam o uso de resíduos de borracha em concretos, já que este resíduo é inerte, e mesmo nos casos de resistência a compressão que ocorre uma queda significativa, esse concreto pode ser utilizado com funções não estrutural, além disso, espera-se contribuir com a diminuição dos resíduos sólidos descartados em locais inadequados, no meio ambiente, diminuindo o impacto ambiental [19,20], que de acordo com a Resolução nº 01/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o impacto ambiental pode ser todo tipo de alteração ao meio ambiente, causada por qualquer matéria ou atividade humana, que afetem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como a qualidade dos recursos ambientais [21].

As Figuras 1 e 2 destacam o esquema no qual se pode avaliar, desde a extração das matérias primas até o resíduo de construção civil, causando o impacto ambiental.

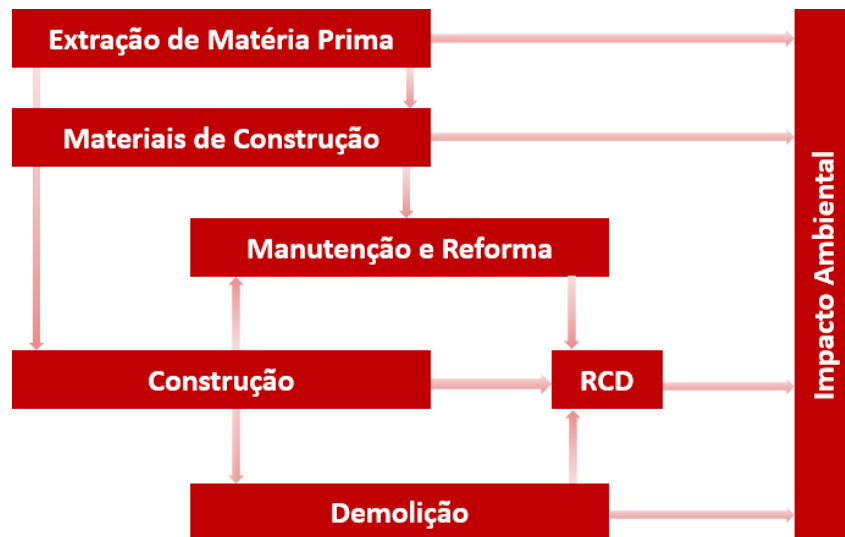


Figura 1 - Processo linear de descarte.



Figura 2 – Impacto Ambiental causado pela extração.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 - Blocos de concreto

Os blocos de concreto são utilizados em ~~larga escala~~ pela construção civil, além de serem utilizados para o uso de muros de contenção, casas, barracões, dentre outras utilidades de engenharia. Na atualidade estão sendo vastamente em áreas de paisagismo ou mesmo decorativo, sendo de grande importância o aspecto final do bloco de concreto. Normalmente os blocos são compostos por uma face inferior e uma superior, sendo padronizadas no processo de fabricação para facilitar o encaixe de face a face dos blocos; sendo cada vez maior a busca por processos de fabricação cada vez rápidos, automatizados e com acabamento adequado [22-24].

A Associação Brasileira de Normas Técnicas 6136/2016 traz as exigências e destinações dos blocos de concreto, podendo ser de diversos tamanhos e tipos; sendo separados em 3 classes, de acordo com cada aplicação: classe A – com função estrutural; classe B – com função estrutural; classe C – com ou sem função estrutural [25]. A Tabela 1 demonstra os requisitos de resistência mecânica, absorção e retração linear por secagem:

Tabela 1 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração.

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial ^a Mpa	Absorção %				Retração %
			Agregado normal ^b		Agregado leve		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} \leq 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$

^a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.

^b Blocos fabricados com agregado normal (ver definição na ABNT NBR 9935).

^c Blocos fabricados com agregado leve (ver definição na ABNT NBR 9935).

^d Ensaio facultativo.

2.2 - Cimento Portland

Na construção civil, o cimento é um aglomerante hidráulico usado com pedras, areias, tijolos, dentre outros materiais, ele é obtido pela moagem do *clinker* Portland. Os cimentos para concreto devem ter propriedades para agir e endurecer sob a ação da água, estes são chamados de cimentos hidráulicos e sua constituição principal são de silicatos e aluminatos de calcário, e podem ser classificados como cimentos Portland, naturais e aluminosos. Quando queimados em forno esses materiais reacionam devido a energia proveniente do calor, interagindo entre si e formando vários produtos complexos adquirindo um equilíbrio químico, no entanto quando em baixas temperaturas, o cimento também pode entrar em estado de equilíbrio, pois quando congelado o produto reproduz a mesma temperatura de clinkerização, que nada mais é que a obtenção do silicato tricalcio [26, 27]. As Tabelas 2 e 3 abaixo apresentam respectivamente as composições química e física do cimento CP-V ARI, usado neste estudo, já que ele tras uma alta resistência inicial, já nos primeiros dias [28,29].

Tabela 2 - Composição química do cimento CP-V ARI de Alta Resistência Inicial.

<u>Óxidos</u>	<u>(%)</u>	<u>Óxidos</u>	<u>(%)</u>
SiO ₂	17,87	ZrO ₂	0,00
Al ₂ O ₃	2,87	ZnO	0,00
Fe ₂ O ₃	5,02	Cr ₂ O ₃	0,00
K ₂ O	0,89	MnO	0,15
CaO	62,25	SrO	0,32
TiO ₂	0,00	Co ₂ O ₃	0,00
SO ₃	4,06	Rb ₂ O	0,00
MgO	0,00	NiO	0,02
Na ₂ O	0,15	Y ₂ O ₃	0,00
BaO	0,00	Cl	0,25
P ₂ O ₅	0,25	CO ₂	5,90

Tabela 3 - Caracterização física do cimento CP-V ARI de Alta Resistência Inicial.

Perda de massa ao fogo (1000 °C)	5,90%
Massa específica	3040 kg.m ⁻³
Finura Blaine	4750 m ² .kg ⁻¹
Porcentagem de material retido na peneira #200	0,12%
Expansibilidade	0,0 mm
Início de pega	165 min.
Final de pega	215 min.
Resistência à compressão 1 dia	28,3 MPa
Resistência à compressão 3 dia	45,8 MPa
Resistência à compressão 7 dia	49,3 MPa
Resistência à compressão 28 dia	57,7 MPa

No entanto, com as barreiras que a indústria cimentícia enfrenta, pelo impacto ambiental, e com as constantes inovações, novas misturas, melhoramentos de queima do cimento, surgem, a cada dia, novas variações de cimento, com melhores qualidades e agregando novos materiais. Os estudos incessantes em busca de novos mecanismos da sua composição química trazem expectativas de melhores caminhos para a construção civil reduzindo índices de gás carbônico produzido pela queima do *clínquer*, já que só a indústria cimentícia é responsável por emitir de 5% a 7% de todo CO₂ no mundo. [30-34].

Na atualidade, existem 24 grupos de indústrias cimentícias, nacionais e internacionais, que são responsáveis por fabricar cerca de 100 milhões de toneladas de cimento por ano, gerando grandes emissões de CO₂ e consumo energético. O Brasil, tem investido tecnologicamente na indústria cimentícia, ficando na frente de grandes potências em relação a diminuição de CO₂, gerando uma emissão de aproximadamente 610 kg CO₂/ton, quando países como a Inglaterra geram 839 kg CO₂/ton, Espanha 698 kg CO₂/toneladas e China com 848 kg CO₂/toneladas; diminuindo também seus gastos energéticos, enquanto o Brasil gasta 107 k.W.h por tonelada os Estados Unidos consome 146 k.W.h por tonelada de cimento, esta redução se deve às adições ao *clínquer* que a cada ano o Brasil vem estudando e investindo em novos produtos para reduzir a queima do *clínquer* [35].

O Brasil vem crescendo gradativamente no ranking mundial de fabricantes de cimento, crescendo mais que a média mundial. No ano de 2013 chegou a

78,6% em sua produção, enquanto que a produção mundial de cimento entre os anos de 2008 a 2013, cresceu cerca de 71%. Esta ascensão é disposta em números, sendo que em 2005 o Brasil estava como 13º colocado, em 2008 como 8º e em 2013 como 5º, produzindo cerca de 70 milhões de toneladas, e com esses números grandiosos é o maior produtor e consumidor de cimento da América Latina; e esses números não param de crescer, no ano de 2015, houve uma produção de cerca 4 bilhões de toneladas de cimento no mundo, e este ano apenas nos meses de janeiro e fevereiro o Brasil apresentou uma produção maior que 8 milhões de toneladas, o que o mantém no status de um dos maiores produtores e consumidores de cimento [36-39].

E este alto consumo também se dá pelas diversas variáveis de cimento existentes no Brasil, variando desde as categorias mais comuns, até as com características especiais, tipos I, II, III, IV e V, branco, RS, BC. Sua principal diferença está em função de sua composição. Sendo os mais comuns; cimento Portland comum; cimento Portland composto; cimento Portland de alto-forno e cimento Portland pozolânico; e os com características específicas, de menor procura, os cimentos de alta resistência inicial, os cimentos resistentes a sulfatos, cimento Portland branco; cimento Portland de baixo calor de hidratação e cimento para poços petrolíferos [40]. A Tabela 4 traz as novas composições de cimento Portland, de acordo com a ABNT NBR 16697 – cimento Portland-Requisitos [41].

Tabela 4 - Limites de composição do cimento Portland.

Designação Normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozzolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum	CP I	25,32 ou 40	RS ou BC	95 - 100		0 - 5	
	CPI-S			90 - 94	0	0	06 - 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CPII-E			51 - 94	06 - 34	0	0 - 15
Cimento Portland composto com material pozzolânico	CP II-Z			71 - 94	0	06 - 14	0 - 15
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F			75 - 89	0	0	09 - 25
Cimento Portland de alto forno ^b	CP III			25 - 65	35 - 75	0	0 - 10
Cimento Portland pozzolânico ^c	CP IV			45 - 85	0	15 - 50	0 - 10
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V ^a	ARI		90 - 100	0	0	0 - 10
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25,32 ou 40	75 - 100	—	—	0 - 25
	Não Estrutural		—	50 - 74	—	—	26 - 50

^aNo caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V- ARI RS), podem ser adicionados escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozzolânicos.

^bO teor máximo da somatória de adições (escória granulada de alto-forno e material carbonático) deve ser de 75%

^cO teor máximo da somatória de adições (material pozzolânico e material carbonático) deve ser de 55%

A Figura 3 demonstra os comportamentos de resistências à compressão dos diversos tipos de cimentos Portland existentes.

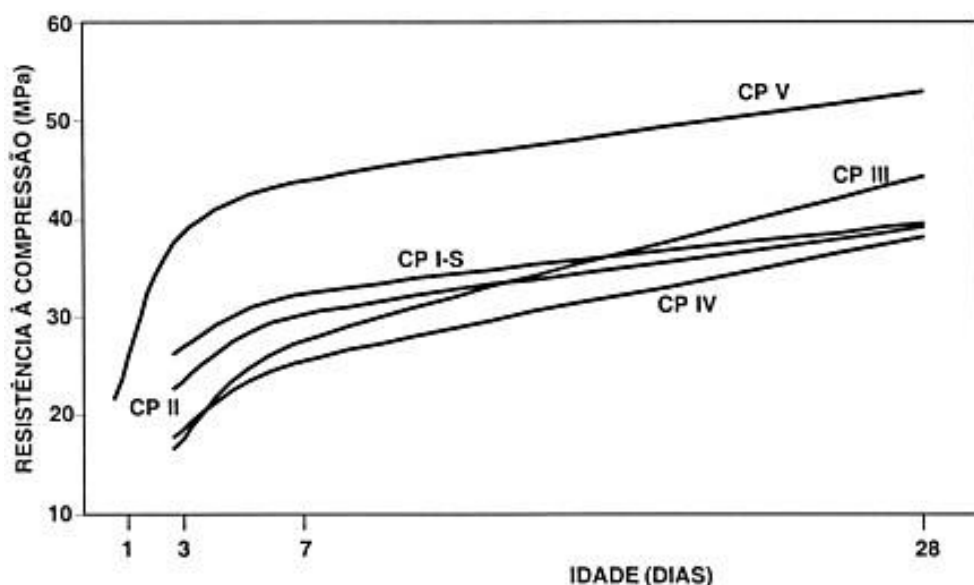


Figura 3 - Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland.

2.3 – Agregados

Quando falamos em agregados para a fabricação do concreto, podemos destacar sua enorme importância, eles são responsáveis por cerca de 70 a 80% do volume de concreto, e podem melhorar ou limitar a resistência do concreto, pois suas propriedades tem um fator primordial na durabilidade e no seu desempenho estrutural, sendo considerado um material de construção juntamente com o cimento, e contribuem para qualificar concreto [42].

Os agregados são encontrados em varias formas, são inertes e possuem dimensões e propriedades apropriadas para concretos e argamassas; possuindo diferentes granulometrias, variando de dezenas de milímetros, até agregados com seções transversais com décimos de milímetros. Para um melhor entendimento da atuação dos agregados no concreto, estes são separados em dois tipos; os agregados miúdos que apresentam grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, e ficam retidos na peneira com abertura da malha de 150 μ m e os agregados graúdos que apresentam grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com

abertura de malha de 4,75 mm. Como regra geral, de acordo com a NBR 7211, os agregados devem ser grãos duros, compactados, duráveis, estáveis e limpos, livre de qualquer material que possa afetar a durabilidade do agregado [43-45].

O consumo de agregados no território nacional no ano de 2010 chegou a 3,31 toneladas por habitante, em 2014 foram 3,7 toneladas por habitante por ano, ficando evidente que estes bens minerais garantem as primícias para o sustento básico e a qualidade de vida da população, já que o consumo desses bens minerais *per capita* caracteriza um precursor da economia do país, quando se fala em níveis de desenvolvimento. Um dado importante, sobre os agregados, a brita e o cascalho especificamente, que no ano de 2009, a produção de brita e cascalho chegou a 166 milhões de toneladas, ficando em segundo lugar no ranking de minerais não metálicos, e em primeiro lugar a produção de areia. A estimativa para a produção de agregados para 2019 é um aumento de 7% na produção, chegando a 543 milhões de toneladas de agregados [46,47].

Os meios utilizados para exploração dos agregados são: drenagem, escavação mecânica ou desmonte hidráulico. O seu processo de beneficiamento é constituído da remoção de impurezas finas (lavagem), devendo ser livre de sais, óleos, graxas, detritos, dentre outros materiais; classificação granulométrica e secagem. [39,48].

As areias que se destinam à construção civil para serem comercializadas, não precisam passar pelo rigoroso processo de beneficiamento que ocorre com as areias industriais; sendo as areias classificadas em; areia grossa, com 2,0 mm a 4,8 mm; areia media com 0,42 mm a 2,0 mm e areia fina, com 0,05 mm a 0,42 mm de diâmetro. Já as pedras britadas, que são normalmente as rochas de granito, gnaisses, dolomitos, basaltos e diabasios, necessitam de operações unitárias de decapeamento, cominuição e classificação granulométrica, onde após o processo de cominuição, normalmente feito em três etapas, são obtidos vários produtos e subprodutos, tais como: pó-de-pedra, pedrisco misto/pedregulho, pedrisco, agregado graúdo, variando de 6,3mm (pó de pedra) a 4,76mm [49]. A Tabela 5 a seguir classifica as dimensões dos agregados graúdos e miúdos, e a Figura 4, demonstra em números a evolução dos agregados entre os anos de 1988 a 2010 [50,51].

Tabela 5 – Classificação das dimensões dos agregados graúdos e miúdos.

Pedra britada numerada	NBR's 7211 e 7225		Comercial	
	Malha da peneira (mm)			
Brita 0	-	-	4,75	9,5
Brita 1	4,75	12,5	9,5	19
Brita 2	12,5	25	19	38
Brita 3	25	50	38	50
Brita 4	50	76	50	76
Brita 5	76	100	-	-

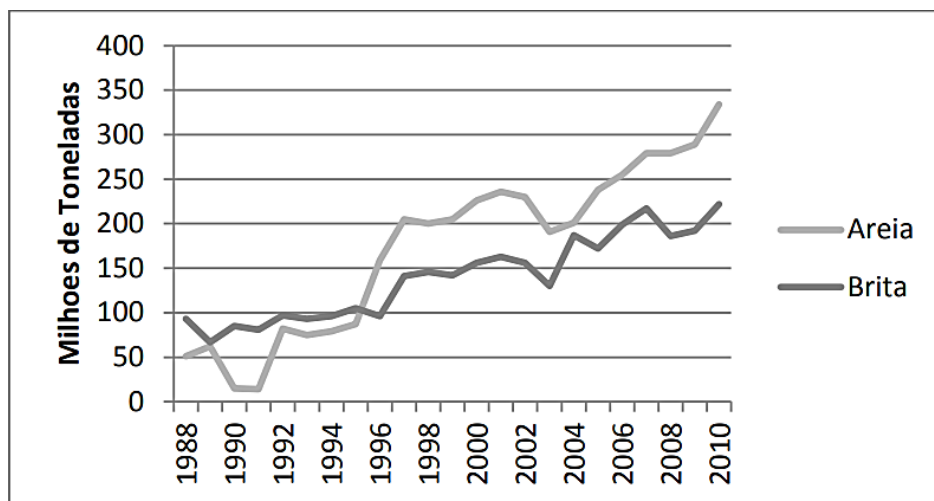


Figura 4 - Evolução da produção de agregados para construção civil no Brasil 1988 – 2010.

2.4 – Aditivo

Com o passar dos tempos, a prática no uso de aditivos sintéticos vem se tornando comum em concretos e argamassas. No passado o uso de aditivo também era bastante relevante, porém esses retardadores ou plastificantes provinham de plantas ou/e animais [52].

Os aditivos consistem em produtos adicionados durante o processo de preparação do concreto, com a finalidade de alterar as propriedades final deste, mesmo que utilizados em baixas porcentagens. No entanto não pode ser adicionado em quantidade maior que 5% da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades do concreto,

dando melhores características qualitativas para o mesmo, tanto no estado fresco e/ou no estado endurecido [53-55].

O uso de tais substancias suplementares de cimentação, podem interferir no concreto, melhorando sua mobilidade e trabalhabilidade, aumento de força, podendo variar de 5 a 25%, durabilidade térmica, com um aumento de 0 a 30% na resistência residual, redução de tempo, com uma diminuição variando de 1 a 2 h, redução da relação água – cimento para aproximadamente 40 – 45% dentre outros benefícios, sendo também de grande importância seus benefícios tanto ecológicos quanto econômicos [52-57].

Segundo a NBR 11768 que fala de aditivos químicos, classifica os aditivos de acordo com sua finalidade, em aditivos redutores de água – plastificantes, e superplastificantes dos tipos I e II; aditivos incorporadores de ar e aceleradores de pega e resistência; aditivos retardadores de pega, redutores de água e pega – plastificante redutor; dentre outros. É de grande importância que os aditivos desempenham os requisitos gerais relacionados às propriedades de homogeneidade, cor, massa específica (somente para líquidos), teor de resíduos sólidos, pH e cloretos solúveis em água. E, além disso, conforme a finalidade do aditivo o mesmo deve cumprir diversos requisitos específicos, os quais estão dispostos na ABNT NBR 11768/2011 [58].

2.5 – Pneus

O uso dos pneus traz grandes benefícios no setor automotivo e para a população sendo um material utilizado em todo mundo, que deve atender a diversos pontos de desempenho, segurança e desgastes. Com o aumento populacional o consumo de pneu cresceu gradativamente, tornando-se um sério problema ambiental. Com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, IBGE e Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, ANIP, em 2016 o Brasil tinha uma frota aproximada de 67,87 milhões de veículos, e em 2018, a frota registrada chega a cerca de 93,87 milhões de veículos, com uma estimativa que no ano de 2050 haverá um veículo para 1,7 habitantes formando uma frota de 130 milhões de veículos [59-61].

Devido a esse crescimento populacional, e por consequência o número de automóveis, o descarte dos pneus sucateados ou que não tem utilização, são depositados em lugares inadequados e sem qualquer controle, sendo responsáveis por favorecerem a proliferação de vetores e insetos, também sendo responsável pela geração de gases tóxicos no ambiente, já que em sua composição existem alguns agentes aditivos reativos, hidrocarbonetos, enxofre, dentre outros que podem trazer sérios problemas a população, além de serem gerados em grande volume, tem uma durabilidade de anos. Pensando nesta problemática, inúmeras ideias de reaproveitamento dos pneus inservíveis (em fim de vida) vêm sendo estudadas e aplicadas, tais como, a utilização das migalhas em pavimentos asfálticos, revestimento para campos de futebol, pisos para *playground*, dentre outras aplicações, trazendo melhorias nos quesitos ambientais, diminuição energética e redução no uso de matéria prima não renováveis [62-66].

O Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, diferencia os pneus em 4 tipos de pneus, sendo os pneus novos, de diversas origens, sem uso ou qualquer reforma ou deterioração; os pneus usados; os pneus reformados, são os pneus sujeitos a processos que aumentam sua vida útil, e por fim, os pneus inservíveis, que são os pneus quem não possuem mais estrutura para rodagem, e inúteis para qualquer tipo de reforma, existindo também diversos tipos e aplicações dos pneus como bicicletas, motocicletas, carros, caminhões, aviões dentre outros meios de transporte que se utilizam do pneu pra locomoção [50, 67].

Buscando uma nova alternativa para a reciclagem e reutilização da borracha, indústrias foram implantadas para fazer o processo de fragmentação do pneu que é bastante complexa, podendo acontecer com o pneu inteiro ou cortado, permitindo o reaproveitamento de todas suas partes, e principalmente da sua borracha que pode ser em diferentes granulometrias e para diferentes fins, ilustrado na Figura 5 [68].

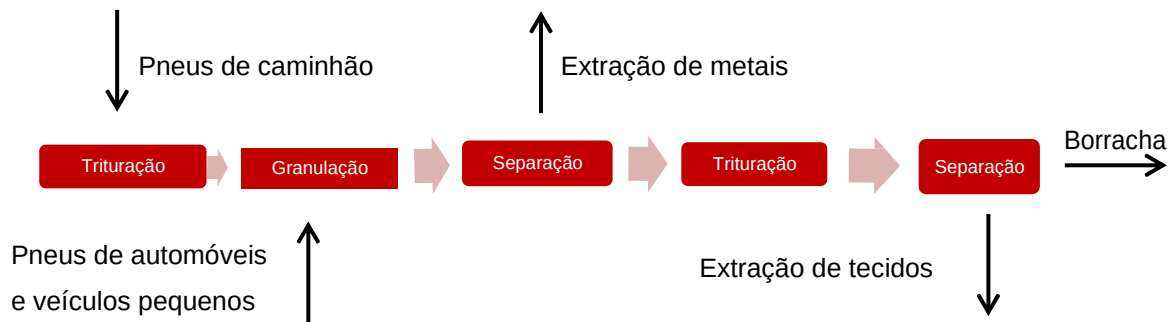


Figura 5 - Processo de desfragmentação do pneu.

Estudos sobre a utilização da borracha de pneu vêm sendo cada vez mais aprimorados, visando sua aplicabilidade principalmente na construção civil, podendo a borracha ser misturada com outros materiais de reuso, como a madeira, na fabricação de painéis de cimento, fibras de polivinil do álcool, para a melhoria dos desempenhos de concretos emborrachados e até mesmo fibras de aço, para melhorar os desempenhos mecânicos do concreto emborrachado, deixando evidente que a borracha de pneu é aplicável a inúmeros materiais, sendo responsável por melhorar suas características iniciais [69-71].

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA APLICADA

3.1 - Produção dos Blocos

Para dar início aos estudos práticos, no dia 14 de novembro de 2017 foi firmada uma parceria com a empresa “Lajes Presidente”, fabricante de artefatos de cimento na região de Presidente Prudente - SP desde 1977, para a produção dos blocos. A empresa possui duas fábricas em operação, uma localizada em Presidente Prudente, onde funciona a sede, e outra em Álvares Machado, onde foram fabricados os blocos.

Na sede de Álvares Machado, foram fabricados 150 blocos de vedação com dimensões 9 cm x 19 cm x 39 cm, com diferentes traços, variando os traços em 0, 5 e 10% em peso do resíduo e em substituição do agregado miúdo.

Todos os blocos foram fabricados em processo automatizado de vibro prensa e balança, onde todo o material é pesado digitalmente, otimizando assim o tempo de fabricação das remessas. O sistema de instalação possui misturador de eixo vertical, o que é indicado para concreto seco, facilitando a mistura dos materiais para produção dos blocos, a Figura 6, ilustra o modelo de bloco fabricado.

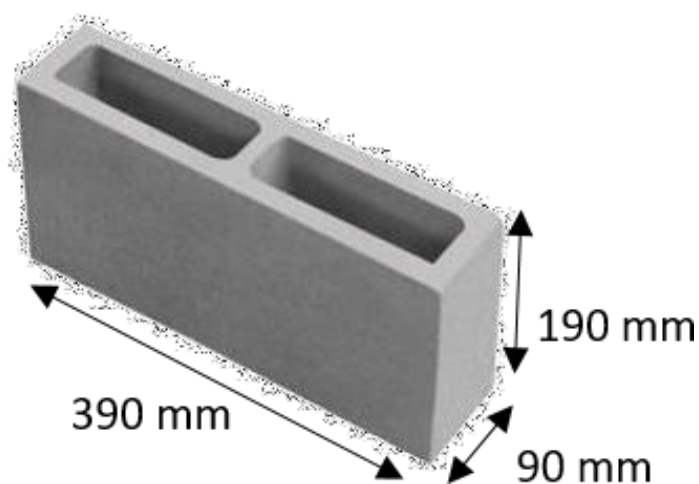


Figura 6 - Dimensões do bloco.

Para a produção dos blocos, a empresa Lajes Presidente, foi responsável pelo fornecimento da mão de obra e pelos materiais tradicionais utilizados na produção, tais como areia fina e grossa, pedrisco, cimento, aditivo e água, sendo responsável também pelo traço piloto que foi calculado de acordo com a melhor eficiência em relação ao tipo da vibro prensa. A Tabela 6, destacada abaixo mostra as proporções do traço piloto utilizada na produção do bloco.

Tabela 6: traço piloto

PILOTO (BLOCOS I)			
ITEM	PORCENTAGEM	MASSA INDIVIDUAL	SOMA
Areia Grossa	43,01%	117 kg	117
Areia Fina	5,51%	15 kg	132
Pedrisco	40,07%	109 kg	241
Cimento	11,40%	31 kg	272

*NOTA: Valores referentes à produção de 30 blocos.

3.2 - Composição e Adequação dos Traços

Como descrito acima, dois tipos de areia foram utilizados como agregados miúdos na massa de concreto: a areia fina, que possui granulometria que varia de 0,05 mm a 0,3 mm, e a areia grossa, que possui granulometria que varia de 1,2 mm a 4,8 mm. Como agregado gráudo, foi utilizado o pedrisco com granulometria média equivalente de 6,3 mm. Para todos os agregados foram realizados ensaios de massa específica aparente e massa específica absoluta de acordo com a ABNT NBR NM 52:2003 (Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente) e ABNT NBR NM 53:2003 (Agregado gráudo – Determinação da massa específica e massa específica aparente).

O resíduo de borracha de pneu utilizado na pesquisa foi proveniente da recauchutagem de pneus disponibilizado pela empresa local Do Vale Prudente e Recapagens LTDA, que foi inserido no concreto em substituição parcial da massa de areia grossa do traço piloto, resultando em dois outros traços com diferentes porcentagens do resíduo. Em função disso, procurou-se utilizar o

resíduo com granulometria aproximada a da areia para que não houvesse alteração na consistência da massa do bloco, e sendo a borracha um material elástico, quanto menor fosse a granulometria, melhor a compactação do bloco na hora da prensagem, diminuindo assim a probabilidade de porosidade no material final.

O resíduo passou por processo de peneiramento utilizando um agitador de peneiras para análise granulométricas da marca Bertel com as respectivas peneiras número 28 (abertura de malha 1,19 mm) e número 14 (abertura de malha 0,59 mm), como mostra a Figura 7.



Figura 7 - Peneiramento do resíduo de borracha.

Para a produção dos blocos, utilizou-se todo o resíduo que passava na peneira número 14, incluindo a porcentagem que passava também pela peneira número 28, pois este resultou em um pó bastante afilado e em pequena porcentagem. Nas Figuras 8 e 9, podemos observar os resíduos nas diferentes granulometrias e o resíduo peneirado utilizado nos blocos.

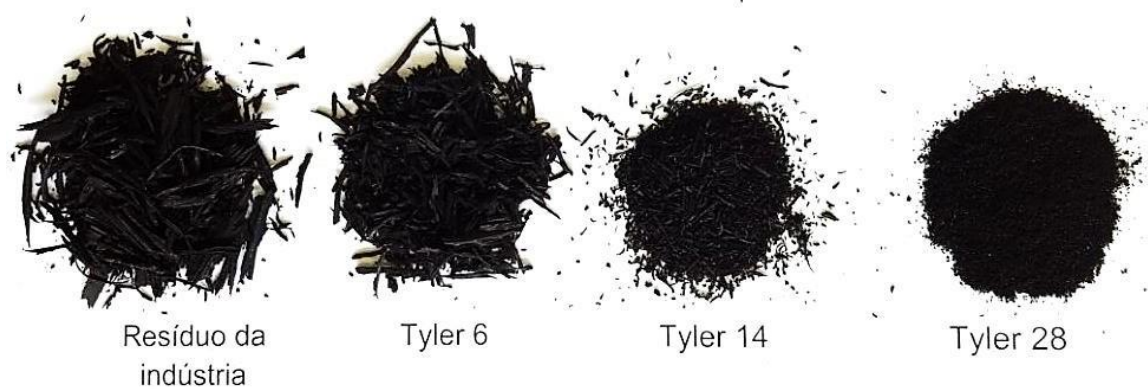


Figura 8 - Granulometrias.



Figura 9 - Detalhe das dimensões do resíduo utilizado (14 e 28mm).

Para melhor eficiência e rapidez, o cimento utilizado foi o CP V ARI - Cimento Portland de alta resistência inicial, que possui alta reatividade em baixas idades em função do grau de moagem a que é submetido. O *clínquer* é o mesmo utilizado para a fabricação de um cimento convencional, mas permanece no moinho por um tempo prolongado. Nestas condições o cimento continua ganhando resistência até os 28 dias, atingindo valores mais elevados que os demais, proporcionando maior rendimento à produção do concreto.

O aditivo utilizado foi o Hagen DT Plus da marca Hagen, demonstrado na Figura 10, é um composto químico, isento de cloretos, usado como plastificante para peças classificadas como artefatos de cimento e pré-fabricados de concreto

seco, enquadrando-se o bloco de estudo. Sendo recomendável a utilização de 50 a 150 mL de aditivo para 50 kg de cimento. Entre as vantagens de sua utilização encontramos; diminuir o uso de água na mistura; biodegradabilidade; aumento da resistência; melhora a aparência; reduz a permeabilidade e o risco de fissuras; facilita a desoldagem e atende aos requisitos da norma ABNT NBR 11768:2011. A Figura 10, trás em (a) o aditivo como utilizado na fabrica e (b), como encontrado para compra.



Figura 10 - Aditivo Hagen DT Plus.

Em todos os traços foi utilizada água potável. Por conta da umidade da areia, foi feita a correção da água dos traços através das Equações 1, 2, 3 e 4 a seguir.

$$\text{Água corrigida (AC)} = \text{Água do traço (AT)} - \left(\frac{h}{100} \cdot a \right) \quad (1)$$

Onde: AC= água corrigida;

AT= água do traço;

$$a = \frac{\text{massa de areia}}{\text{massa de cimento}} \quad (2)$$

$$h\% = \left[\frac{P_h - P_s}{P_s} \right] \cdot 100 \quad (3)$$

Onde: P_h = massa úmida;

P_s = massa seca, calculados pela Equação 4:

$$P = \frac{[(\rho_1 \cdot m_1) + (\rho_2 \cdot m_2)]}{m_1 + m_2} \quad (4)$$

Onde: ρ_1 = massa específica da areia fina;

ρ_2 = massa específica da areia grossa;

m_1 = massa de areia fina (traço);

m_2 = massa de areia grossa (traço);

Para P_h utilizou-se a massa específica absoluta e para P_s , massa específica aparente.

3.3 - Fabricação dos Blocos de Concreto

Após cálculo e definição de todos os traços, iniciou-se o processo de produção, começando pelos blocos pilotos, seguido dos blocos 5% e 10% de adição do resíduo de pneu. Com um sistema de balança automatizada, a massa dos agregados (areia fina, areia grossa e pedrisco) foi inserida por meio de um painel digital e lançada na esteira direcionada ao misturador, como mostra a Figura 11. Apenas o resíduo de borracha foi pesado e adicionado ao misturador manualmente.



Figura 11 - Sistema de pesagem dos agregados (esteira).

Para a moldagem dos blocos, foi utilizada uma vibro-prensa semiautomática hidráulica da marca Permaq, com capacidade de produção de 3200 blocos (9 cm x 19 cm x 39 cm) a cada 8 horas, com uma potência de 7 cv e prensagem até 1500 kg. A instalação envolve um misturador de eixo vertical, como mostra a Figura 12.



Figura 12 - Vibro-prensa semiautomática. a) misturador vertical e b) caixa de prensagem.

Após a moldagem e prensa, os blocos foram carregados em *palets* até o pátio da fábrica, onde ficaram acondicionados para o processo de cura, Figura 13, durante sete dias, como condição de se obter a resistência mínima estabelecida pelas normas NBR 12118/2013 e NBR 6136/2016. O ciclo de cura natural consistiu em exposição às condições do ambiente do pátio, com manutenção da umidade dos blocos por meio de aspersão de água para que o processo de hidratação do cimento não seja interrompido, não comprometendo as propriedades dos blocos, principalmente a resistência à compressão.



Figura 13 - Blocos expostos para cura no pátio da fábrica.

3.4 - Ensaio de Resistência à Compressão

Para a realização do ensaio de resistência à compressão, foram utilizados os procedimentos conforme descritos pela ABNT NBR 12118/2013 -Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Sendo ensaiados 6 blocos de cada traço.

Os materiais utilizados para a realização do ensaio foram, uma máquina de compressão EMIC PCE 100 – digital, hidráulico manual e não automática. O ensaio foi realizado no laboratório da GERABTÉC, sendo a máquina equipada com dois pratos de apoio feitos de aço, onde um dos pratos é articulado, para agir na parte superior do bloco. Os pratos e placas de apoio da máquina, devem ser rígidos e planos, não apresentando desnível acima de 0,08 mm para cada comprimento de 400 mm, as placas de apoio da máquina devem ter espessuras mínimas, tais como;

- e = 50 mm, carga de até 1.000 KN;

- e = 75 mm, carga de até 2.000 KN;

- e = 100 mm, carga de até 3.000 KN;

O maquinário também deve ter equipamentos que possuam a leitura de carga máxima com coeficiente de erro de 2% para mais ou para menos, ter sistemas que permita a distribuição uniforme da carga sobre o bloco, sendo

capaz de transmitir essa carga de forma contínua e progressiva, sem qualquer tipo de choque.

Foram ensaiados 6 blocos de cada traço, secos ao ar, com a utilização de uma máquina EMIC PCE 100, com capacidade de 100Tf que atende aos requisitos da ABNT NBR NM ISO 7500-1. Antes da realização do ensaio, os blocos tiveram que passar por processo de capeamento, que é a regularização das faces dos blocos, este capeamento foi feito com pasta de cimento (cimento e água), sendo resistentes as forças que os blocos foram expostos. Para a realização do processo de capeamento dos blocos, a pasta de cimento foi colocada em uma superfície plana e rígida, sendo respeitado o desnível máximo de 0,08 mm para cada 400 mm de comprimento, sendo untados antecipadamente com óleo, após a pasta ser disposta uniformemente sobre a superfície, os blocos foram pressionados sobre a pasta, sendo tomadas precauções para que o capeamento fosse uniforme com espessura média de 3 mm. A Figura 14 nos mostra os blocos capeados.



Figura 14 - Capeamento dos blocos.

Depois de feita a regularização das superfícies, os blocos foram rompidos na máquina EMIC PCE 100, onde foi aplicada uma força controlada e calculada

em relação à área bruta do bloco, sendo aumentada progressivamente sem choques, na proporção de $0,05 \pm 0,01 \text{ Mpa/s}$ ($\approx 50 \text{ kgf/cm}^2/\text{s}$), na direção do esforço, que o bloco deve suportar quando utilizado em construções, sendo colocada sua maior superfície na parte superior e o centro de gravidade do bloco deve coincidir com o eixo de carga dos pratos da máquina. Na Figura 15, pode-se observar o procedimento do ensaio, sendo a imagem (a) um detalhe da máquina toda de compressão; (b), o rompimento do bloco; (c), a imagem do bloco já rompido e (d), a carga em quilograma força (kgf) em que o bloco se rompeu.



Figura 15 - Ensaio de resistência à compressão.

Os requisitos de resistência a compressão estão descritos na ABNT NBR 6136/2016, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Requisitos para resistência.

CLASSIFICAÇÃO	CLASSE	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO AXIAL (MPa) *
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$
	B	$4,0 \leq f_{bk} \leq 8,0$
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$

NOTA: * Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.

Fonte: ABNT NBR 6136/2016, modificada pela autora.

3.5 – Microscopia Óptica

No laboratório Detran – Detecção de Traços Nucleares - da FCT-Unesp, foram realizadas análises ópticas dos blocos de referencia, 5 e 10% de RBP, para observar-se o comportamento da RBP na mistura do concreto. Foi utilizado um microscópio da marca Zeiss Stereo Discovery. V12, acoplado a uma câmera digitalizadora (ExwareHAD, Sony, modelo SSC- DC54A).

3.6 - Ensaio de Absorção de Água e Teor de Umidade

Para a realização dos ensaios de teor de umidade e absorção de água foi utilizado o procedimento descrito pela ABNT NBR 12118/2013 (Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio), onde foram ensaiados 3 blocos de cada traço.

Os materiais utilizados para realização deste ensaio, foram uma balança com dispositivo para realizar a pesagem hidrostática, e com capacidade de resolução de no mínimo 10 g e capacidade mínima de 20.000 g, uma estufa com capacidade de manter a temperatura a 110 °C, com variação máxima de 5 °C e um termômetro, que foi usado para verificar a temperatura da água do tanque onde os blocos foram imersos, com resolução mínima de 1 °C.

A primeira etapa a ser cumprida para realização deste ensaio, foi a secagem dos blocos, que se iniciou com a colocação dos mesmos em estufa,

mantendo a temperatura de 110 °C ±5 °C, por 24 horas, passado este tempo, foram retirados os blocos da estufa e pesados, determinado sua massa (m), após a pesagem, os blocos foram novamente levados a estufa, e deixados por mais 2 horas, sendo respeitado, o tempo máximo de 10 minutos de permanência dos blocos fora da estufa. Passadas as 2 horas, foi realizada nova pesagem e constatou-se que o bloco não apresentou diferença de massa maior que 0,5%, considerando o valor da medida anterior; sendo encontrado então a massa seca (m₁), do bloco.

A próxima etapa é a verificação da saturação do bloco, onde é encontrada a massa saturada (m₂). Para registrar o valor da massa saturada, os blocos foram resfriados naturalmente em temperatura ambiente, e imersos em tanque com água em temperatura controlada de 23 °C ±5 °C, onde foram deixados por 24 horas. Após o tempo de imersão, os blocos foram retirados do tanque, e secos com auxílio de um pano, então foi realizada a pesagem dos blocos, conseguindo sua massa saturada (m₂). A Figura 16 mostra os procedimentos do ensaio.



Figura 16 – a, Pesagem; b, secagem e c imersão dos blocos.

Com os valores obtidos dos ensaios descritos anteriormente, foi realizado o cálculo de absorção de água (a), dado pela expressão a seguir. E os requisitos relacionados à absorção de água estão descritos na ABNT NBR 6136/2016, Tabela 8.

$$a (\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Tabela 8 - Requisitos para absorção de água.

CLASSIFICAÇÃO	CLASSE	ABSORÇÃO (%)			
		Agregado normal *		Agregado leve **	
		Individual	Média	Individual	Média
Com função estrutural	A	≤ 9,0	≤ 8,0	≤ 16,0	≤ 13,0
	B	≤ 10,0	≤ 9,0		
Com ou sem função estrutural	C	≤ 11,0	≤ 10,0		

NOTA: * Blocos fabricados com agregado normal (ver definição na ABNT NBR 9935).

** Blocos fabricados com agregado leve (ver definição na ABNT NBR 9935).

Para determinar o teor de umidade relativa (U), foram utilizados os requisitos para o teor de umidade relativa média que estão descritos na ABNT NBR 12118/2013.

Sendo determinada a massa (m), de cada bloco, onde foram pesados 3 blocos de concreto e medidos individualmente o teor de Umidade (U) de cada bloco, obtido através da expressão abaixo.

$$U (\%) = \frac{m - m_1}{m_2 - m_1} \times 100$$

Sendo verificadas as condições de umidade relativa media, onde cada bloco deve atender as condições da descritas na Tabela 9 abaixo,

Tabela 9 - Requisitos para o teor de umidade relativa média.

RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA (MPa)	TEOR DE UMIDADE RELATIVA MÉDIA
$f_{bk} \geq 8,0$	$(40 \pm 20) \%$
$f_{bk} < 8,0$	$(25 \pm 15) \%$

* NOTA: Caso a umidade relativa média dos blocos no momento do ensaio for superior ao especificado e havendo o atendimento da resistência característica estimada dos blocos, o ensaio deve ser considerado. Se a resistência não for atendida, o ensaio deve ser desconsiderado.

Caso a umidade relativa média dos blocos no momento do ensaio for inferior ao especificado, o ensaio deve ser desconsiderado.

3.7 - Ensaio de Densidade

Para a determinação da densidade dos blocos, através do princípio de Arquimedes, foi utilizado a Equação 7 a seguir:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (7)$$

A massa foi determinada por meio de pesagem de 6 blocos secos de cada traço, sendo sua massa denominada “m”, e o volume calculado de acordo com suas dimensões, Figura 17, denominado “v₁”.

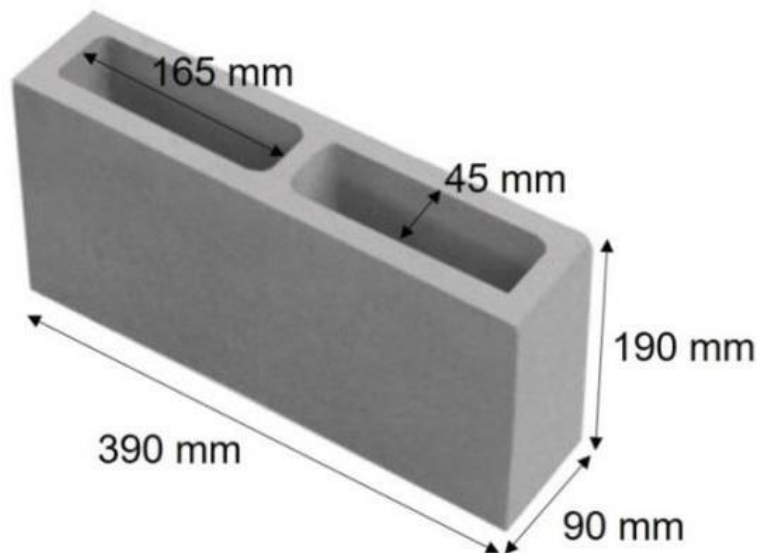


Figura 17 - Dimensões do bloco para cálculo do volume.

Para a comparação do volume calculado com o volume real do bloco, foi realizado um ensaio utilizando um recipiente plástico no qual foi feita uma abertura próxima à borda com materiais de PVC.



Figura 18 - Ensaio de densidade.

Três blocos foram imersos em água por 24 horas, para sua completa saturação preenchendo assim os vazios internos. Após esse período, um bloco de cada vez foi mergulhado no recipiente plástico, previamente preenchido com água, para medição do volume deslocado, denominado “v₂”. Utilizou-se uma proveta de 1 litro para medição da água escoada.

3.8 - Ensaio de Desempenho Térmico

Este ensaio foi baseado na ABNT NBR 15220-5; que rege os parâmetros para medição da resistência térmica em condução permanente, determinando a densidade de fluxo de calor que passa pelo bloco e a resistência térmica do bloco. Dados através das seguintes equações:

$$R = \frac{\Delta T}{q}$$

Onde:

R = a resistência térmica (m². K/W);

ΔT = a diferença de temperatura entre as superfícies (K);

q = a densidade de fluxo de calor (W/m^2).

No caso de um corpo-de prova de espessura “e” e constituído de um material homogêneo, pode-se usar a fórmula:

$$\lambda = \frac{e}{R}$$

Onde:

λ = a condutividade térmica (W/m.K);

e = a espessura do tijolo (m);

R = a resistência térmica ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$).

O ensaio consistiu em aquecer uma face do bloco de concreto com uma fonte de calor com potência conhecida sendo coletados os dados de temperatura por termopares fixados em pontos específicos do bloco. Para que conseguíssemos realizar esta medição, foi confeccionada uma estrutura utilizando MDF – *Medium Density Fiber* e poliestireno expandido ($\lambda = 0,035 \text{ W/m.K}$), mostrados nas Figuras 19 e 20, para que não houvesse interferência do meio externo nos valores coletados.

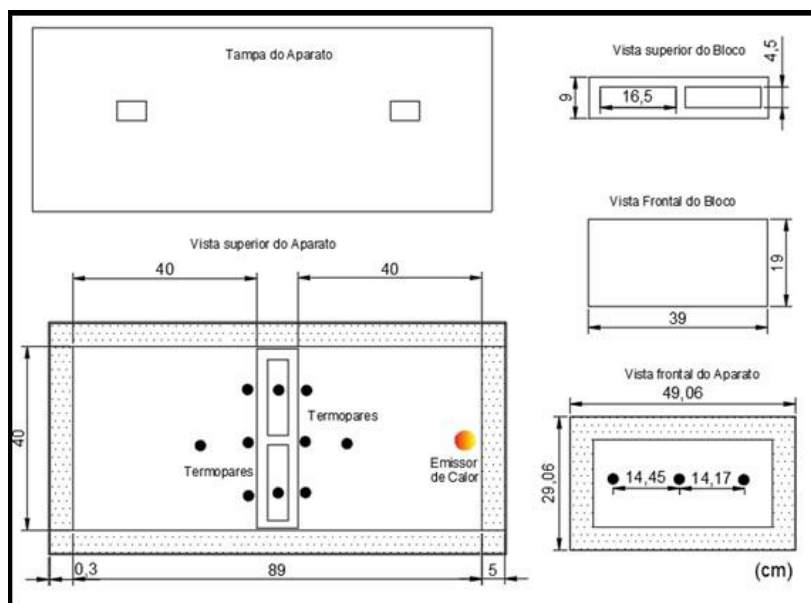


Figura 19 - Planta do dispositivo térmico.

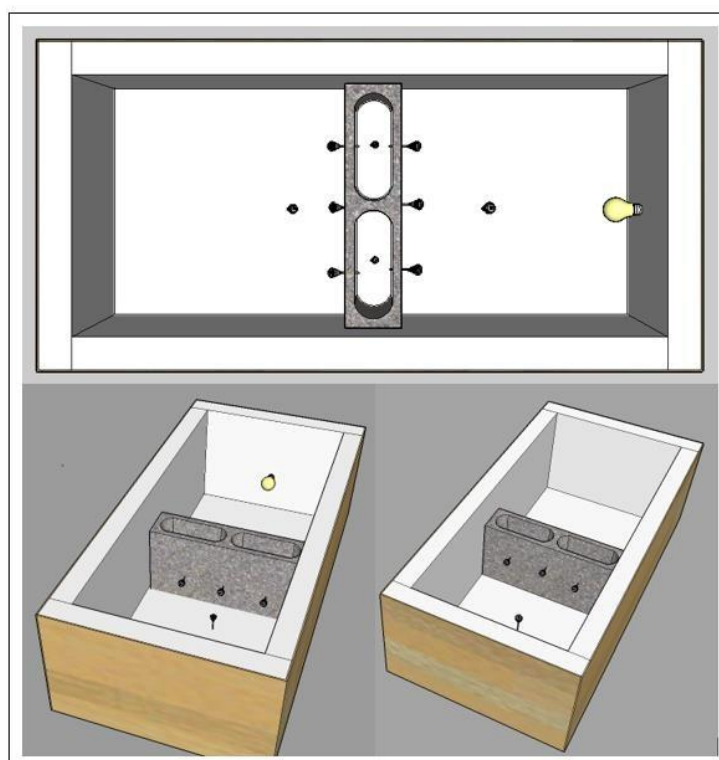


Figura 20 - Esquema para ensaio de atenuação sonora.

A fonte de calor escolhida foi uma lâmpada incandescente da marca Philips, com 40 W de potência,

Tabela 10. A partir do momento em que a lâmpada era acesa, a mesma permanecia assim por um período de quatro horas. A montagem do ensaio é mostrada na Figura 21.

Tabela 10 - Caracterização da fonte luminosa

TENSÃO (volt)	POTÊNCIA (watt)	EMIÇÃO DE LUZ (lúmen)	EFICIÊNCIA LUMINOSA (lm/W)	VIDA (hora) **
220 *	100	1350	13,5	1000

NOTA: Padrão Norma NBR 14671.

* Tensão elétrica padronizada.

** Expectativa de vida média.

Fonte: Philips, 2017.

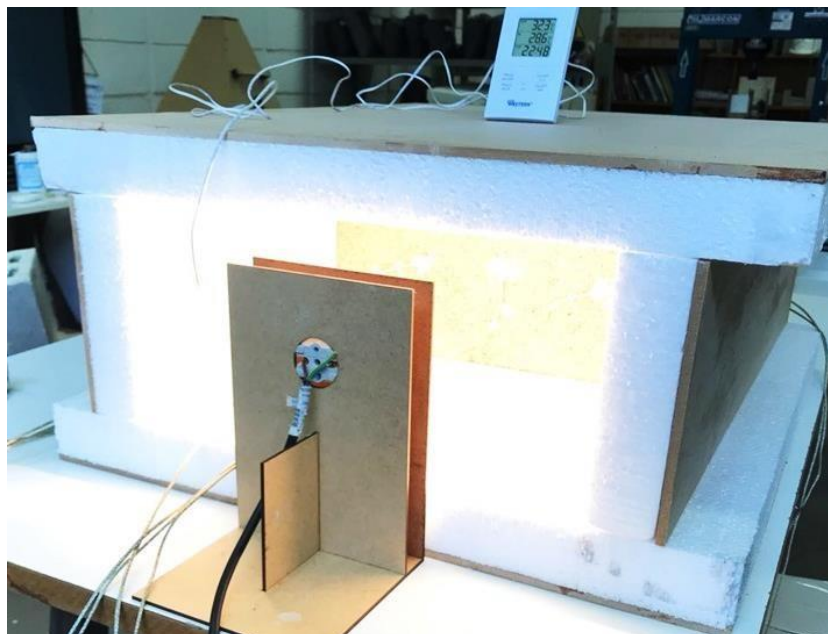


Figura 21 - Dispositivo para análise térmica

Foram utilizados dez termopares que coletaram valores de temperatura no intervalo de um minuto por meio da placa/software Arduino 1.6.9 – *MultiThermometer*. As fixações dos termopares nos blocos foram com o uso de fita dupla face *Scotch* e suas partes superiores foram envolvidas com pasta térmica conforme Figura 22. Esses sensores de temperatura continuaram coletando dados até o completo esfriamento do bloco.



Figura 22 – Termopares.

Outro quesito avaliado foi o tempo de transporte de temperatura pelos blocos. Assim, foi definida a temperatura de 35°C, e verificado em quanto tempo essa temperatura foi atingida nos termopares de entrada e saída, onde o termopar de entrada ficava situado mais próximo da fonte emissora de calor, e o termopar de saída era situado do outro lado do bloco a uma distância aproximada de 10cm. A partir dos dados coletados foi possível verificar qual dos blocos apresentou um maior tempo de transporte de temperatura.

Outro critério que foi analisado é o desempenho térmico para a condição de Verão, que são classificados em mínimo, intermediário e superior, segundo a NBR 15.575/2013. Para isto, é levado em consideração o valor máximo diário da temperatura do ar no interior e exterior da edificação. Neste caso, sendo analisada apenas a condição de Verão, que segundo ABNT (2005), Presidente Prudente encontra-se na zona bioclimática 6 conforme a Figura 23, não sendo relevante assim, atender aos requisitos de Inverno. As classificações dos níveis de desempenho estão dispostas na Tabela 11.

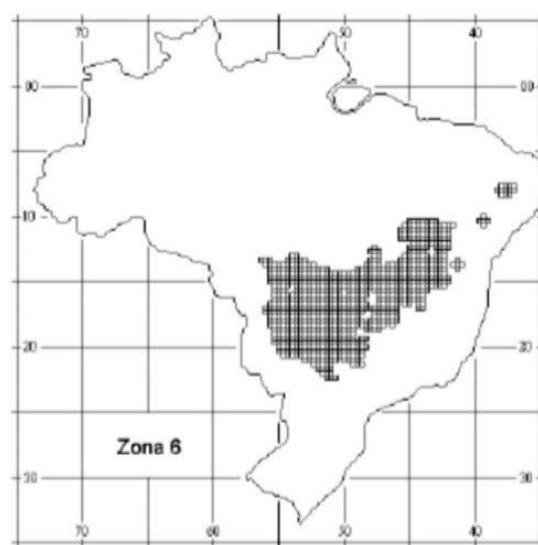


Figura 23 - Zona bioclimática 6.

Fonte: ABNT, 2005.

Tabela 11 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condição de Verão

NÍVEL DE DESEMPENHO	CRITÉRIO - ZONA BIOCLIMÁTICA 1 A
	7
M (mínimo)	$T_{\text{imáx}} \leq T_{\text{emáx}}$
I (intermediário)	$T_{\text{imáx}} \leq (T_{\text{emáx}} - 2^{\circ}\text{C})$
S (superior)	$T_{\text{imáx}} \leq (T_{\text{emáx}} - 4^{\circ}\text{C})$

* NOTA: $T_{\text{imáx}}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{\text{emáx}}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius.

Fonte: ABNT, 2013.

3.9 - Ensaio de Desempenho Acústico

O método padrão para a medição da perda de transmissão sonora em materiais de construção compreende o uso de duas salas adjacentes, com o material estudado instalado entre elas. O som é gerado na sala de origem e captado na sala receptora, e as medições são feitas nas duas salas. No entanto, mesmo o ensaio sendo bem definido e confiável, é necessário a construção de dois ambientes (salas) em escala muito maior, se tornando inviável financeiramente, por conta da grande quantidade de amostras utilizadas, além da exigência de um espaço para a construção das salas.

Com isso, um aparato de tubo de impedância tem sido usado para o ensaio de perda de transmissão sonora, sendo normalizado por procedimentos descritos na ASTM E1050 – 12, tornando o ensaio de perda de transmissão sonora mais acessível economicamente e podendo ser realizado em um laboratório menor devido ao seu tamanho reduzido.

Os equipamentos necessários para a realização deste ensaio acústico são: uma fonte emissora de som; dois receptores de som; um corpo de prova e uma cápsula, com dimensões constantes, podendo ser cilíndrica ou retangular - a materialidade do aparato pode ser de metal, de plástico, de madeira ou de cimento, sendo que seu revestimento interno deve possuir superfície reta, não-porosa, limpa para não alterar os valores da atenuação sonora. As Figuras 24 e 25, demonstram o detalhamento de vedação com vaselina e o aparato utilizado.



Figura 24- Aparato usado para ensaio Acústico.

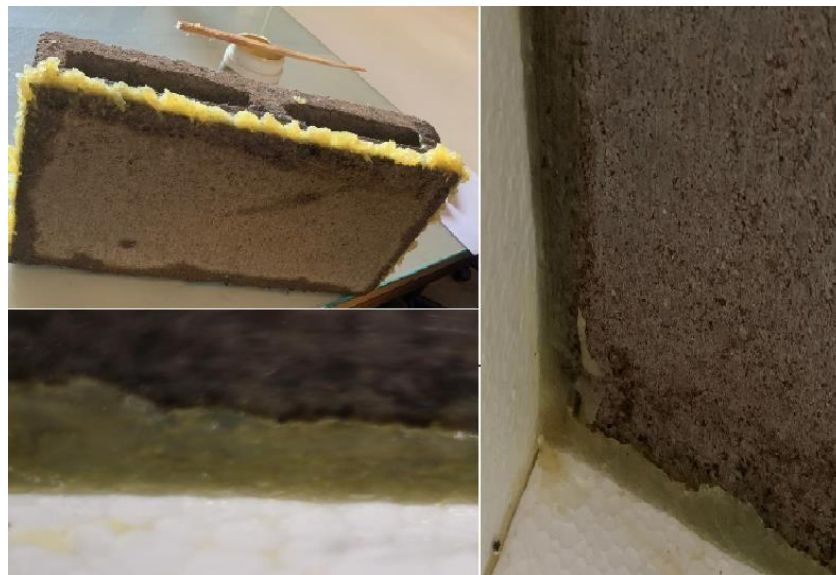


Figura 25- Detalhe da vedação por Vaselina no Bloco

O aparato construído para a realização do teste acústico foi moldado segundo as dimensões das amostras (39x9x19cm) de tal modo que o encaixe entre o corpo de prova e o aparato não permite grandes frestas, somente o necessário para a vedação com vaselina, como determina a norma americana ASTM E1050 - 12. Sendo construído de MDF e Poliestireno Expandido ($\lambda = 0,035$ W/m.K) – isopor do ensaio térmico, adaptado de acordo com as necessidades do ensaio acústico. Foram colocados três decibelímetros da marca *Instrutherm*, modelo DEC-405, posicionados no exterior do aparato com o objetivo de

determinar o ruído de fundo, que consiste na média dos níveis de ruído mínimos na ausência da fonte emissora em questão, Figura 26.

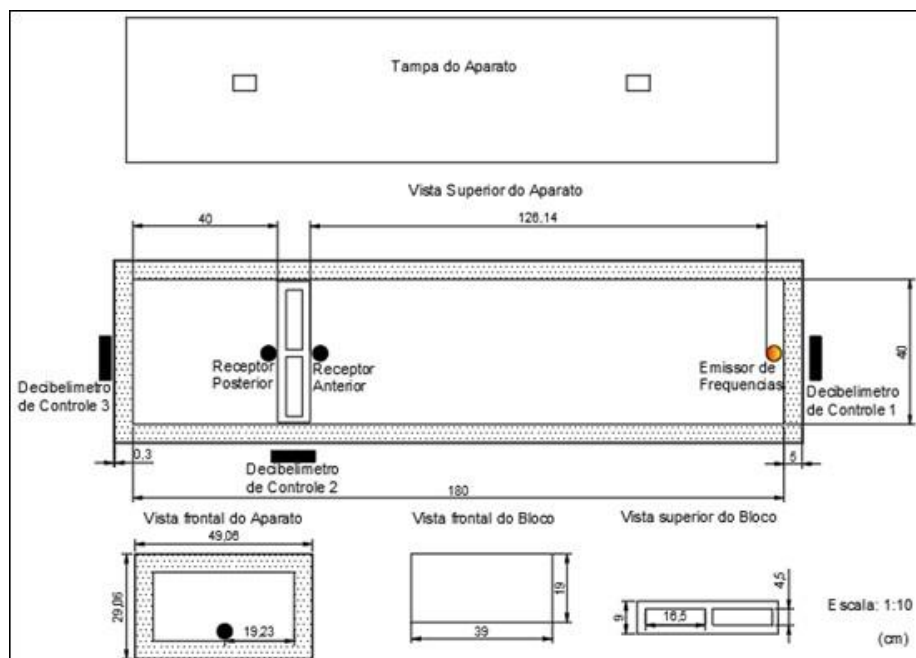


Figura 26 - Modelo do aparato utilizado para teste acústico.

Sendo respeitados os requisitos para a construção do aparato previstos pela norma ASTM E1050 – 12 - a qual descreve a necessidade de uso de um aparato na forma retangular tomado como base o maior lado multiplicado por três (neste caso, utilizou-se a medida de 39 cm para a multiplicação por três e somando aos espaços ocupados pelo aparelho emissor e pelo receptor de som obtendo 180,0 cm). Sendo importante essa relação proporcional para a garantia de que a onda emitida pela fonte sonora se estabilize até chegar ao leitor prévio e ao corpo de prova.

Por meio de um aplicativo IOS chamado “*Function Sound Generator*” foi emitido um som grave com frequência de 250 Hz durante um minuto, enquanto dois outros aparelhos IOS, por meio do aplicativo “*Decibel X Pro*”, fizeram leitura do nível sonoro ponderado em curva A (efetua medições do ruído de acordo com a sensibilidade do ouvido humano) e ponderação temporal *Fast* (135 ms). Em seguida, o procedimento foi repetido novamente por duas vezes, porém utilizando um som médio com frequência de 1000 Hz e um som agudo com

frequência de 4000 Hz conforme Figura 27. Os smartphones foram previamente ajustados pelo método de comparação através de decibelímetros calibrados.

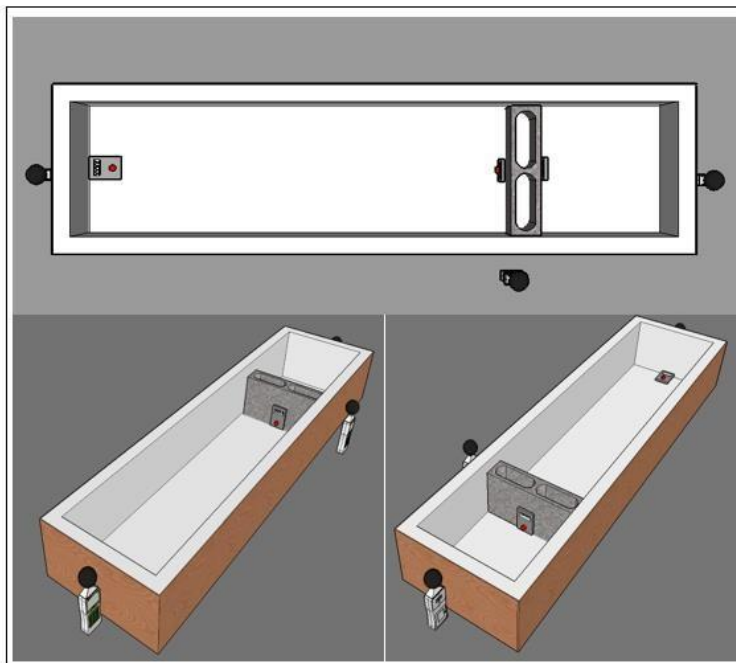


Figura 27 - Vistas com medidas do aparato acústico.

A duração de emissão e captação do som, também obedece aos parâmetros da ISO 10140-4, a qual cita o mínimo entre 4 segundos (para frequências maiores que 400Hz) e 6 segundos (para frequências entre 100 e 400Hz), já que se utiliza três frequências (250Hz, 1000Hz, 4000Hz). Sendo então um minuto tempo mais que suficiente para estabilização da onda sonora.

A partir dos valores obtidos de entrada e saída do nível sonoro, foi possível determinar a atenuação sonora resultante dos blocos de cada traço.

3.10 – Lixiviação e Solubilização

A técnica de lixiviação é utilizada para determinar ou avaliar a estabilidade química dos resíduos, quando em contato com soluções aquosas, permitindo assim verificar o grau de imobilização de contaminantes. O ensaio foi realizado conforme a norma NBR 10.005/2004. De acordo com essa Norma os resíduos são classificados em:

Resíduos Classe I – Perigosos: Aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade ou ainda constem nos anexos A ou B da NBR 10004/2004.

Resíduos Classe II – Não perigosos: Os códigos para alguns resíduos dessa classe encontram-se no anexo H da Resíduos Classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10007/2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água deionizada, a temperatura ambiente,

Resíduos Classe II A – Não inertes: Aqueles que podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água e que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B –Inertes.

Resíduos Classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10007/2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água deionizada, a temperatura ambiente,

As análises de lixiviação e solubilização foram utilizadas para a determinação dos metais presentes no resíduo de borracha de pneu. As análises foram realizadas no laboratório Hidrolabor de Controle de Qualidade.

3.11 – Ensaio de Flamabilidade

Ensaio de flamabilidade são utilizados para medir e descrever a resposta dos materiais e produtos ao calor e à chama sob condições controladas. Foi realizado o ensaio em triplicata das amostras, onde foram mantidas por 24 horas a uma temperatura entre 23 e 25 °C, e umidade relativa de 50% podendo variar em 5%. As amostras foram colocadas em um suporte em forma de U, onde as chamas foram acessas durante um minuto antes de entrar em contato com as amostras. A chama agiu por 15 segundos nas amostras com poder calorífico de aproximadamente 38 MJ/m³. Os resultados foram calculados através da equação de taxa de queima (B mm/s).

$$B = \frac{s}{t} \times 60$$

Onde:

s = distância de queima (mm).

t = tempo (s).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é apresentado a discussão dos resultados obtidos aplicando a metodologia apresentada no capítulo anterior e seguirá a seguinte ordem: Produção dos Blocos, os ensaios de Resistência à Compressão; Microscopia Óptica; Densidade; Teor de Umidade; Absorção de Água; Desempenho térmico Desempenho acústico; Flamabilidade; e Lixiviação.

4.1 - Produção dos blocos

Os valores de massa específica aparente e absoluta dos agregados utilizados para a confecção/produção dos blocos de concreto estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Massa específica aparente e absoluta dos agregados

AGREGADO	MASSA ESPECÍFICA	MASSA ESPECÍFICA
	APARENTE (g.cm ⁻³)	ABSOLUTA (g.cm ⁻³)
Areia fina	1,24	1,15
Areia grossa	1,31	1,26
Pedrisco	1,61	1,55

O resultado da massa específica aparente e absoluta são superiores para a areia grossa e pedrisco, devido o índice de vazios ser maior, bem como sua composição granulometria ser bem graduada, o qual garante um melhor empacotamento dos grãos em relação à areia fina.

Tabela 13 - Traços de concreto com resíduo de borracha de pneu.

ITEM	5% (BLOCOS II) *		10% (BLOCOS III) *	
	Traço	Porcentagem	Traço	Porcentagem
Cimento	32 kg	12%	32 kg	12%
Resíduo de borracha	6 kg	2%	12 kg	4%
Areia fina	15 kg	5%	15 kg	5%
Areia grossa	111 kg	40%	105 kg	38%
Pedrisco	109 kg	39%	109 kg	39%
Água	6 l	2%	6 l	2%

* Valores referentes à produção de 30 blocos.

4.2 - Resistência à Compressão

Os resultados de resistência à compressão em 28 dias dos blocos de concreto com o traço piloto, 5 e 10% de resíduo de borracha de pneu, são apresentados na figura 28.

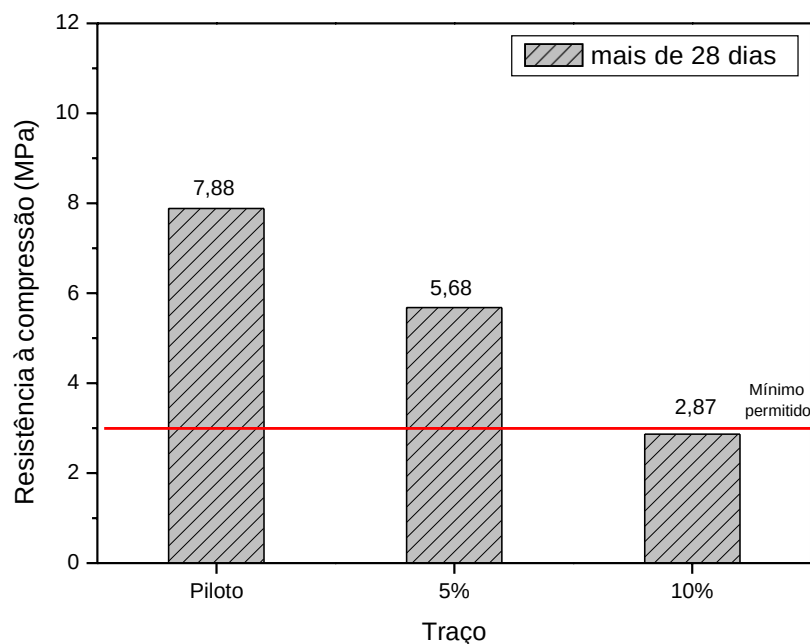


Figura 28 - Resistência à compressão média com mais de 28 dias.

Para o concreto piloto, a resistência a compressão aos 28 dias foi de 7.88 MPa. O concreto com adição de 5 e 10% de resíduo de borracha de pneu, respectivamente foram de 5,68 e 2,87 MPa. Observa-se uma variação de resistência a compressão entre os blocos tradicionais aos blocos com adição do resíduo de borracha de pneu. De acordo com a ABNT NBR 6136, os blocos tradicionais (0%) e blocos com adição de 5% de resíduo apresentaram valores acima do valor mínimo permitido. Os blocos com adição de 10% resíduo não atingiram o mínimo estabelecido pela norma referente à resistência à compressão para blocos sem função estrutural (Classe C).

A redução sistemática de resistência verificada com a incorporação da borracha de pneu pode ser atribuída à má aderência entre a pasta de cimento e a borracha que por consequência aumenta a formação e irradiação de trincas na zona de transição interfacial concreto/borracha. Como a borracha apresenta caracter antiaderente devido ao uso de produtos à base de zinco na produção dos pneus, a má aderência da borracha com a pasta de cimento, favorece a formação a uma zona de transição interfacial mais frágil que a de um concreto sem adição de borracha, esta queda na resistência pode também ser influenciado pela baixa rigidez da borracha. Sugere-se também que um outro fator que pode ter interferido nos valores de resistência á compressão é o aumento da porosidade nos blocos com adição do resíduo [72-76].

Desta mesma maneira, a diminuição da resistência à compressão também se relaciona à substituição da areia grossa por resíduo de borracha de pneu, uma vez que a areia grossa é basicamente constituída por quartzo (SiO_2), que apresenta resistência superior aos resíduos polimericos (resíduo de borracha de pneu) inseridos no lugar da areia grossa.

4.3 – Microscopia óptica

A microscopia óptica tem como objetivo observar a área interna dos blocos de concreto para conhecer a interação entre o resíduo de pneu, agregados e cimento. A imagem da área interna do bloco de concreto é mostrada na Figura 29. Na micrografia é possível verificar uma distribuição e homogeneidade entre os agregados e a matriz cimentícia no concreto de

referência. A adição de resíduo de borracha de pneu aumenta o número de poros do concreto devido à baixa adesão entre o resíduo e a matriz cimentícia, fator importante que pode ter resultado na perda de propriedade de resistência a compressão.

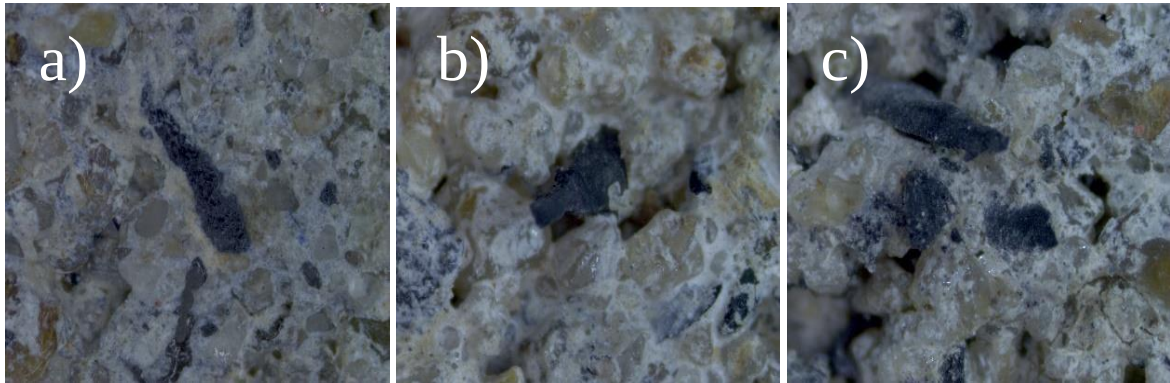


Figura 29 - Imagens de microscopia óptica (MO) do bloco de concreto piloto (a), Resíduo de Borracha de Pneu-5% (b) e Resíduo de Borracha Pneu-10% (c) com amplificação de 25x

4.4 - Teor de umidade

A Tabela 14 abaixo mostra os valores referentes às massas dos blocos in natura, secos em estufa e saturados, para os ensaios de teor de umidade relativa e absorção de água.

Tabela 14 - Pesagem dos blocos in natura, secos e saturados.

MASSAS		M (kg)	M1 (kg)	M2 (kg)
Blocos I (Piloto)	I1	9,03	8,7	9,36
	I2	8,74	8,41	9,11
	I3	8,885	8,565	9,24
	Média	8,885	8,558	9,237
Blocos II (5%)	II1	8,645	8,385	9,07
	II2	8,415	8,16	8,795
	II3	8,935	8,63	9,265
	Média	8,665	8,392	9,043
Blocos III (10%)	III1	7,565	7,315	8,045
	III2	7,515	7,325	8,025
	III3	7,61	7,415	8,145
	Média	7,563	7,352	8,072

De acordo com a ABNT NBR 12118/2014, recomenda-se um teor de umidade relativa entre 10 e 40%. A Figura 30 apresenta os valores de umidade relativa média dos blocos de concretos.

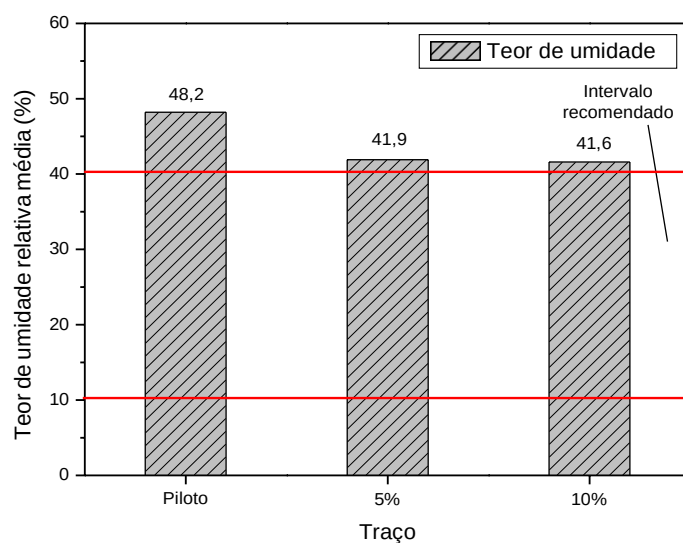


Figura 30 - Teor de umidade relativa média.

É possível observar que os três traços ultrapassaram o intervalo de umidade relativa adequada para blocos de concreto ($25\% \pm 15\%$). No entanto, os traços com resíduo reduziram em 13% o teor de umidade, fator que pode estar associado com a natureza hidrofóbica da borracha que absorve menos umidade.

4.5 - Absorção de água

A figura 31 apresenta a média dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água aos 28 dias, conforme a NBR 12118/2014.

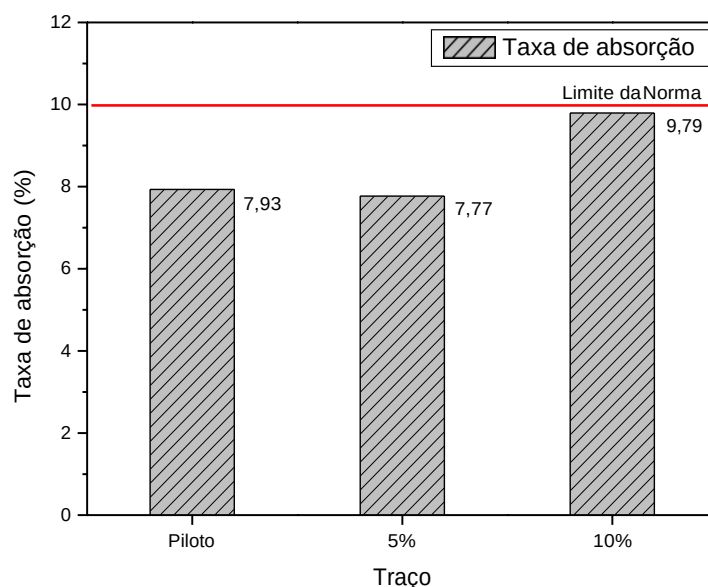


Figura 31 - Taxa de absorção de água.

A média dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água dos blocos de concreto 0% , 5% e 10% de residuo de borracha de pneu foram da ordem de 7,93%, 7,77% e 9,79%, respectivamente. Tal diferença nos resultados está atribuída a presença de poros presentes na matriz cimentícia, potencializando a absorção dos blocos de concreto com resíduo em comparação aos grãos de areia fina e grossa, conforme constatado na microscopia óptica (Figura 29).

Segundo a ABNT NBR 6163/2016, a média da taxa de absorção para blocos sem função estrutural (Classe C), compostos por agregados normais deve ser igual ou inferior a 10%. Deste modo, pode-se observar que os blocos fabricados atendem as especificações da norma.

4.6 – Densidade

Os resultados individuais e a média do ensaio de densidade dos blocos de concreto 0%, 5% e 10% de resíduo de borracha de pneu, estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Massa dos blocos secos para densidade.

MASSAS (kg)					
BLOCOS I (PILOTO)		BLOCOS II (5%)		BLOCOS III (10%)	
I1	8,405	II1	8,290	III1	7,510

I2	8,980	II2	7,780	III2	8,415
I3	9,465	II3	8,455	III3	8,020
Média	8,950	Média	8,175	Média	7,982

Os resultados do volume do bloco calculado levando em consideração suas dimensões (“v₁”) e do volume ensaiado (“v₂”) estão apresentados na Tabela 16.

As variações observadas entre os volumes v₁ e v₂ se deram por conta das imperfeições de borda dos blocos. O valor médio obtido mostrou-se coerente ao volume calculado, assim adotou-se “v₁” para futuros cálculos.

Tabela 16 - Volume do bloco.

VOLUME CALCULADO “v₁”		MÉDIA DOS VOLUMES ENSAIADOS “v₂”
3847500 mm ³	3,8475 l	3,7 l

A Tabela 17 e a Figura 32 mostram os resultados das densidades referentes a cada classe de bloco.

Tabela 17 - Densidade dos blocos.

DENSIDADE (kg/l)					
BLOCOS I (PILOTO)		BLOCOS II (5%)		BLOCOS III (10%)	
I1	2,1845	II1	2,1546	III1	1,9519
I2	2,3339	II2	2,0220	III2	2,1871
I3	2,4600	II3	2,1975	III3	2,0844
Média	2,3261	Média	2,1247	Média	2,0744

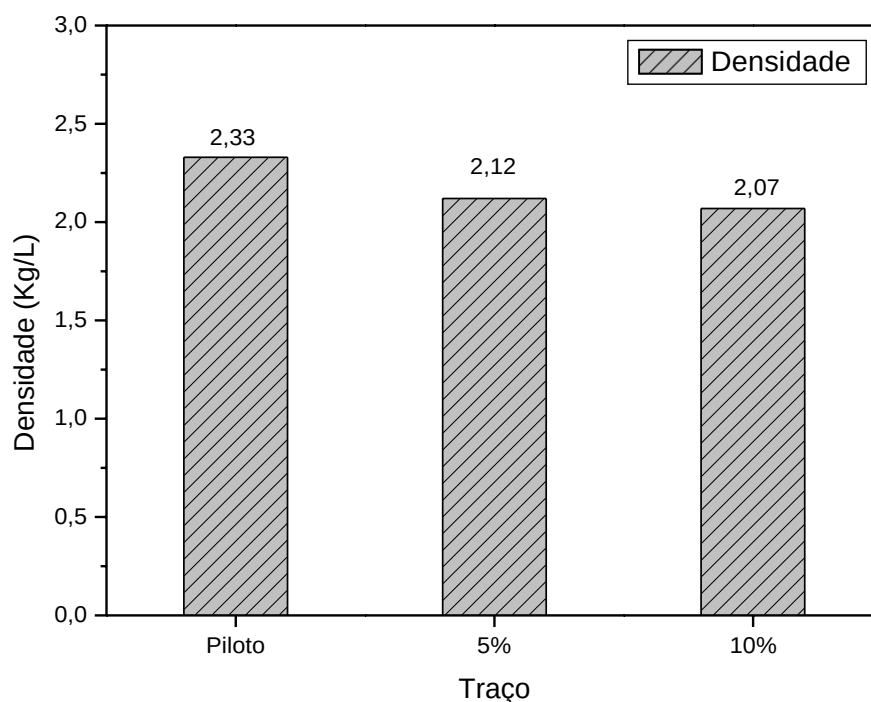


Figura 32 - Densidade dos blocos.

De acordo com os resultados de densidades dos blocos de concreto apresentados na Figura 32, verifica-se que a incorporação do resíduo de borracha de pneu resultou em uma menor densidade dos blocos. Observa-se uma diferença de 8,7% e 10,8% de densidade dos blocos de concreto com adição de 5% e 10%, respectivamente, em relação ao traço piloto. Esta redução pode estar associada a menor densidade do resíduo de borracha de pneu em relação a areia grossa, bem como a maior presença de poros apresentado na matriz cimentícia devido a baixa interação resíduo de borracha de pneu /Matriz, característica similar a encontrada por Raffoul et al. (2017) [77].

4.7 - Desempenho térmico

Foi realizado o estudo de desempenho de condutividade térmica dos blocos. A partir dos valores registrados pelos termopares, foi calculada a variação de temperatura entre as faces interna, próxima à fonte de calor e externa de cada bloco, dentro do intervalo de 0 a 600 minutos. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 33.

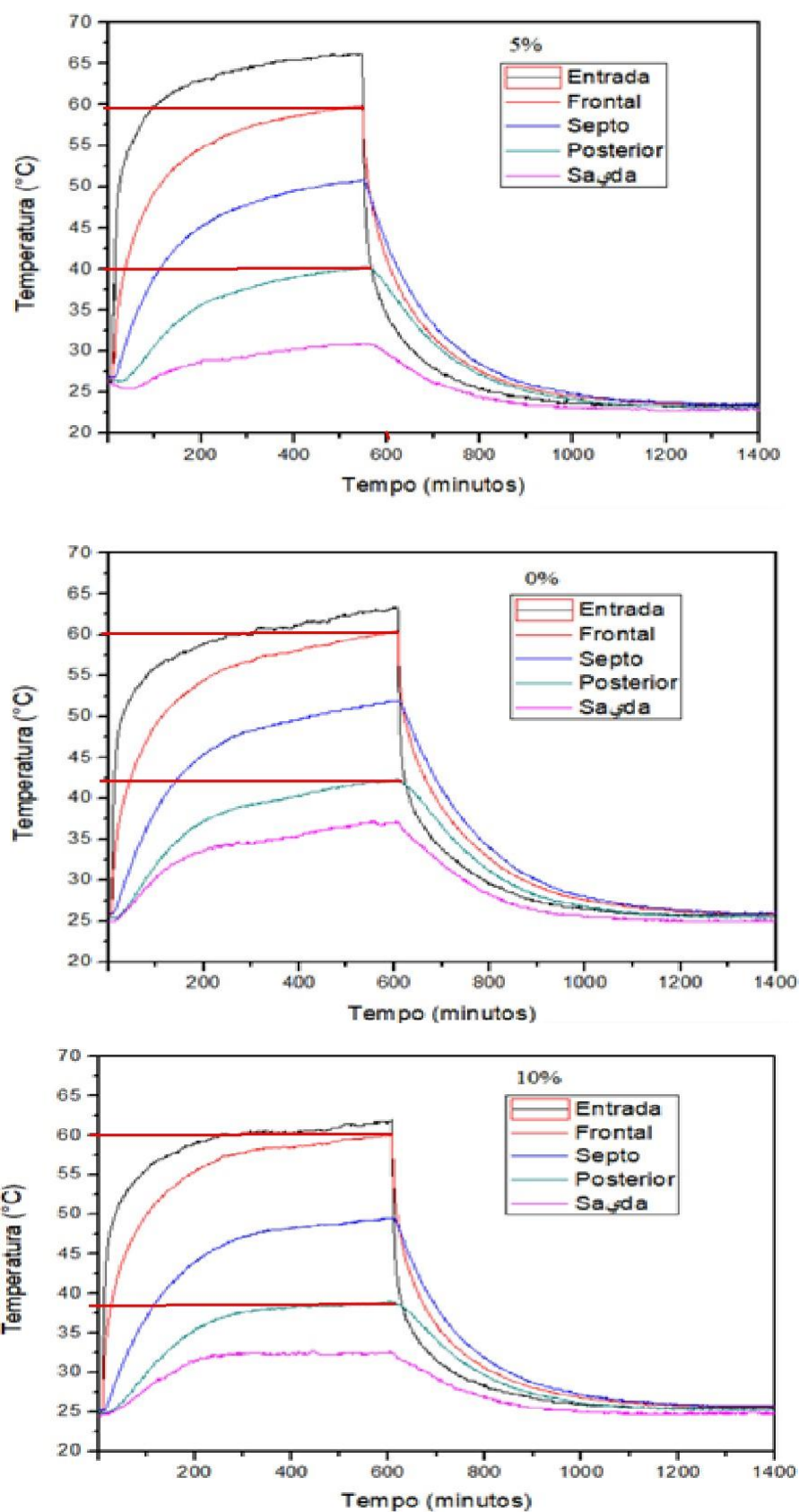
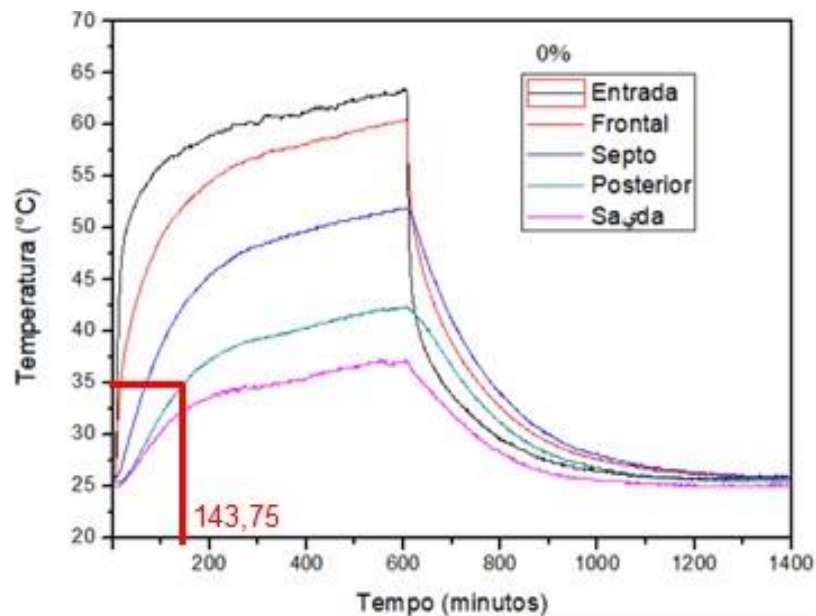


Figura 33 – Condutividade térmico dos blocos de concreto piloto, 5% e 10%.

O bloco piloto teve valores de resistência e condutividade térmicas de $R_P=0,3254 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $\lambda_P=0,2766 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, o bloco com 5% de resíduo teve uma resistência de $R_{5\%}=0,3534 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e condutividade de $\lambda_{5\%}=0,2547 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, seguido de 10%, com resistência igual a $R_{10\%}=0,3877 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e condutividade de $\lambda_{10\%}=0,2322 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Quando comparados os valores bloco piloto e 5%, houve uma melhoria na condutividade e resistência térmica de 8% e 8,4% respectivamente. Em relação ao bloco piloto/10%, a condutividade teve uma melhora de 16% e 19% na resistência térmica.

Outro quesito estudado foi a análise do tempo em que cada face levou até atingir a temperatura de 35 °C, representando o “atraso térmico” dos blocos. A Figura 34 refere-se respectivamente aos blocos I (Piloto), II (5%) e III (10%).



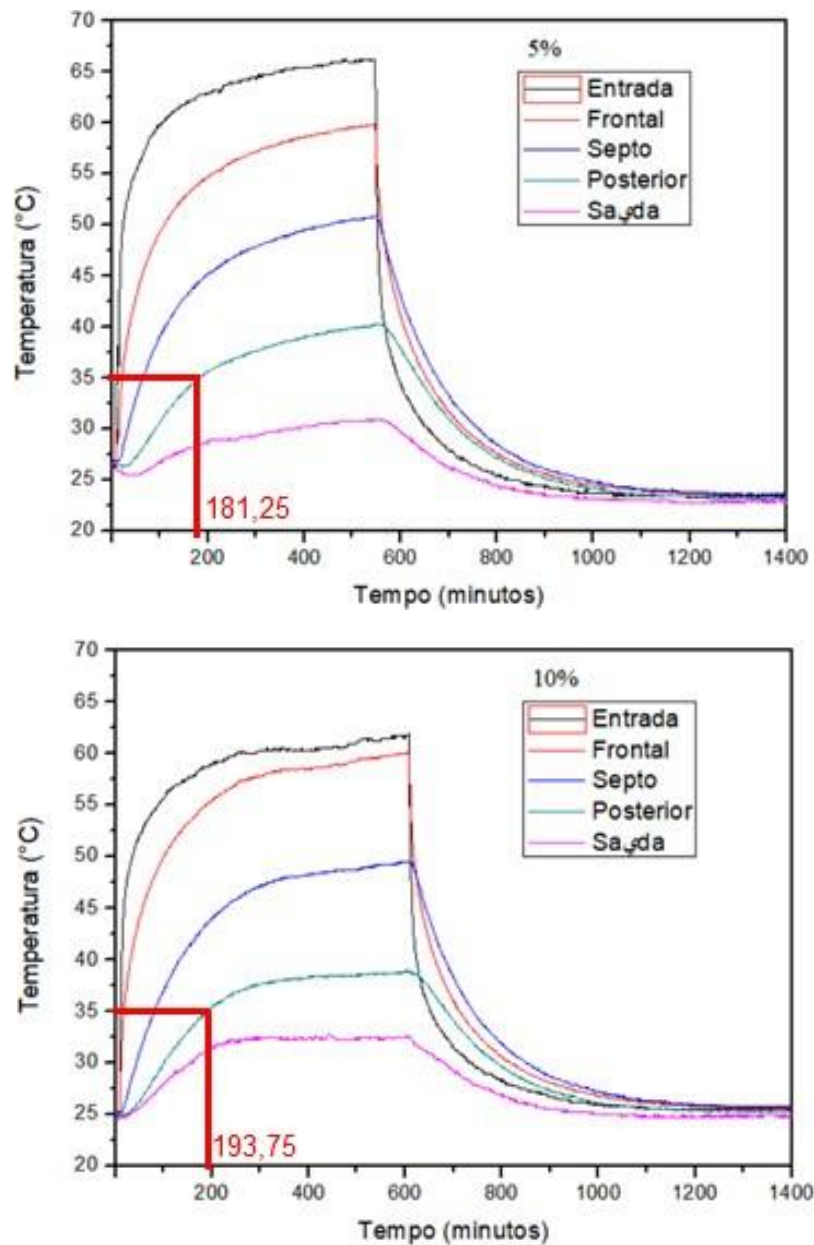


Figura 34 – Atraso térmico dos blocos de concreto piloto, 5% e 10%.

Pode-se observar que bloco piloto demorou 143,75 minutos para atingir 35 °C, o bloco de concreto com 5% de resíduo de borracha de pneu teve um atraso para 181,25 minutos e o bloco de concreto com 10% de resíduo de borracha de pneu para 193,75 minutos, sendo um atraso em relação ao piloto/5% de 37,5 minutos e piloto/10% de 50 minutos, indicando que a incorporação da borracha melhora a temperatura e tem capacidade de isolamento térmico, pois é um material polimérico e é passível a variações de temperatura, além de ter a tendência de repelir água, aumentando as partículas de ar dentro do material, e

reduzindo a transferência térmica. Houve também uma diminuição na taxa de transferência de calor através do bloco, que pode estar relacionado a borracha incorporada, que é um material isolante térmico, e este exposto a estudos cíclicos, pode ser considerado um material estável termicamente, sujeito a temperaturas ambientes [78-80].

4.8 - Desempenho acústico

Os valores obtidos no ensaio de comportamento acústico referentes à atenuação sonora para as frequências de 250 Hz, 1000 Hz e 4000 Hz estão dispostos na Figura 35.

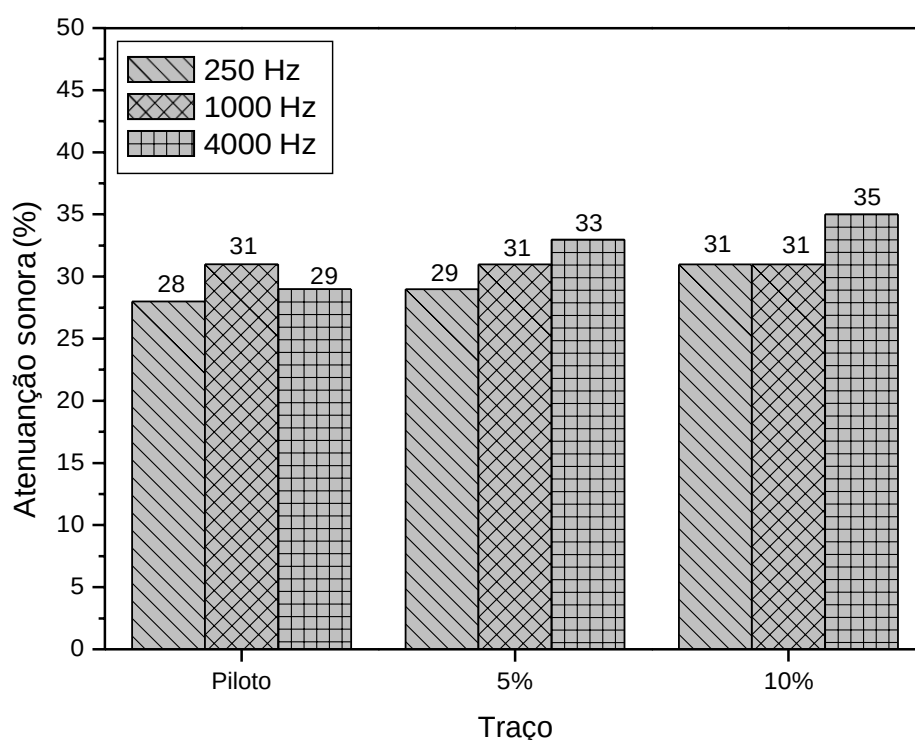


Figura 35 - Atenuação sonora dos traços com frequência de 250, 1000 e 4000 Hz

É possível observar que para as frequências de 250 e 1000 Hz (frequências baixa e média) houve um aumento sensível da atenuação sonora para os blocos contendo 5 e 10% de resíduo de pneu; para frequência de 4000 Hz (frequência alta) podemos observar que houve aumento na atenuação para todos os traços.

Esse aumento está associado às características como alta tortuosidade, porosidade, resistividade de fluxo e elasticidade por parte da borracha que contribui na absorção das vibrações sonora, já que os poros dificultam a passagem das ondas sonoras, sendo destacado que em estudos anteriores também foram estudadas as mesmas frequências, onde o som melhor absorvido foi nas frequências média e alta; outra característica importante presente na borracha proveniente de pneus é o negro de fumo incorporado em sua

manufatura, que tem influência na dispersão e difração das ondas sonoras transmitidas [81-85].

4.9 – Lixiviação e Solubilização

De acordo com a NBR 10005/2004, a lixiviação é definida como a determinação da capacidade de transferência de substâncias inorgânicas e orgânicas presentes nos blocos de referência e com adição de resíduo de borracha de pneu. A solubilização, NBR10006/2004, é realizada a fim de diferenciar os blocos classificados como classe II A (não inertes) e II B (inertes) [86, 87].

O Ensaio de extrato lixiviado foram conduzidos para o bloco de referência e o bloco de concreto com 10% de adição de resíduo, apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Concentração de metais no lixiviado das amostras piloto e 10% de Resíduo de Borracha de Pneu.

Resultados Físicos Químicos					
Parâmetro	Unidade	L.M.E.	L.Q.	Bloco Referência - Resultados	Bloco RBP - Resultados
Fluoreto	mgF/L	150,0**	0,01	2,33	1,65
% de Sólidos Secos	%	n.a	0,002	99,77	99,71
pH após Lixiviação	n.a	n.a	n.a	6,93	6,99
Tempo Total de Lixiviação	h	n.a	n.a	18,00	18,00
Volume dos Líquidos Obtidos	mL	n.a	1	490	490
Prata	mgAg/L	5,0*	0,002	< LQ	< LQ
Arsênio	mgAs/L	1,0	0,002	< LQ	< LQ
Bário	mgBa/L	70,0	0,01	0,41	0,41
Cádmio	mgCd/L	0,5	0,0002	< LQ	< LQ
Cromo	mgCr/L	5,0	0,005	0,01	< LQ
Mercúrio	mgHg/L	0,1	0,0001	< LQ	< LQ
Chumbo	mgPb/L	1,0	0,005	< LQ	< LQ
Selênio	mgSe/L	1,0	0,005	< LQ	< LQ
L.Q. = Limite de Quantificação. n.a. = Não Aplicável					

Analizando os resultados do extrato lixiviado do bloco de referência e com 10% de adição de resíduo de borracha de pneu, ambos apresentaram concentrações menor do valor máximo permitido para cada elemento químico. Os resultados do ensaio de lixiviação permitiram classificar as duas amostras como não perigosas.

A tabela 19 demonstra os resultados das análises de solubilidade dos blocos de referência e com adição de 10% de resíduo de borracha de pneu, comprovando que os metais não solubilizaram acima do limite máximo permitido (LMP) para cada elemento químico. As duas amostras são classificadas como classe II A, ou seja, não perigosas e não inertes.

Tabela 19 - Concentração de metais solubilizados das amostras piloto e 10% de resíduo de borracha de pneu.

Resultados Físicos Químicos					
Parâmetro	Unidade	L.M.E.	L.Q.	Blocos Resultados	Blocos RBP Resultados
Umidade	%	n.a	0,010	0,21	0,27
pH após Solubilização	n.a	n.a	n.a	10,20	9,42
Alumínio	mgAl/L	0,2	0,005	0,28	0,13
Arsênio	mgAs/L	0,01	0,002	< LQ	< LQ
Bário	mgBa/L	0,7	0,01	0,02	0,03
Cádmio	mgCd/L	0,005	0,0002	< LQ	< LQ
Chumbo	mgPb/L	0,01	0,005	< LQ	< LQ
Cianeto	mgCN/L	0,07	0,05	< LQ	< LQ
Cloreto	mgCl/L	250,0	1	< LQ	< LQ
Cobre	mgCu/L	2,0	0,005	< LQ	0,01
Cromo	mgCr/L	0,05	0,005	0,11	0,08
Fenóis totais	mg/L	0,01	0,001	< LQ	< LQ
Ferro	mgFe/L	0,3	0,01	0,24	0,08
Fluoreto	mgF/L	1,5	0,01	1,17	1,01
Manganês	mgMn/L	0,1	0,01	0,02	0,01
Merúrio	mgHg/L	0,001	0,0001	< LQ	< LQ
Nitrato	mgN/L	10,0	0,05	0,05	0,23
Prata	mgAg/L	0,05	0,002	< LQ	< LQ
Selênio	mgSe/L	0,01	0,005	< LQ	< LQ
Sódio	mgNa/L	200,0	0,05	10,85	11,63
Sulfato	mgSO ₄ /L	250,0	2,00	128,68	165,56
Surfactantes	mgLAS/L	0,5	0,10	< LQ	0,26
Zinco	mgZn/L	5,0	0,01	< LQ	0,05

L.Q. = Limite de Quantificação.

n.a. = Não Aplicável

L.M.E.= Limite Máximo no Extrato/Limite Máximo Permitido pela NBR 10006/2004

4.10 – Flamabilidade

Os blocos de concreto foram submetidos ao ensaio de flamabilidade para medir a resposta dos materiais ao calor e à chama sob condições controladas. Conforme a Tabela 20 e Figura 36, todos os corpos de prova não sofreram danos ao fogo, além de terem sido caracterizados pelo ensaio como auto extingüíveis, não propagando chamas, propriedade primordial para aplicação em edificações.

Tabela 20 – Resultado do ensaio à flamabilidade dos blocos de concreto piloto, 5% e 10% de resíduo de borracha de pneu.

Medida	Auto Extingüível	Distância de Queima (mm)	Tempo de Queima (s)	Velocidade de Propagação da Chama (mm/min)
AFK192054	Sim	0	0	0
AFK192055	Sim	0	0	0
AFK192056	Sim	0	0	0



Figura 36 – Blocos de concreto piloto, 5% e 10% de resíduo de borracha de pneu após ensaio de flamabilidade.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos através dos ensaios mecânico, térmico, acústicos, lixiviação e flamabilidade, conclui-se que a incorporação da borracha de pneu, além de produzir blocos mais leves e de encapsular tais resíduos inservíveis, promoveu melhorias no desempenho térmico no que se refere a atenuação da transmissão do calor pelos elementos produzidos com tal resíduo, e do aumento da inércia térmica, bem como maiores atenuações sonoras.

Em relação a densidade, a incorporação do resíduo de pneu aos blocos permite a produção de materiais até 11% menos densos em relação aos blocos produzidos de forma convencional.

A adição do resíduo de pneu promove um decréscimo nos valores de resistência mecânica dos blocos quando comparados ao piloto que não contém tal resíduo. No entanto, essa substituição, principalmente se tratando dos blocos produzidos com a substituição de 5%, gera melhorias significativas nos valores de resistência térmica, acústica e mecânica, sendo considerado o melhor traço.

O bloco com substituição de 10% de borracha de pneu obteve os melhores resultados quanto sua eficiência térmica e acústica, porém de acordo com a atualização das normas técnicas sobre resistências mínimas de blocos de concreto para vedações, o mesmo não conseguiu atingir as especificações. Mas, baseando-se na norma que antecede a vigente o mesmo bloco conseguiu atingir os valores necessários.

Conforme apresentado os resultados do extrato lixiviado do bloco de referência e com 10% de adição de resíduo de borracha de pneu, apresentou concentrações menor do valor máximo permitido para cada elemento químico classificando as duas amostras como não perigosas.

As análises de solubilidade dos blocos de referência e com adição de 10% de resíduo de borracha de pneu, classificadas como classe II A, ou seja, não perigosas e não inertes.

Os blocos de concreto foram também submetidos ao ensaio de flamabilidade para medir a resposta dos materiais ao calor e à chama sob condições controladas. Conforme os resultados todos os corpos de prova não

sofreram danos ao fogo, caracterizados como auto extingüíveis, não propagando chamas, sendo positivo para aplicação em edificações.

A partir de todo resultado exposto neste trabalho, conclui-se que os blocos de concreto com incorporação de borracha de pneu podem proporcionar melhores produtos para a construção civil e ao mesmo tempo contribuir para a diminuição do consumo de areias naturais, diminuindo o impacto ambiental, tanto pela extração dos insumos naturais, como pela diminuição dos descartes dos pneus na natureza, como também na diminuição do porte das estruturas e das fundações das edificações.

CAPÍTULO 6 – ANEXO A

Laudo técnico dos ensaios de resistência dos blocos com 0, 5 e 10% de adição de borracha de pneu, realizados no laboratório tecnológico de materiais – GERABITEC, trazendo detalhadamente os valores de cada bloco, sendo considerada a média de cada traço.



GERABTÉC Laboratório Tecnológico de Materiais.

Rua Gino Piron, 834 JD.Vale do Sol CEP: 19.063-700 Fone: (018) 3909 - 3000. Pres. Prudente - SP.

Relatório de ensaio de Resistência a Compressão em Blocos de Concreto Vazado

Interessado: Juliana Costa

Endereço: Rua José Medina Rodrigues, 411.

Cidade: Presidente Prudente - SP

0.1 Material ensaiado: Bloco Estrutural Vazado de Concreto 0% de resíduo de pneu.

Relatório nº: 18.814 /2019

Data de Fabricação: Mais de 28 dias.

Data do ensaio: 17/01/19

Números de amostras: 6

Tipo: Bloco Estrutural 9x19x39

0.2 Método de ensaio:

Os procedimentos de ensaio foram segundo a NBR 12118 – Blocos Vazados em Concreto simples para alvenaria estrutural - Determinação da resistência a compressão.

0.3 Equipamento:

Prensa EMIC Digital

Certificado de calibração Nº 24.787/2018 GIL.T ÉC INMETRO – RBC

Determinação da Resistência a Compressão – NBR 12118/2013

CP	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Área (cm ²)	P _{rup} (Kgf)	F _i (Mpa)
1	9	19	39	351	28.230	8,04
2	9	19	39	351	26.650	7,59
3	9	19	39	351	21.740	6,19
4	9	19	39	351	29.100	8,29
5	9	19	39	351	25.950	7,39
6	9	19	39	351	34.320	9,78
Média	9	19	39	351	27.665	7,88

Resistência Característica à Compressão (f_{ck})

As amostras ensaiadas atendem as especificações da NBR 6136 item 5.1.



Presidente Prudente, 17 de Janeiro 2019.

Gabriel Gerab
Eng.Civil
CREA -5063108169



GERABTÉC Laboratório Tecnológico de Materiais.

Rua Gino Piron, 834 JD.Vale do Sol CEP: 19.063-700 Fone: (018) 3909 - 3000. Pres. Prudente - SP.

Relatório de ensaio de Resistência a Compressão em Blocos de Concreto Vazado

Interessado: Juliana Costa

Endereço: Rua José Medina Rodrigues, 411.

Cidade: Presidente Prudente - SP

0.1 Material ensaiado: Bloco Estrutural Vazado de Concreto 10% de resíduo de pneu.

Relatório nº: 18.816 /2019

Data de Fabricação: Mais de 28 dias.

Data do ensaio: 17/01/19

Números de amostras: 6

Tipo: Bloco Estrutural 9x19x39

0.2 Método de ensaio:

Os procedimentos de ensaio foram segundo a NBR 12118 – Blocos Vazados em Concreto simples para alvenaria estrutural - Determinação da resistência a compressão.

0.3 Equipamento:

Prensa EMIC Digital

Certificado de calibração Nº 24.787/2018 GILT ÉC INMETRO – RBC

Determinação da Resistência a Compressão – NBR 12118/2013

CP	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Área (cm ²)	P _{rup} (Kgf)	F _i (Mpa)
1	9	19	39	351	9.270	2,64
2	9	19	39	351	10.170	2,90
3	9	19	39	351	9.300	2,65
4	9	19	39	351	10.980	3,13
5	9	19	39	351	11.030	3,14
6	9	19	39	351	9.650	2,75
Média	9	19	39	351	10.067	2,87

Resistência Característica à Compressão (f_{ck})

As amostras ensaiadas atendem as especificações da NBR 6136 item 5.1.



Presidente Prudente, 17 de Janeiro 2019.

Gabriel Gerab
Eng. Civil
CREA -5063108169



GERABTÉC Laboratório Tecnológico de Materiais.

Rua Gino Piron, 834 JD.Vale do Sol CEP: 19.063-700 Fone: (018) 3909 - 3000. Pres. Prudente - SP.

Relatório de ensaio de Resistência a Compressão em Blocos de Concreto Vazado

Interessado: Juliana Costa
Endereço: Rua José Medina Rodrigues, 411.
Cidade: Presidente Prudente - SP

- 0.1 Material ensaiado: Bloco Estrutural Vazado de Concreto 5% de resíduo de pneu
Relatório nº: 18.815 /2019
Data de Fabricação: Mais de 28 dias.
Data do ensaio: 17/01/19
Números de amostras: 6
Tipo: Bloco Estrutural 9x19x39

- 0.2 Método de ensaio:
Os procedimentos de ensaio foram segundo a NBR 12118 – Blocos Vazados em Concreto simples para alvenaria estrutural - Determinação da resistência a compressão.

- 0.3 Equipamento:
Prensa EMIC Digital
Certificado de calibração Nº 24.787/2018 GILT ÊC INMETRO – RBC

Determinação da Resistência a Compressão – NBR 12118/2013

CP	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Área (cm ²)	P _{rup} (Kgf)	F _i (Mpa)
1	9	19	39	351	23.030	6,56
2	9	19	39	351	23.470	6,69
3	9	19	39	351	17.800	5,07
4	9	19	39	351	19.650	5,60
5	9	19	39	351	18.190	5,18
6	9	19	39	351	17.380	4,95
Média	9	19	39	351	19.920	5,68

Resistência Característica à Compressão (f_{ck})

As amostras ensaiadas atendem as especificações da NBR 6136 item 5.1.



Presidente Prudente, 17 de Janeiro 2019.

Gabriel Gerab
Eng.Civil
CREA -5063108169

CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SAXENA, Shekhar; TEMBHURKAR, A. R. Impact of use of steel slag as coarse aggregate and wastewater on fresh and hardened properties of concrete. *Construction and Building Materials*, v. 165, p. 126-137, 2018.
- [2] DOS SANTOS, Anaaiara Varela; DE BORJA, Edilberto Vitorino. Avaliação das propriedades mecânicas de blocos intertravados com resíduo de pneu reciclado. **HOLOS**, v. 3, p. 52-60, 2007.
- [3] MEDINA, Nelson Flores et al. Mechanical and thermal properties of concrete incorporating rubber and fibres from tyre recycling. **Construction and Building Materials**, v. 144, p. 563-573, 2017.
- [4] FU, Chuanqing et al. Evolution of mechanical properties of steel fiber-reinforced rubberized concrete (FR-RC). **Composites Part B: Engineering**, v. 160, p. 158-166, 2019.
- [5] <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil> , acesso dia 07/10/2018.
- [6] KISKU, N. et al. A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. **Construction and Building Materials**, v. 131, p. 721-740, 2017.
- [7] JUNIOR, Baptista; VIEIRA, Joel; ROMANEL, Celso. Sustainability in the construction industry: a logistic for waste recycling of small works. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 2, p. 27-37, 2013.
- [8] NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. Brokman. ed 5, 2016.
- [9] ÂNGULO, C,S. JOHN, V. **Variabilidade de Agregados Graudos de Resíduos e Demolição de Reciclados**. Escola Politecnica de São Paulo – USP. 2000.
- [10] MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção Sustentável**. Disponível: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso 04 jun. 2017.
- [11] <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98965.pdf> acesso em 29/011/2018.
- [12] <http://www.redalyc.org/html/752/75212355006/>- UEAM sistema de informação científica ; red de revistas científicas de américa latina y el caribe, espana y Portugal, construção civil e degradação ambiental; Caroline das graças roth e carlos mello garcias).
- [13] ANGELIN, A. F. et al. Rubberized mortar: The influence of aggregate granulometry in mechanical resistances and acoustic behavior. **Construction and Building Materials**, v. 200, p. 248-254, 2019.
- [14] HERRERO, S.; MAYOR, P.; HERNÁNDEZ-OLIVARES, Francisco. Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster–rubber mortars. **Materials & Design**, v. 47, p. 633-642, 2013.
- [15] BARIČEVIĆ, Ana et al. Influence of recycled tire polymer fibers on concrete properties. **Cement and Concrete Composites**, v. 91, p. 29-41, 2018.
- [16] FRAILE-GARCIA, Esteban et al. Thermal behaviour of hollow blocks and bricks made of concrete doped with waste tyre rubber. **Construction and Building Materials**, v. 176, p. 193-200, 2018.
- [17] PAINE, Kevin A.; DHIR, Ravindra K. Research on new applications for granulated rubber in concrete. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials**, v. 163, n. 1, p. 7-17, 2010.

[18] RASHAD, Alaa M. A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 5, n. 1, p. 46-82, 2016.

[19] ISSA, Camille A.; SALEM, George. Utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concrete mix design. **Construction and Building Materials**, v. 42, p. 48-52, 2013.

[20] SIENKIEWICZ, Maciej et al. Environmentally friendly polymer-rubber composites obtained from waste tyres: A review. **Journal of cleaner production**, v. 147, p. 560-571, 2017.

[21] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO Nº 001, de 23 de janeiro de 1986**.

[22] SCHERER, Ronald J. **Method of making a concrete block**. U.S. Patent Application n. 15/847,190, 19 abr. 2018.

[23] SCHERER, Ronald J. **Method of making a concrete block**. U.S. Patent n. 9,855,678, 2 jan. 2018.

[24] JOHNSON, Jay et al. **Molds for producing concrete blocks with roughened surfaces; blocks made therefrom; and methods of use**. U.S. Patent n. 9,878,465, 30 jan. 2018.

[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.

[26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial*, Rio de Janeiro, 1991.

[27] NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. Brokman. ed 5, 2016.

[28] COSTA, Felipe Lima et al. Influence of the use of accelerating admixture based on calcium nitrate in the performance of fly ash blended Portland cement mortars. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 3, 2018.

[29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial*, Rio de Janeiro, 1991

[30] IMBAB, M.S. CARRIGAN, C.KENNA, M.S. **Trends and developments in green cement and concrete technology**. Review Artic FELIX, E. F.; POSSAN, E. Balance emissions and CO2 uptake in concrete structures: simulation based on the cement content and type. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, n. 1, p. 135-162, 2018.le2013.

[31] TEIXEIRA, J.S. FERNANDES, H.A. **Patology in masonry structural block ceramic**, Revista Pensar, 2015.

[32] ZHANG, Duo; LI, Victor C .; ELLIS, Brian R. Ótima idade de pré-hidratação para seqüestro de CO2 através da carbonatação de cimento Portland. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering** , 2018.

[33] SHARMA, Devender; GOYAL, Shweta. Cura por carbonatação acelerada de argamassas de cimento contendo poeira de forno de cimento: uma forma eficaz de sequestro de CO2 e redução da pegada de carbono. **Journal of Cleaner Production** , v. 192, p. 844-854, 2018.

[34] FELIX, E. F.; POSSAN, E. Balance emissions and CO2 uptake in concrete structures: simulation based on the cement content and type. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, n. 1, p. 135-162, 2018.

[35]<https://cimento.org/cimento-no-brasil/> acesso em 05/12/2018.

[36] <https://cimento.org/cimento-no-mundo-2013/> acesso em 05/12/2018.

[37] <https://cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures/> acesso em 10/12/2018.

[38] <http://snic.org.br/numeros-relatorio-anual.php> acesso em 10/12/2018.

[39] GOTTLIEB, Cassian; GÜNTHER, Tobias; WILSCH, Gerd. Impact of grain sizes on the quantitative concrete analysis using laser-induced breakdown spectroscopy. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, v. 142, p. 74-84, 2018.

[40] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do Cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.

[41] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**:Cimento Portland — Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

[42] NAVARRO, Rosa et al. Mechanical properties of alkali activated ground SiMn slag mortars with different types of aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 186, p. 79-89, 2018.

[43] < <https://www.astm.org/Standards/C33>> acesso em 11/12/2018.

[44] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**:Agregados para concreto---Especificações., Rio de Janeiro 2009.

[45] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Dossiê Técnico** :Agregados para concreto---São Paulo 2015.

[46] LUZ, A. B. da; ALMEIDA, S. L. M. de. **Manual de Agregados para Construção Civil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

[47] <http://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/101-perspectivas-para-o-setor-de-agregados> acesso em 17 de dezembro de 2018.

[48] SILVA, Allyson Leandro Bezerra. **Produção de concreto utilizando cinzas das indústrias de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

[49] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9936**: Agregados – Determinação do teor de partículas leves – Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013

[50] . ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

[51] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

[52] AQUILINA, Anne; BORG, Ruben Paul; BUHAGIAR, Joseph. The application of Natural Organic Additives in Concrete: Opuntia ficus-indica. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2018. p. 012016.

[53] AKIMOV, Luka et al. Influence of plasticizing and siliceous additives on the strength characteristics of concrete. In: **Applied Mechanics and Materials**. Trans Tech Publications, 2015. p. 461-468.

[54] RECHES, Yonathan. Nanoparticles as concrete additives: Review and perspectives. **Construction and Building Materials**, v. 175, p. 483-495, 2018.

[55] NAGROCKIENE, Dzigita; PUNDIENĖ, Ina; KICAITE, Asta. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties. **Construction and building materials**, v. 45, p. 324-331, 2013.

-
- [56] TOKYAY, Mustafa. **Cement and concrete mineral admixtures**. CRC Press, 2016.
- [57] DEBUS, Gerhard; GIRG, Friedrich; KNITTEL, Volker. **Additive for concrete or mortar and the use thereof**. U.S. Patent n. 4,265,674, 5 maio 1981.
- [58] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- [59] IKEDA, Yuko et al. Pneumatic Tire Technology. In: **Rubber Science**. Springer, Singapore, 2018. p. 155-191.
- [60] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –IBGE.**Nota técnica Estimativas da população dos municípios brasileiros**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 18/12/2018.
- [61] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS- ANIP. Disponível em <http://www.anip.org.br/anip-em-numeros/dados-gerais/> acesso em 18/12/2018.
- [62] ANTONIOU, N; ZABANIOTOU, A. Características de uma pirólise de pneus usados eficiente e ambientalmente atraente com recuperação de energia e material. **Revisões de Energia Renovável e Sustentável** , v. 20, p. 539-558, 2013.
- [63] LLOMPART, Maria et al. Produtos químicos orgânicos perigosos em playgrounds e pavers de borracha reciclados. **Chemosphere** , v. 90, n. 2, p. 423-431, 2013.
- [64] FERALDI, Rebe et al. Comparative LCA of treatment options for US scrap tires: material recycling and tire-derived fuel combustion. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 3, p. 613-625, 2013.
- [65] WANG, Tao et al. Energy consumption and environmental impact of rubberized asphalt pavement. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 139-158, 2018.
- [66] MEDINA, Nelson Flores et al. Composites with recycled rubber aggregates: Properties and opportunities in construction. **Construction and Building Materials**, v. 188, p. 884-897, 2018.
- [67] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 416, de 30 de setembro de 2009**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2009.
- [68] <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7102/2/Aprov-Industr-Pneus-Usados.pdf> acesso em 26/12/2018.
- [69] **Surface Modification of Tire Rubber Waste by Air Plasma for Application in Wood-Cement Panels (substituído na madeira- pinos)** MEDINA, Nelson Flores et al. Mechanical and thermal properties of concrete incorporating rubber and fibres from tyre recycling. **Construction and Building Materials**, v. 144, p. 563-573, 2017.
- [70] WANG, Jiaqing et al. Investigation of properties and performances of Polyvinyl Alcohol (PVA) fiber-reinforced rubber concrete. **Construction and Building Materials**, v. 193, p. 631-642, 2018.
- [71] FU, Chuanqing et al. Evolution of mechanical properties of steel fiber-reinforced rubberized concrete (FR-RC). **Composites Part B: Engineering**, v. 160, p. 158-166, 2019.
- [72] NAJIM, Khalid Battal; HALL, Matthew Robert. Crumb rubber aggregate coatings/pre-treatments and their effects on interfacial bonding, air entrapment and fracture toughness in self-compacting rubberised concrete (SCRC). **Materials and structures**, v. 46, n. 12, p. 2029-2043, 2013.

-
- [73] KASHANI, Alireza et al. Effects of surface treatments of recycled tyre crumb on cement-rubber bonding in concrete composite foam. **Construction and Building Materials**, v. 171, p. 467-473, 2018.
- [74] SI, Ruizhe et al. Evaluation of laboratory performance of self-consolidating concrete with recycled tire rubber. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 823-831, 2018.
- [75] GHENI, Ahmed A.; ELGAWADY, Mohamed A.; MYERS, John J. Mechanical Characterization of Concrete Masonry Units Manufactured with Crumb Rubber Aggregate. **ACI Materials Journal**, v. 114, n. 1, 2017.
- 76 KHALOO, Ali R.; DEHESTANI, M.; RAHMATABADI, P. Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles. **Waste management**, v. 28, n. 12, p. 2472-2482, 2008.
- [77] Raffoul S, Garcia R, Escolano-Margarit D, Guadagnini M, Hajirasouliha I, Pilakoutas K (2017) Behaviour of unconfined and FRP-confined rubberised concrete in axial compression. *Construction and Building Materials* 147:388-397.
- [78] RAJAGOPALAN, Srinath et al. On Mechanical and Thermal Properties of Concretes with Rubber as Partial Replacement to Well-Graded Conventional Aggregates. In: **Advances in Materials and Metallurgy**. Springer, Singapore, 2019. p. 57-65.
- [79] BENAZZOUK, A. et al. Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modelling. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 4, p. 573-579, 2008.
- [80] WONGSA, Ampol et al. Mechanical and thermal properties of lightweight geopolymer mortar incorporating crumb rubber. **Journal of Cleaner Production**, 2018.
- [81] SUKONTASUKKUL, Piti. Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 2, p. 1084-1092, 2009.
- [82] GANDOMAN, Marjan; KOKABI, Mehrdad. Sound barrier properties of sustainable waste rubber/geopolymer concretes. **Iranian Polymer Journal**, v. 24, n. 2, p. 105-112, 2015.
- [83] TOPCU, Ilker Bekir. The properties of rubberized concretes. **Cement and concrete research**, v. 25, n. 2, p. 304-310, 1995.
- [84] HAWORTH, Barry et al. Thermoplastic composite beam structures from mixtures of recycled HDPE and rubber crumb for acoustic energy absorption. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 31, n. 1, p. 119-142, 2018.
- [85] HOLMES, Niall; BROWNE, Alex; MONTAGUE, Christopher. Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement. **Construction and Building Materials**, v. 73, p. 195-204, 2014.
- [86] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR. 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- [87] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR. 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.