

# PRODUÇÃO DE BLOCOS ARGAMASSADOS COM ADIÇÃO DE GRÂNULOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA

JÉSSICA CRISTINA DE ABREU ROMÃO



**PRODUÇÃO DE BLOCOS ARGAMASSADOS COM ADIÇÃO DE  
GRÂNULOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS  
EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA**



JÉSSICA CRISTINA DE ABREU ROMÃO

**PRODUÇÃO DE BLOCOS ARGAMASSADOS COM ADIÇÃO DE  
GRÂNULOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS EM  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA**

1ª Edição

Quipá Editora  
2023

Copyright © dos autores e autoras. Todos os direitos reservados.

Esta obra é publicada em acesso aberto. O conteúdo dos capítulos, os dados apresentados, bem como a revisão ortográfica e gramatical são de responsabilidade de seus autores, detentores de todos os Direitos Autorais, que permitem o download e o compartilhamento, com a devida atribuição de crédito, mas sem que seja possível alterar a obra, de nenhuma forma, ou utilizá-la para fins comerciais.

Revisão e normalização: a autora.

Preparação e diagramação: Quipá Editora

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

R756p Romão, Jéssica Cristina de Abreu  
Produção de blocos argamassados com adição de grânulos de borracha de pneus inservíveis em substituição parcial da areia / Jéssica Cristina de Abreu Romão. — Iguatu, CE : Quipá Editora, 2023.  
49 p. : il.

ISBN 978-65-5376-283-1

1. Construção civil. 2. Blocos argamassados. 3. Pneus. 4. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 691

---

Elaborada por Rosana de Vasconcelos Sousa — CRB-3/1409

Obra publicada em dezembro de 2023

Quipá Editora  
[www.quipaeditora.com.br](http://www.quipaeditora.com.br)  
@quipaeditora

## PREFÁCIO

É com grande entusiasmo que introduzo este livro, "Produção de Blocos Argamassados com Adição de Grânulos de Borracha de Pneus Inservíveis". Nesta obra, exploramos uma abordagem inovadora e sustentável para a produção de materiais de construção, incorporando resíduos de pneus descartados.

Ao longo destas páginas, os leitores serão guiados através dos princípios fundamentais da produção de blocos argamassados, destacando os benefícios ambientais e econômicos da integração de grânulos de borracha provenientes de pneus inservíveis. Este livro não apenas aborda questões técnicas e práticas, mas também destaca o papel crucial que a sustentabilidade desempenha no cenário atual da construção civil.

Ao investir na utilização de materiais reciclados, não apenas reduzimos a pegada ecológica, mas também contribuímos para a promoção de práticas mais responsáveis no setor da construção. Espero que esta obra inspire profissionais da construção, pesquisadores e estudantes a considerarem novas perspectivas e a abraçarem soluções inovadoras para um futuro mais sustentável. Boa leitura!

*Jéssica Cristina de Abreu Romão*

# PRODUÇÃO DE BLOCOS ARGAMASSADOS COM ADIÇÃO DE GRÂNULOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS

*Jéssica Cristina de Abreu Romão*

## RESUMO

A sustentabilidade vem se tornando um método constante na construção civil. Diante desse fato, pode-se criar e aperfeiçoar vários métodos sustentáveis que possam vir a ser aplicados nesse setor, e que possam provar sua utilidade e até se tornarem praticas mais utilizáveis. Dentro do mercado da construção civil podem ser aproveitadas inúmeras técnicas que sejam desenvolvidas através da sustentabilidade e uma delas é a utilização do reaproveitamento dos resíduos sólidos. Existe no nosso país um grande problema com a questão do descarte desses resíduos sólidos, o que se torna viável a sua reutilização e aproveitamento evitando os problemas que possam vir a gerar no meio ambiente. Dentro desses resíduos sólidos se encontra os pneus inservíveis que são pneus que não podem mais ser utilizados e, muitas vezes, são descartados em locais indevidos causando muitos problemas, tais como o acúmulo de água, o que pode vir a ser um abrigo para mosquitos transmissores de doenças. Sendo assim, é possível juntar esses fatores e, nesse trabalho, se propõe a possível utilização de grânulos desses pneus inservíveis para a elaboração de blocos de concreto para o uso em alvenaria de vedação, o que poderia trazer uma solução para esse problema com o pneu inservível. Para realização dessa pesquisa é necessário o uso de métodos laboratoriais que possam vir a esclarecer a ficha técnica de todos os materiais envolvidos para a realização do estudo e, através desses ensaios, poder chegar a uma conclusão se é viável ou não, se atende as normas técnicas e se traz mais viabilidade em relação a outros blocos para mesma utilidade. O que foi desenvolvido nesse trabalho não possui agregado graúdo, apenas agregado miúdo, cimento, grânulos de borracha e água. Os grânulos de borracha vão ser aplicados parcialmente no lugar da areia, com uma porcentagem de 15%, 25% e 35% e observou-se que quanto maior a porcentagem de grânulos de borracha adicionados ao concreto, menor é a sua resistência. Palavras-chaves: Construções. Resíduos sólidos. Sustentabilidade. Blocos de concreto. Pneus inservíveis

## SUMÁRIO

**PREFÁCIO**

**RESUMO**

**CAPÍTULO 1** **07**

INTRODUÇÃO

**CAPÍTULO 2** **09**

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

**CAPÍTULO 3** **14**

MATERIAIS E MÉTODOS

**CAPÍTULO 4** **35**

RESULTADOS E DISCUSSÕES

**CAPÍTULO 5** **45**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

**REFERÊNCIAS** **46**

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é uma forma que a sociedade achou de poder colaborar para o meio ambiente e para as gerações futuras garantindo evitar a escassez de recursos naturais. Sendo assim, com essa ideia de sustentabilidade, é possível desenvolver métodos que possam vir a cumprir a promessa de escassez dos recursos naturais poupando-os.

Na construção civil é possível observar que existem alguns métodos de sustentabilidade que vêm sendo postos em prática, entretanto, a construção civil ainda é um dos mercados que mais consome recursos naturais. Assim, essa ideia de sustentabilidade vem como uma forma de diminuir o uso desses recursos. Dentro do mercado da construção civil pode-se observar que existem várias possibilidades de fazer o uso de métodos sustentáveis de forma com que possam ser analisados e testados por meio de ensaios laboratoriais que venham a provar sua viabilidade.

Existe no Brasil um problema que vem preocupando todos os meios sociais que é o descarte de resíduos sólidos. Dentre esses resíduos sólidos se encontram os pneus inservíveis, que são pneus impossibilitados de serem reusados para automotivos. Esses pneus, na maioria das vezes, são dispostos em locais inapropriados o que causa um grande problema para a sociedade pois, podem vir a acumular água, sendo foco para transmissão de várias doenças, causando um prejuízo para os meios social e econômico do país.

Outra forma de descarte indevido que acontece associado a pneus é a queima deles, o que pode fazer muito mal para a saúde de quem inalar essa fumaça, isso por que o pneu é composto de vários componentes que possuem aditivos químicos que colocam em risco a saúde humana, sendo essa fumaça também responsável por gases poluentes para o meio ambiente.

Em busca da solução desse problema associado à construção civil, a presente pesquisa pretende utilizar pneus na confecção de alvenaria de vedação. Esta tem a função de separar ambientes externos e internos, ou seja, é uma parede que divide ambientes de



uma edificação. Essas paredes são projetadas para suportarem apenas seu próprio peso. Para a formação dessa alvenaria de vedação pode-se fazer o uso de blocos de concreto, dentre outros.

Dentro desse contexto, com o problema do descarte de pneus inservíveis, a ideia desse trabalho é confeccionar blocos de concreto para uso em alvenaria de vedação com o uso de grânulos de borracha de pneus inservíveis. Nessa produção não se vai fazer uso de agregados graúdos, somente areia, cimento, borracha e água. Junto com os blocos também vão ser confeccionados corpos de prova a fim de testar sua resistência. Os blocos de concreto vão ser confeccionados parcialmente com o uso da borracha triturada e no lugar da areia.

O uso de pneu na produção desses blocos reforça mais ainda o papel social de desenvolver a sustentabilidade, já que esse tipo de bloco é um exemplo de material que pode vir a servir para aplicações em alvenaria e seu processo de execução se encaixa no perfil de um material sustentável, sendo capaz de colaborar com o meio ambiente e com a sociedade.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Confeccionar e comparar os blocos de concreto com adição de grânulos de borracha parcialmente no lugar da areia, sem uso de agregado graúdo, com blocos de concreto convencionais.

### **Objetivos específicos**

- Elencar os princípios da sustentabilidade na construção civil;
- Descrever os problemas do descarte indevido de pneus inservíveis;
- Produzir blocos de concreto sem o uso da borracha;
- Produzir blocos de concreto com o uso parcial da borracha;
- Relatar os ensaios necessários para produção de blocos de concreto;
- Descrever as características técnicas encontradas nos blocos produzidos.

## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **PRINCÍPIOS DA SUSTENTABILIDADE**

Com o passar do tempo, tem-se observado que a sustentabilidade vem sendo cada vez mais empregada em todas as áreas possíveis. Com isso, é permitido o desenvolvimento de métodos que estão facilitando a entrada da sustentabilidade especificamente na área da engenharia civil.

De acordo com a ABNT NBR 10004: 2004 resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

Para Andrade (2007) o problema com o destino dos resíduos sólidos é uma questão preocupante, e só pode ser solucionada com a ajuda de toda a sociedade, pois deve haver um grande empenho de todos, não apenas pelo poder público, e sim toda a sociedade deve se conscientizar e colaborar com engajamento para que essa questão possa ser resolvida.

Segundo Andrade (2007) é necessário que exista uma atitude mais bem pensada em relação a disposição final dos resíduos sólidos, encontrando uma forma de diminuir a produção destes, e também tentar inserir uma forma de reaproveitamento desses resíduos para que possa ser reciclado ou reusado. É importante e necessário que todos os países se auto conscientizem com esse problema para que possa haver um engajamento maior com a diminuição da geração dos resíduos sólidos, porém essas atitudes vão de controvérsia com a busca incansável que cada país vem fazendo para se desenvolver cada vez economicamente. O uso de métodos sustentáveis aplicados na engenharia civil além de colaborar com o meio ambiente pode vim acarretar em um desenvolvimento econômico maior, pois existe inúmeras possibilidades de reaproveitamento de resíduos sólidos.

Segundo Farias (2015), para atender o aumento da população que cresce constantemente, é necessária uma maior produção de produtos industrializados e, para reduzir custos e estimular o consumismo, são produtos com a vida útil bastante curta e que

em muitos casos são desprezados de maneira inadequada. Porém, há uma busca para utilizar esse material de forma correta e lucrativa e que não agrida o meio ambiente.

Para Silva (2014), a sustentabilidade é a melhor solução tanto para a economia quanto para a proteção e preservação do meio ambiente, e os métodos sustentáveis podem ser uma forma de melhorar a indústria da construção civil.

De acordo com Mikhailova (2004), a sustentabilidade é o que habilita o homem a se desenvolver de forma que ele se torne competente para se sustentar, e se manter sem agredir o meio ambiente, denominando de atividade sustentável aquela que, com a ajuda dos métodos desenvolvidos pelo homem, pode ser preservada para sempre. Com o aproveitamento desses recursos naturais sendo feito de forma responsável para ser sustentável, durará para sempre. Uma sociedade capaz de ter o foco sustentável não colabora para a deterioração do meio ambiente. O desenvolvimento sustentável é responsável pela melhoria na qualidade de vida do homem em relação a natureza, incluindo a confecção de blocos de concreto que venham a alcançar objetivos sustentáveis.

Assim, na construção civil é fácil perceber que pode-se aproveitar de forma ampla o uso da sustentabilidade ambiental, podendo-se ser colaborador do meio ambiente, conservando-se e poupando-se seus recursos naturais para o futuro.

Segundo Catiane e et al.(2013), o uso de material reciclável tem sido bem utilizado na construção civil e vantajoso para a preservação do meio ambiente, pois está sendo dado um destino adequado para esses utensílios e economizando o uso de matéria prima. Os destroços das demolições de edifícios, da fabricação e utilização de plásticos, as cinzas dos fornos, descartes de pneus usados são estudados para uso em técnicas e processos de fabricação de componentes de construções em diversos países.

Existe um conflito entre a sociedade atual e questões socioambientais, as quais não podem mais esperar uma solução, pois já existe um acúmulo de problemas que precisam ser solucionados para o próprio bem-estar dessa sociedade. O maior desses problemas é a destinação final dos resíduos sólidos produzidos pelo homem, essa é uma questão ainda sem muitas respostas (ANDRADE, 2007).

Uma forma de diminuir os danos ambientais seria reduzir o consumo de matérias primas naturais, porém a redução desse consumo para o mercado da construção civil acarretaria em um desequilíbrio na economia, afetando também os empregados com o desemprego, e uma redução de investimentos ocasionados pela queda do percentual de construções (SILVA, 2014).

Para Mendonça (2010) a sustentabilidade empregada à construção civil tem uma função de extrema importância, sendo a indústria da construção, umas das mais constantes em ascensão. Gerando um grande dano ao meio ambiente com a extração de matérias primas diretamente da natureza, produção e transporte de materiais, construção de edifícios e consequente ocupação de terras, geração de grande quantidade de resíduos sólidos, entre outros.

Como podemos perceber no dia a dia o setor automobilístico tem lançado novos modelos em pouco tempo, e existiu uma facilidade para a compra através de financiamentos, aumentando o número de pneus assim gerando grande prejuízo ambiental com destinos inadequados que são dados aos pneus usados.

De acordo com toda pesquisa realizada anteriormente é possível entender que a aplicação da sustentabilidade dentro do meio da construção civil iria gerar economia para os investidores, pois podem diminuir os produtos industrializados por resíduos fáceis de encontrar e com custos baixos, alguns até sem custo, apenas com emprego da mão de obra para utilizar esses resíduos. Os métodos sustentáveis não são tão aplicados o quanto se espera que sejam, isso por resistência de muitas empresas que não optam por esses métodos com receio nos resultados e também por falta de interesse em adquirir esse meio. Na construção civil a sustentabilidade ainda é muito comentada, mas pouco aplicada, o que está faltando é o estudo e sensibilização dos danos causados ao meio ambiente com o uso impulsivo dos recursos naturais. Mesmo sabendo que o problema com resíduos sólidos existe, não são todas as empresas relacionadas à construção civil que tem a boa vontade de adotar métodos sustentáveis para ajudar nessa causa, faltam iniciativas que obriguem a todos a fazer uso desses recursos de maneira saudável para a natureza.

## **RESÍDUOS E DESCARTE DE PNEUS**

De acordo com Silva et al. (2017) um dos grandes desafios do homem é a solução para a imensa quantidade de resíduos sólidos produzidos, o lixo se torna um problema quando não se tem o destino adequado provocando prejuízos ao meio ambiente.

Segundo Mota (2008), o despejo inadequado de resíduos é um problema ambiental que ainda não foi resolvido, embora existam tentativas para diminuir esse impacto que, por sua vez, é gerado pela sociedade de consumo. Sendo assim, a proposta de reutilizar esses resíduos sólidos vem sendo tema de muitos trabalhos acadêmicos que estão sendo

utilizados para o estudo do comportamento desses mesmo materiais com a proposta de uso.

Um resíduo sólido que vem se destacando pelo seu tempo de decomposição é o pneu. Isso se dá pelo crescimento acelerado do mercado automobilístico, e com isso, vem aumentando o descarte indevido desse material. Nesse sentido, conforme Bertollo (2002, p. 38),

A disposição final de pneus inservíveis representa um problema de difícil solução, o que evidencia a necessidade da elaboração de medidas para minimizar a geração dos mesmos. O aumento da duração de vida útil de um pneu e o aprimoramento das técnicas de recauchutagem, que prolonga a vida da carcaça, são dois fatores que permitem reduzir a geração desses resíduos e o número de pneus a dispor corretamente.

Segundo o CONAMA (1999), os pneus que não podem mais ser reutilizados e são abandonados em locais indevidos, ou seja, em ambientes inadequados, colocam em risco a saúde pública e o meio ambiente especialmente no que concerne à transmissão de doenças como dengue e febre amarela. Esses pneus não podem mais ser reutilizados por veículos e nem para processos de reforma, tais como recapagem, recauchutagem e remoldagem.

No Brasil existe uma lei que institui a política nacional de resíduos sólidos, essa Lei no 12.305 de 2 de agosto de 2010 vem alterar outra Lei de no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, falando que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos devem ser observados a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Fala também que a destinação final desses resíduos sólidos deve ser adequada de forma que não cause danos ao meio ambiente, e cita alguns meios como opções de destino final tais como a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos responsáveis.

A construção civil é uma das indústrias que mais faz uso de recursos naturais e, sendo assim, gerando grande impacto ambiental. Por esse motivo vem se preocupando com a sustentabilidade. Por outro lado, o descarte de pneus inservíveis é um dos maiores problemas para o meio ambiente, gerando impactos para a natureza, nos últimos anos vem se desenvolvendo esforços para melhorar e reverter essa situação (RODRIGUES SANTOS, 2013).

Embora exista uma supervisão diante do descarte desses pneus inservíveis, pode-se notar que ainda existe muita falha, ou seja, ainda é possível encontrar pneus

descartados de forma indevida em muitos locais que não favorecem a sua decomposição.

O pneu é um dos resíduos sólidos que mais demora para se decompor. Esse tempo de decomposição é indeterminado e sua queima libera gases poluentes que podem chegar a causar doenças em pessoas que os inalam. Exemplo desses poluentes são as Dioxinas que é um dos compostos químicos mais perigosos que o homem já produziu. No homem podem vim a causar câncer e infertilidade. Por esses motivos é que os pneus inservíveis são um grande problema para todos.

A Lei no 10651 de 18 de março de 2016, dispõe sobre o recolhimento e a destinação dos pneus inservíveis no estado da Paraíba e dá outras providências, fala sobre vários fatores que vem ajudando a destinação final de pneus no estado. A referida lei cita que estabelecimentos comerciais que manuseiam pneus inservíveis são obrigados a possuir locais seguros para esses pneus. Os estabelecimentos comerciais também devem alertar consumidores sobre o perigo que podem vir a ter caso esses pneus inservíveis sejam descartados de formas indevidas. Todo estabelecimento comercial que trabalha com uso desses pneus deve se colocar à disposição para receber os mesmos, caso o consumidor queira deixar esse descarte por responsabilidade do estabelecimento.

Existe uma parceria entre a Prefeitura Municipal de João Pessoa, através da Autarquia Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), com as prefeituras da região Metropolitana da Capital que visa atender o descarte correto desses pneus que são deixados em locais indevidos e em borracharias dessas cidades que são elas Bayeux e Santa Rita. Esses pneus são recolhidos e armazenados no Bairro Varadouro na Capital João Pessoa de onde eles devem sair para um ponto de coleta no estado do Rio Grande do Norte (RN). O transporte desse material para o RN é feito pela Associação Reciclanip, ao chegar no destino esses pneus recebem a destinação ambiental adequada (EMLUR, 2017).

Esses municípios ficam com a responsabilidade de a cada 45 dias disponibilizar meios que possibilitem essa coleta. Esses meios são servidores para serviço de carregamento dos pneus para as carretas, e esses serviços passam por processo de revezamento para não sobrecarregar e não prejudicar nenhum dos municípios e também para não atrapalhar a coleta. Na cidade de João Pessoa os pneus são recolhidos pela EMLUR, fazendo uso do caminhão do Projeto Cata Treco. Essa retirada é feita apenas em pontos específicos de alguns bairros, o que ainda não é o suficiente para recolher todos os pneus espalhados indevidamente pela capital do estado da Paraíba.

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA DO TRABALHO**

O presente estudo foca em desenvolver blocos de concreto sem o uso de agregados graúdos, e apenas com o uso parcial de 15 %, 25 % e 35 % de grânulos da borracha de pneus em substituição da areia. Trata-se de uma pesquisa do tipo explicativa porque foi voltada a relatar e explicar o fenômeno aplicado à confecção de blocos de concreto sem uso de agregado graúdo.

A coleta de dados partiu da obtenção de resultados coletados no laboratório de materiais localizado no Centro Universitário de João Pessoa. A abordagem adotada foi do tipo quali-quantativa, pois foram realizadas tabelas, gráficos, além de quadros e análises descritivas do método laboratorial desenvolvido.

#### **OBTENÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA**

##### **GRÂNULOS DE BORRACHAS**

Os grânulos de borracha de pneu são produzidos a partir de uma coleta dos próprios pneus inservíveis descartados indevidamente e também de pneus impróprios para veículos (Figura 1). A borracha é moída e triturada em diversos tamanhos com a ajuda de trituradores.

Os grânulos de pneus possuem muitas utilidades, dentre elas, sua junção com outros materiais para a construção de asfaltos e ferrovias e também na geração de energia para fornos de cimento (Figura 2).

Figura 1: Descarte indevido de pneus inservíveis



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Figura 2: Grânulos de borracha de pneus inservíveis



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Para esse trabalho os grânulos de borracha foram adquiridos diretamente de uma empresa localizada na cidade de Campina Grande PB, a qual fornece esse material já triturado e limpo, ou seja, sem outros resíduos agregados.



## CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland, segundo o guia básico de utilização do cimento Portland (2002), é um material com espessura fina que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes. É importante fazer seu uso de forma correta, pois o mesmo é o maior responsável pela transformação da mistura dos materiais componentes.

Ha tempos havia no Brasil, praticamente, um único tipo de cimento Portland. Com a evolução dos conhecimentos técnicos sobre o assunto, foram sendo fabricados novos tipos. A maioria dos tipos de cimento Portland hoje existente no mercado serve para o uso geral. Alguns deles, entretanto, têm certas características e propriedades que os tornam mais adequados para determinados usos, permitindo que se obtenha um concreto ou uma argamassa com a resistência e durabilidade desejadas, de forma bem econômica. (Guia básico de utilização do cimento Portland 2002, p.5)

A Norma Brasileira NBR 16697 (ABNT, 2018), fez uma associação de todas as outras normas anteriores que falavam sobre Cimento Portland e estabeleceu as regras que definem a designação, sigla e resistência de cada tipo de cimento, a figura 3 mostra uma tabela com os tipos de cimentos Portland.

Figura 3: Tipos de Cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de Resistência	Sufixo		
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 <sup>a</sup>	RS <sup>a</sup> ou BC <sup>b</sup>		
	Com adição	CP I – S				
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II – E				
	Com material carbonático	CP II – F				
	Com material pozolânico	CP II – Z				
Cimento Portland de alto-forno		CP III				
Cimento Portland pozolânico		CP IV				
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI <sup>d</sup>			
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 <sup>c</sup>			
	Não-estrutural	CPB	-	-		

a. O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

b. O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

c. As classes 25, 32 e 40 representam os mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (Mpa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

d. Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPA, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: ABNT NBR 16697:2018

O cimento utilizado nesse trabalho foi o cimento Portland composto (Figura 4). Esse tipo de cimento possui adições e pode ser classificado de acordo com a norma ABNT NBR 11578:1991.

Figura 4: Tipos de Cimento Portland Composto

Sigla	Classe de resistência	Componentes (% em massa)			
		Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
CPII-E	25	94-56	6-34	—	0-10
	32				
	40				
CPII-Z	25	94-76	—	6-14	0-10
	32				
	40				
CPII-F	25	94-90	—	—	6-10
	32				
	40				

Fonte: ABNT NBR 11578:1991

O cimento composto utilizado nesse trabalho foi o CP II F. Ele é usado para uso geral e um dos mais utilizados no Brasil. Esse material foi fornecido pelo laboratório de Engenharia civil da instituição que adquiriu o produto da empresa Cimpor - Cimentos do Brasil Ltda - localizada na cidade de João Pessoa - PB.

## AREIA

A areia é um material fundamental para construção civil, a mesma pode ser encontrada em diversas granulometrias: finas, médias e grossas com finalidades diferentes entre si. É necessário saber exatamente qual tipo de areia é o correto para cada tipo de serviço realizado, pois uma má escolha pode comprometer a qualidade da obra em questão. A areia utilizada nesse trabalho foi fornecida pelo laboratório de Engenharia da faculdade (Figura 5), cuja procedência é a Casa do Material de Construção, localizada no bairro da Torre, na cidade de João Pessoa.

A areia antes de ser usada deve ser limpa e peneirada, se necessário. Não se deve permitir que contenha, junto da areia, quantidade prejudiciais de impurezas. Depois da determinação do módulo de finura é que se pode classificar essa areia como fina, média ou grossa.

Figura 5: Areia usada no Experimento



Fonte: Acervo pessoal (2019)

## **Água**

A água utilizada para realização dos procedimentos mencionados nesse trabalho, foi disponibilizada e fornecida pelo laboratório de Engenharia civil da instituição de ensino UNIPÊ e sua origem advém da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (Cagepa).

## **Definição do Traço**

O traço definido para esse trabalho foi tirado da norma ABNT NBR 7215-1996- Cimento Portland- Determinação da Resistência à Compressão. A tabela 1 mostra os traços já definidos com as porcentagens de 15 %, 25 % e 35 %. A relação de água/cimento usada foi um.

Tabela 1: Quantidade de material para cada traço

Traços	Cimento (kg)	Areia (Kg)	Borracha (kg)
Traço Ref.	1	3	0
T-C	10,5	31,5	0
T-15%	10,5	26,775	4,725
T-25%	10,5	23,625	7,875
T-35%	10,5	20,475	11,025
Soma	42	102,375	23,625

Fonte: Acervo pessoal (2019)

O uso da betoneira foi essencial na produção do material deste estudo (figura 6). Assim, foram produzidos três corpos de provas e três blocos para cada traço. Ao todo foram confeccionados doze corpos de provas e doze blocos (Figura 7).

Figura 6: Betoneira com capacidade de 130 litros



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Figura 7: Corpos de prova confeccionados



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Figura 8: Blocos de concreto confeccionados



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Corpos de prova e blocos de concreto (Figura 8) foram confeccionados para a obtenção dos resultados objetivados nesta pesquisa.

### **Ensaio realizados**

Foram produzidos alguns ensaios com o objetivo de conhecer mais as características dos materiais utilizados. E todos foram realizados de acordo com as normas da ABNT de que se tratam (Tabela 2).

Tabela 2: Normas usadas para esse trabalho

ENSAIOS	NORMAS TÉCNICAS
GRANULOMETRIA	NBR NM 248:2003
MASSA ESPECÍFICA	NBR/NM 52:2009
MASSA UNITÁRIA	NBR NM 45:2006
ABSORÇÃO	NBR 12118:2013
COMPRESSÃO	NBR 5739:2007

Fonte: Acervo pessoal (2019)

### Ensaio de granulometria da borracha e areia

O ensaio de granulometria foi feito de acordo com a NBR NM 248:2003 que trata de agregados - determinação da composição granulométrica. Para esse ensaio foram necessárias as seguintes aparelhagem:

- Estufa capaz de manter a temperatura no intervalo de  $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ;
- Peneiras das séries normal e intermediária, com tampa e fundo;
- Balança com resolução de 0,1% da massa da amostra de ensaio;
- Bandejas;
- Agitador mecânico de peneiras;
- Escova de cerdas macias.

A tabela 3 foi tirada da norma NBR NM 248:2003, onde contém a massa mínima da amostra correspondente para cada dimensão nominal de agregado. De acordo com a referida tabela, foi retirada a quantidade de material utilizado para a realização do ensaio de granulometria, tanto para a borracha quanto para a areia.

Tabela 3: Dimensão nominal dos agregados

DIMENSÃO MÁXIMA NOMINAL AGREGADO (mm)	MASSA MÍNIMA DA AMOSTRA DE ENSAIO (kg)
<4,75	0,3
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300
Após secagem	

Fonte: Adaptado da NBR NM 248:2003

Foram pesadas duas bandejas que serão denominadas de M1 e M2, cada uma com 1kg de borracha (Figura 9). Essas bandejas foram levadas para a estufa para secar o material com temperatura entre 105° - 110°C por 24 horas (Figura 10). Logo em seguida foram retiradas da estufa para esfriar em temperatura ambiente.

Figura 9: Pesagem dos grânulos de borracha para granulometria



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Figura 10: Estufa usada para o ensaio



Fonte: Acervo pessoal (2019)

A borracha contida na bandeja M1 foi usada no processo de peneiramento, onde foram encaixadas as peneiras de malhas de 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$  no agitador mecânico de peneiras de forma decrescente de cima para baixo com tampa e fundo (Figura 11), onde foi vibrado durante 5 minutos, tempo estipulado na norma para que haja a separação e classificação dos grãos da amostra. A bandeja M2 ficou reservada para ser realizado experimento semelhante.



Figura 11: Peneiras no agitador de peneiras



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Depois desse processo, as peneiras foram retiradas do agitador mecânico e foi colocada a quantidade retida em cada peneira e fundo em uma bandeja, que foram pesadas para fazer o somatório e verificar a porcentagem deferida (Figura 12).

Figura 12: Grânulos de borracha após o peneiramento



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Verificou-se que esse somatório não ultrapassou os 0,3% da amostra inicial o que é proposto na norma. Em seguida esse mesmo procedimento foi realizado para os grânulos de borracha da bandeja M2. Procedimento semelhante foi realizado para o ensaio de granulometria da areia onde o somatório das peneiras também não deferiu mais de 0,3% da amostra inicial (Figuras 13 e 14).

Figura 13: Pesagem da areia para granulometria



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Figura 14: Areia após o peneiramento



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Para esse trabalho foi escolhido - tanto para borracha quanto para a areia -, trabalhar com o material passante na peneira 30 e retido na peneira 50, ou seja, já que esse trabalho faz testes do uso dos grânulos de borracha usados parcialmente no lugar da areia, optou-se em usar a mesma granulometria para ambos os materiais possibilitando um resultado mais preciso.

## **Ensaio de massa específica da borracha e da areia**

Para realização desse ensaio são necessários os seguintes equipamentos:

- Frasco de Le Chatelier (para a borracha);
- Frasco de Le Chapman (para a areia);
- Borracha;
- Concha;
- Funil;
- Recipiente;
- Querosene;
- Balança com capacidade para até 5 kg e sensibilidade de 1 g ou menos;
- Proveta.

Para realizar o ensaio de massa específica dos grânulos de borracha foi usado ao invés da água o querosene, pois diferente da areia, a borracha flutua na água, ou seja, ela não afunda e fica boiando na superfície do recipiente o que impossibilita o objetivo do ensaio. Já com o querosene, a borracha afunda, e assim se torna possível a sua decantação.

Foi separado 70 g de grânulos de borracha que foram peneirados e levados para a estufa para secar em uma temperatura de 100°C por 24 horas (Figura 15). Em seguida foi adicionada a borracha, com o auxílio do funil, ao frasco de Le Chatelier que continha querosene até a marca de número zero (Figura 16). Após esse procedimento foi necessário esperar a borracha decantar totalmente para que fosse possível observar e anotar a medida de onde se marcava o querosene.

Figura 15: Pesagem dos grânulos para o ensaio de massa específica



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Figura 16: frasco de Le Chatelier



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Para o ensaio de massa específica da areia foi feito esse mesmo procedimento apenas com algumas mudanças necessárias como: a quantidade de areia usada que, para o ensaio, foi de 500g (Figura 17), e o frasco utilizado foi o de Le Chapman, o qual foi preenchido com água até a marca de 200 ml (Figura 18).

Figura 17: Pesagem da areia para o ensaio de massa específica



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Figura 18: frasco de Le Chapman



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Para determinação dos resultados nesse tipo de ensaio é utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Massa específica do agregado} = \frac{\text{massa da areia (g)}}{\text{leitura final (cm}^3\text{)} - \text{leitura inicial (cm}^3\text{)}}$$

## Ensaio de massa unitária da borracha e da areia

Para esse ensaio foram utilizados os seguintes materiais:

- O material em que se quer descobrir a massa unitária;
- Uma balança;
- Uma pá;
- Espátula;
- Um caixote.

O procedimento, tanto para o ensaio de massa unitária da borracha quanto para o da areia, foi o mesmo.

O material em que se quer determinar o ensaio deve estar seco. Para dar início ao ensaio foi necessário verificar a massa do caixote vazio. Este foi preenchido pelo material pausadamente, por três vezes e de maneira repetitiva, de uma altura não superior a 50 mm da borda superior do caixote e evitando-se a segregação do agregado. Depois de cheio foi utilizado uma espátula para nivelar o agregado no recipiente e, logo em seguida, esse caixote preenchido foi pesado na balança. Esse procedimento foi repetido por três vezes.

Para determinar a massa unitária dos materiais, se faz necessário a seguinte fórmula:

$$\text{Massa unitária do agregado} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}$$

Onde:

$m_{ar}$  = massa do recipiente mais a massa do agregado em kg/m<sup>3</sup>;

$m_r$  = massa do recipiente vazio em kg;  $v$  = volume do recipiente em m<sup>3</sup>

A tabela 4 mostra os valores encontrados nos ensaios.

Tabela 4: Peso dos caixotes com o material

BORRACHA	MASSA kg	AREIA	MASSA kg
Caixote 1	10,24 kg	Caixote 1	35,200 kg
Caixote 2	10,23 kg	Caixote 2	35,500 kg
Caixote 3	10,22 kg	Caixote 3	35,500 kg
Soma	30,69 kg	Soma	106,200 kg
Média	10,23 kg	Média	35,400 kg

Fonte: Acervo pessoal, (2019)

Figura 19: Caixote com areia



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Figura 20: Caixote com borracha



Fonte: Acervo pessoal (2019)

As imagens 18 e 19 mostram a borracha e a areia sendo pesadas para o ensaio de massa unitária, o caixote usado para esse ensaio possui um volume de 18.750 cm<sup>3</sup>.

### Ensaio de absorção dos blocos

Para esse tipo de ensaio foram necessárias as seguintes aparelhagens:

- Uma balança com capacidade para 10 kg - sensibilidade de 1;
- Estufa com temperatura entre 105°C e 110°C;
- Tanque de imersão para submergir os blocos em temperatura ambiente.

Os blocos foram colocados em estufa para secar durante 24 horas da seguinte maneira: três blocos contendo 15 % de borracha, três blocos com 25 % de borracha, três blocos com 35 % de borracha e três blocos com 0 % de borracha.

Figura 21: Pesagem dos blocos secos



Fonte: Acervo pessoal, (2019)

Depois de 24 horas esses blocos foram retirados da estufa e pesados (Figura 21). Em seguida, foram imersos na água durante 24 horas (Figura 22). Depois disso foram retirados do tanque e pesados novamente.



Figura 22: Blocos imersos na água



Fonte: Acervo pessoal, (2019)

As imagens da figura 23 mostram os blocos sendo pesados logo após sair da estufa e depois colocados no tanque em temperatura ambiente e, em seguida, pesados novamente após serem retirados do tanque.

Figura 23: Pesagem dos blocos saturados



Fonte: Acervo pessoal, (2019)

Para obter o resultado do ensaio de absorção, se fez necessário o uso da seguinte fórmula:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Onde:

A = Absorção de cada bloco (%);

M1 = é a massa do bloco seco (g);

M2 = é a massa do bloco saturado (g).

### Ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova

O ensaio de compressão simples tem como objetivo a determinação da resistência à compressão de corpos de prova.

Para esse ensaio foi utilizada uma prensa hidráulica que atende os requisitos da norma ABNT NBR 7500 -1: 2004, que trata de calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial.

Os corpos de prova foram colocados na prensa individualmente de acordo com o tempo de cura de cada um que foi 7,14 e 28 dias contados do dia em que foram moldados. Quando colocados entre as duas placas lisas da prensa, o corpo de prova recebeu tensões, onde eram estabilizadas e registradas para determinar a resistência do corpo de prova.

Figura 24: Rompimentos dos corpos de prova com 7 dias



Fonte: Acervo pessoal (2019)

A figura 24 mostra os corpos de prova com adição de borracha de 0 %, 15 %, 25 % e 35 % sendo rompidos com sete dias de cura. Semelhante procedimento de ruptura foi realizado nos corpos de prova com 0 %, 15 %, 25 % e 35 % de borracha para tempo de cura de 14 e 28 dias, como se pode ver nas figuras 25 e 26.

Figura 25: Rompimentos dos corpos de prova com 14 e 28 dias respectivamente



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Com os dados laboratoriais obtidos, puderam-se encontrar os resultados dos objetivos propostos nesse estudo e que se apresentam a seguir.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### ENSAIO DOS AGREGADOS

A tabela 5 mostra os resultados derivados do ensaio de granulometria, onde se pode observar a porcentagem retida em cada peneira e a porcentagem retida acumulada em cada peneira de ambos os materiais: areia e grânulos de borracha.

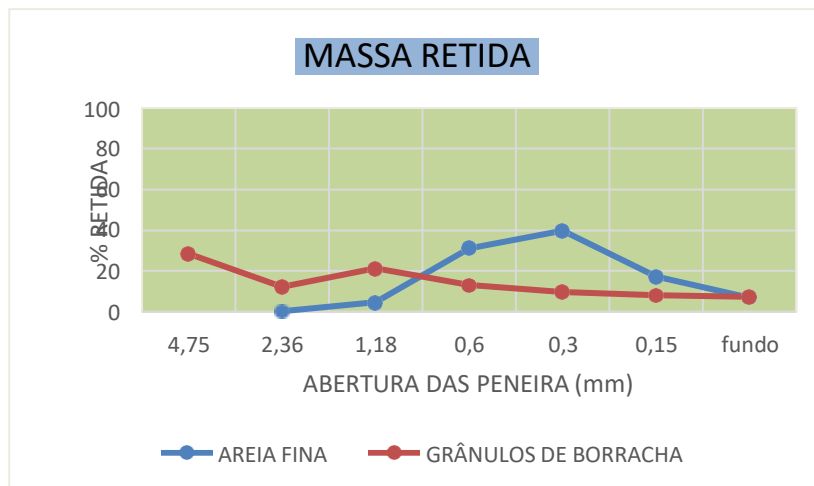
Tabela 5: Resultados do ensaio de granulometria

Peneira (mm)	Areia			Grânulos de borracha		
	Massa (g)	%		Massa (g)	%	
		Retida	Acumulada		Retida	Acumulada
4,75				284,46	28,446	28,446
2,36	2	0,2	0,2	120,46	12,046	40,492
1,18	46	4,6	4,8	212,43	21,243	61,735
0,6	312	31,2	36	131,3	13,13	74,865
0,3	398	39,8	75,8	97,92	9,792	84,657
0,15	172	17,2	93	80,51	8,051	92,708
fundo	70	7	100	72,92	7,292	100
total	1000	100		1000	100	

Fonte: Acervo pessoal (2019)

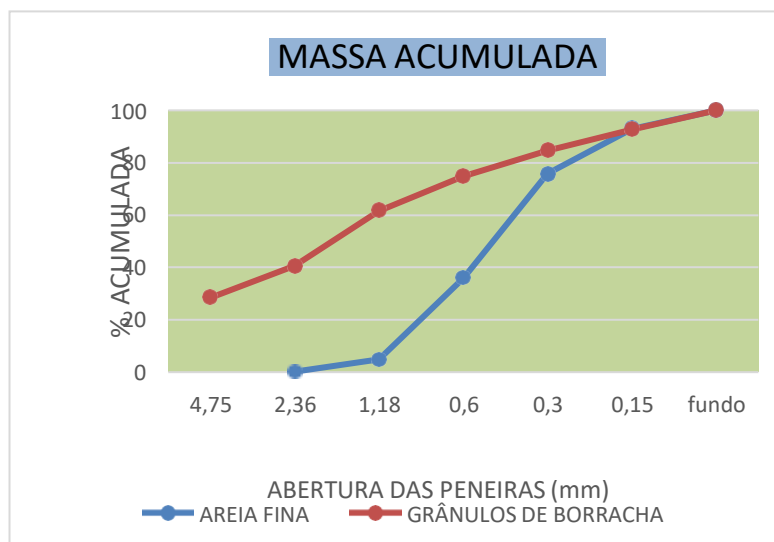
Os gráficos 1 e 2 mostram com mais detalhes o comportamento dos dados obtidos da porcentagem retida e retida acumulada comparando a areia com os grânulos de borracha.

Gráfico 1: Porcentagens retidas



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Gráfico 2: Porcentagens acumuladas



Fonte: Acervo pessoal, (2019)

Pode-se observar que os dois materiais apresentam algumas diferenças em relação às porcentagens encontradas, tanto na retida quanto na retida acumulada. A areia possui seu percentual maior retido na peneira de 0,3 mm (300  $\mu$ m) e a borracha teve sua maior porcentagem retida na peneira de 4,75 mm, os dois materiais tiveram o percentual de 100 % retido acumulado no fundo das peneiras. Essa diferença de percentuais se dá pelo tamanho da partícula de cada material.

Para a escolha da granulometria que foi usada no trabalho foi levado em consideração as exigências da norma ABNT NBR 7211:2009. A distribuição granulométrica deve seguir os limites determinados na tabela 6.

Tabela 6: Distribuição granulométrica

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR 7211: 2009)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
0,6mm	15	35	55	70
0,3mm	50	65	85	95
0,15mm	85	90	95	100

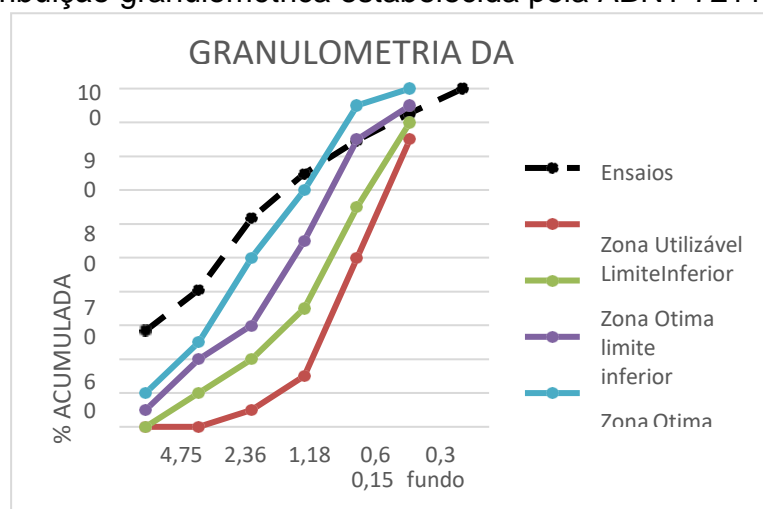
Fonte: Adaptado da norma ABNT NBR 7211:2009

Os agregados miúdos que podem ser utilizados para concreto devem possuir distribuição granulométrica das zonas estabelecidas na referida tabela, caso contrário, sua aplicabilidade deve ser comprovada através de estudos prévios.

Assim, utilizando-se os dados da tabela 6, foi feita uma comparação com os resultados obtidos através do ensaio de granulometria para determinar qual resultado iria ser utilizado para a escolha ideal da granulometria usada no trabalho.

O gráfico 3 mostra a comparação dos resultados obtidos para os grânulos de borracha.

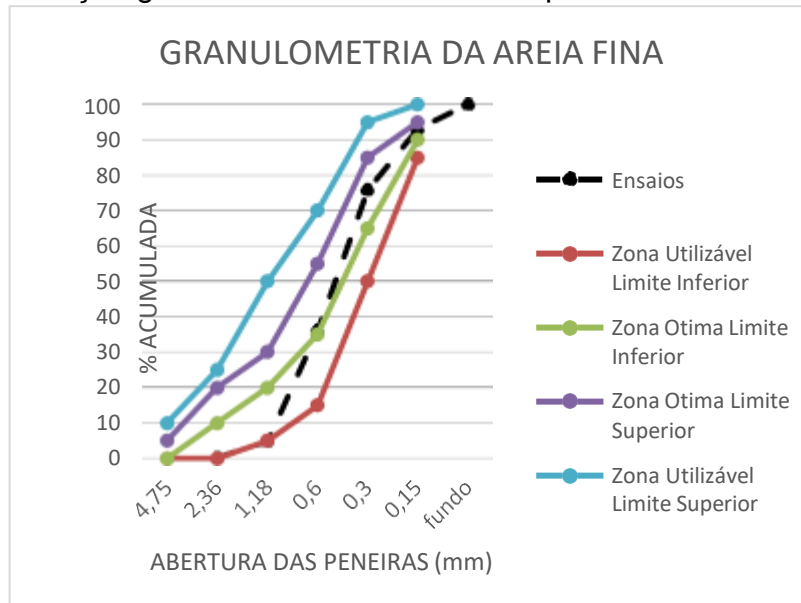
Gráfico 3: Gráfico comparativo entre os resultados da granulometria da borracha e a distribuição granulométrica estabelecida pela ABNT 7211:2009



Fonte: Acervo pessoal (2019)

No gráfico 3 pode-se perceber que para atender as exigências da NBR 7211:2009 devem-se usar os grânulos de borracha que ficaram retidos na peneira de 0,3 mm. O gráfico 4 mostra a comparação dos resultados obtidos para a areia.

Gráfico 4: Gráfico comparativo entre os resultados da granulometria da areia e a distribuição granulométrica estabelecida pela ABNT 7211:2009



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Pode-se perceber que a areia, diferente da borracha, poderia ser usada a partir da peneira de 1,18 mm, mas como um dos objetivos desse trabalho é substituir os grânulos de borracha parcialmente no lugar da areia, então foi escolhida tanto a areia como a borracha que ficou retida na peneira de 0,3 mm, pois, a borracha só vem a atender os critérios da norma quando fica retida nessa mesma peneira.

O módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas dividido por cem. Sendo assim, o módulo de finura da areia é de 3,098 e o da borracha é de 4,82903. Podendo assim classificar a areia usada nesse trabalho como areia média.

De acordo com a norma NBR 7211:2009 segue a seguinte classificação:

- Entre 2,20 e 2,90 para a zona ótima;
- Entre 1,55 e 2,20 para a zona utilizável inferior;
- Entre 2,90 e 3,50 para a zona utilizável superior.

Sendo assim pode-se confirmar que os grânulos de borracha superam os limites

dessas classificações ficando fora dos limites estabelecidos em grande parte da sua distribuição no ensaio de granulometria.

A tabela 7 mostra os resultados de massa específica e massa unitária tanto da borracha como da areia.

Tabela 7: Resultados de massa específica e massa unitária

AREIA	BORRACHA
Massa específica = 2,63 g/cm <sup>3</sup>	Massa específica = 1,19 g/cm <sup>3</sup>
Massa unitária = 1,51 g/cm <sup>3</sup>	Massa unitária = 0,40 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Acervo pessoal (2019)

Para a presente pesquisa, a obtenção da massa específica e unitária dos materiais em estudo se faz necessária.

## CONFECÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO

De acordo com ABNT NBR 6136:2014 as dimensões reais dos blocos vazados de concreto, modulares e submodulares para serem aceitos devem corresponder aos dados da imagem da figura 27.

Figura 26: Dimensões reais dos blocos

Familia	20x40	15x40	15x30	12,5x40	12,5x25	12,5x37,5	10x40	10x30	7,5x40	
Largura	190	140			115		90		65	
Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
Medida Nominal mm Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
	Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
	2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
	1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
	Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-	-
	Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
	Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
	Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
	Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
	Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-

Nota 1 - As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta tabela são de  $\pm 2,00$  mm para largura e  $\pm 3,00$  mm para a altura e para o comprimento.

Nota 2 - Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873:2010.

Nota 3 - As dimensões da canaleta "J" devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.

Fonte: norma ABNT NBR 6136:2014.



O bloco de concreto produzido para esse trabalho apresenta dimensões de 15 x 30 mm, se caracterizando com os valores encontrados na norma. O bloco apresentado em norma é o vazado de concreto simples, usado para alvenaria com ou sem função estrutural. Esses blocos são vazados nas faces inferior e superior, sua área líquida pode ser igual ou inferior a 75% da área bruta. Para esse trabalho o bloco produzido foi testado para ser usado sem função estrutural. Atenção especial deve ser dada a designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos conforme a imagem da figura 28.

Figura 27: Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos

Classe	Largura nominal mm	Paredes longitudinais <sup>1</sup> mm	Paredes transversais	
			Paredes <sup>1</sup> mm	Espessura equivalente <sup>2</sup> mm/m
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

1 - Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.  
2 - Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Fonte: Norma ABNT NBR 6136:2014.

Para seguir a exigências da norma ABNT NBR 6136:2014, as dimensões das paredes dos blocos devem ser de -1,0 mm, isso para o valor individual de cada um.

De acordo com a norma ABNT 6136:2014 os blocos possuem a seguinte classificação:

- Classe A- Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
- Classe B- Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- Classe C- Com e sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

A norma ABNT NBR 6136:2014 recomenda que o uso de blocos com função estrutural classe C de M10 sejam usados para edificações de no máximo um pavimento, os de M12,5 sejam usados para edificações de no máximo dois pavimentos e os de M15 e M20, sejam usados para edificações maiores. Sendo assim o bloco que será produzido para estudo desse trabalho, pode ser classificado como o de classe C- M10.

Segundo Eduardo Barbosa de Moraes (2008), a tabela 8, presente na ABNT NBR 6136:4014 apresenta os principais blocos de concreto sem função estrutural comercializados no mercado:

Tabela 8: Blocos mais comercializados

Designação	Dimensões (mm)				
	Largura	Altura	Comprimento	Amarração	
Módulo M-20 (largura nominal de 20 cm)	190	190	390		
			190		
			90		
			40		
Módulo M-15 (largura nominal de 15 cm)	140	190	390	340 (em L) 540 (em T)	
			190		
			90	440 (em T)	
			40		
Módulo M-10 (largura nominal de 10 cm)	90	190	390		
			190		
			90		
			40		
			290		290 (em T)
			190		
			90		
			190		290 (em T)
90					

Fonte: ABNT NBR 6136:2014

A partir da informação contida na tabela 8, foi possível classificar o bloco desenvolvido para o presente estudo.

### **ABSORÇÃO DE ÁGUA E VAZIOS DOS BLOCOS**

De acordo com a ABNT NBR 8492:2012, foi realizado o ensaio de absorção nos blocos de concreto fabricados e obtiveram-se os valores resultantes.

Pode-se observar que os dados da tabela 9 não ultrapassam o valor máximo de 20% de absorção. Pode-se verificar também que o traço referência possui o menor valor

em relação aos outros.

Tabela 9: Resultados do ensaio de absorção de água

TRAÇO	BLOCO	ABSORÇÃO DE ÁGUA				
		SECO (kg)	MÉDIA (kg)	SATURADO (kg)	MÉDIA (kg)	RESULTADO (%)
TR	1	8270	8275,67	8960,8	8962,27	8,3
	2	8285		8962		
	3	8272		8964		
15%	1	6360	6364,33	7386,3	7386,43	16,1
	2	6370		7387		
	3	6363		7386		
25%	1	6330	6334	7169,6	7170,53	13,2
	2	6333		7170		
	3	6339		7172		
35%	1	5132	5136,33	5739,2	5739,53	11,7
	2	5137		5740		
	3	5140		5739,4		

Fonte: Acervo pessoal (2019)

De acordo com SILVA, et al. (2017) isso ocorre porque os blocos com borracha possuem maior absorção de água pois, existe uma fraca ligação entre os grânulos de borracha e a matriz do cimento, o que permite a passagem de líquido através dos vazios entre os grânulos de borracha e a pasta do cimento.

### RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

O ensaio de resistência à compressão foi realizado para as idades de 7, 14 e 28 dias e foi feito para os 4 traços, obtendo-se os resultados das resistências para cada tempo conforme mostra a tabela 10.

Tabela 10: Resistência dos traços de acordo com a idade

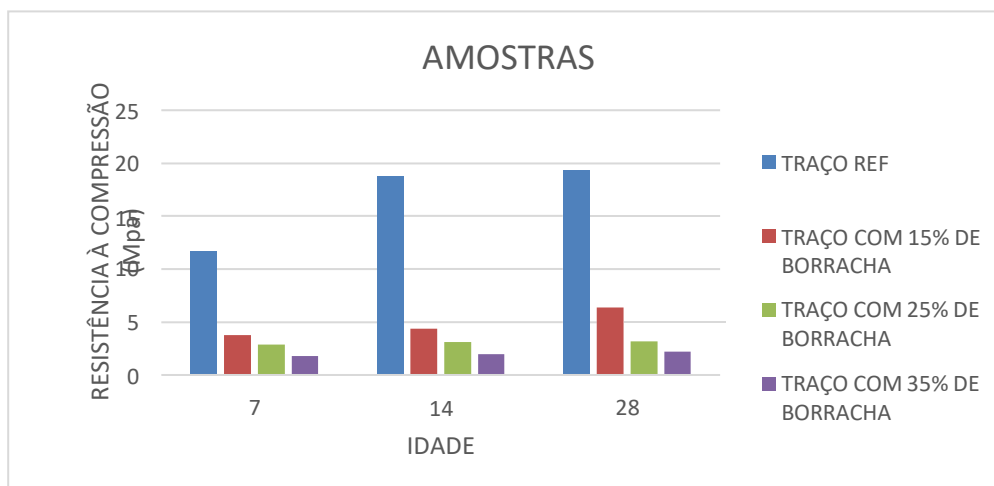
AMOSTRA	IDADE	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
TRAÇO REF	7	11,7
TRAÇO DE 15%		3,8
TRAÇO DE 25 %		2,9
TRAÇO DE 35%		1,8
TRAÇO REF	14	18,8
TRAÇO DE 15%		4,4
TRAÇO DE 25 %		3,1
TRAÇO DE 35%		1,9
TRAÇO REF	28	19,3
TRAÇO DE 15%		6,4
TRAÇO DE 25 %		3,2
TRAÇO DE 35%		2,2

Fonte: Acervo pessoal (2019)

É possível observar que o desempenho mecânico dos traços aumenta conforme a idade, isso é uma característica do concreto, mas também acontece por causa da escolha do cimento Portland CP II F que, com o passar do tempo, atinge valores mais altos de resistência, diferente do cimento CP IV que utilizado para concreto alcança níveis elevados de resistência já nos primeiros dias de sua cura.

Também é possível perceber que existe uma variação nas resistências dos traços com adição de borracha e do traço sem adição de borracha. O gráfico 5 demonstra essa variação.

Gráfico 5: Comparativo da resistência entre os traços



Fonte: Acervo pessoal (2019)

Como registrado no gráfico 5, o traço com 15 % de adição de borracha, aos sete dias, alcança a resistência de 3,8 Mpa. Já aos 14 dias, o traço de 25 % alcança 3,1 Mpa, ambos estando de acordo com os parâmetros da ABNT NBR 6136:2014. Observou-se, entretanto, que ocorre uma queda na resistência dos traços com adição de borracha particularmente no de 35 % de grânulos de borracha.

É notável que quanto maior a porcentagem de borracha, maior é a queda na resistência à compressão axial do traço. Esse fato ocorre porque a borracha possui natureza desigual dos componentes físicos e químicos da areia.

## CAPÍTULO 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo analisou a viabilidade do uso de grânulos de borracha de pneus inservíveis na substituição parcial da areia para a produção de blocos de concreto, os quais podem ser usados em alvenaria de vedação.

Pôde-se perceber que, com o aumento da porcentagem de borracha, existe uma redução na massa do bloco. Isso ocorre pelo fato da borracha possuir um valor menor na massa específica em relação à areia. Esse determinante pode ajudar a diminuir o tempo de duração na obra, pois com os blocos mais leves, facilitaria o carregamento, consequentemente diminuindo o tempo gasto.

Todos os blocos estão em conformidade com a norma ABNT NBR 6136:2007 em relação a absorção máxima de água.

Existe uma queda na resistência dos traços com adição de grânulos de borracha. A menor resistência observada foi a do traço de 35 % de grânulos de borracha. O traço com 15 % de adição de borracha aos sete dias já alcança a resistência de 3,8 MPa, aos 14 dias o traço de 25 % alcança 3,1 Mpa e ambos estão de acordo com os parâmetros da ABNT NBR 6136:2014.

Embora os resultados obtidos comprovem que o uso de grânulos de borracha como agregado miúdo, em substituição a areia, seja viável, porém esse trabalho indica o uso do traço de 15 %, pois este com sete dias já apresentava o valor de MPa proposto na norma específica. Por fim, ficou comprovado que o traço com adição de 35 % de grânulos de borracha não satisfaz a norma e, sendo assim, fica inviável o seu uso.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 7211. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT NBR 7215. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT NBR 10004. Resíduos sólidos – Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2014. ABNT NBR 11578. Cimento Portland composto. P. 5, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 10004. Resíduos sólidos – Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT NBR NM 248. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT NBR 16697:2018. Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT NBR 6136:2014. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria- Requisitos, Notas de estudo de Engenharia Civil. Rio de Janeiro 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.

ANDREOLI, Cleverson V.; ANDREOLI, Fabiana de Nadai; TRINDADE, Tamara Vigolo; HOPPEN, Cinthya. Resíduos sólidos: origem, classificação e soluções para destinação final adequada. Coleção Agoinha. 2011.

ANDRADE, Hered de Souza. Pneus inservíveis: alternativas possíveis de reutilização. Monografia submetida ao Departamento de Ciências Econômicas para aprovação na disciplina CNM 5420 – Monografia, Florianópolis, Julho de 2007.

BOLINA, Cecília de Castro; AMARAL, Fabiano Lino do; MOREIRA, Samantha Junqueira; JÚNIOR, José Reis; GOMIDES, Maria de Jesus. Calçadas ecológicas e inclusivas utilizando resíduos de pneus inservíveis. Edição 6, volume 1, artigo nº 5, Maio/Agosto de 2013

BERTOLLO, Sandra A. Margarido. Avaliação Laboratorial de Misturas, asfálticas densas modificadas com Borrachas Recicladas de Pneus. São Carlos, 2002.

COMUNIDADE DAS CONSTRUÇÃO. Alvenaria de Vedação com blocos de concreto. Cartilha, 2008, p.33.

DECORFACIL. Tijolo ecológico: o que é, vantagens, desvantagens e fotos. Disponível em: <https://www.decorfacil.com/tijolo-ecologico/>. Acesso em: 05 out. 2019.

FORAM DA CONSTRUÇÃO. Areia na Construção. Disponível em:

<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=31&Cod=1605>. Acesso em: 05 out. 2019.

FARIA, Juliana Soares de. Incorporação de resíduo pó de borracha de pneus inservíveis em cerâmica vermelha. – Campos dos Goytacazes, 2015.

FIORRITE, C.F; AKASAKI, J.R. Fabricação de Blocos Estruturais de Concreto com Resíduos de Borracha de Pneus. *Holos Environment*. V4 n2, 2014.

FREITAS, Sidcléia Sousa. Benefícios sociais e ambientais do coprocessamento de pneus inservíveis. Estudo de caso da cidade de João Pessoa – PB. Dissertação, João Pessoa, 2010.

GUTIERREZ MOTTA, Flávia A cadeia de destinação dos pneus inservíveis - o papel da regulação e do desenvolvimento tecnológico. *Ambiente & Sociedade*, vol. XI, núm. 1, janeiro-junho, 2008, pp. 167-184.

JUNIOR, Alberto Casado Lordsleem; PÓVOAS, yeda vieira; SOUSA, Rubia Valéria Rodrigues de Sousa; SILVA, Claudia Flaviana Cavalcante da. Blocos de concreto para vedação: estudo da conformidade através de ensaios laboratoriais. XXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. *Revista Economia e Desenvolvimento*, nº 16, 2004.

MENDONÇA, Monalisa Martins. Sustentabilidade na construção civil: realidade ou utopia? Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte, 2010.

MORAES, Eduardo Barbosa de. *Comunidade da Construção*. Recife, 2008.

RODRIGUES, João Paulo C.; SANTOS, Cristina Calmeiro dos. Resistência à compressão a altas temperaturas do betão com agregados reciclados de borracha de pneu. 2º CILASCI – Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança contra Incêndio Coimbra, Portugal, 29 de Maio a 1 de Junho, 2013.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 258, de 26 de agosto de 1999 Publicada no DOU no 230, de 2 de dezembro de 1999, Seção 1, página 39. Gestão de resíduos e produtos perigosos – Tratamento... RESOLUÇÃO CONAMA nº 258 de 1999.

ROSA, Nathalia Da; SOUZA, Luís César; BILIBIO; Juliana Rodrigues. *Tijolo ecológico: reaproveitando a borracha de pneus e resíduos da construção civil*. 2º MoEduCitec. 2016.

SELUNG, Catiane Sebben; MENEGOTTO, Mauro Leandro; MENEGOTTO, Giovanna Foltran; PAVAN, Roberto Carlos. Avaliação de Bloco de Concreto para Alvenaria com Adição de Resíduos de Borracha de Pneus. *Holos Environment*. V13 n2, 2013, p.212.



SILVA, Vinícius Guimarães. Sustentabilidade na produção de argamassa: substituição total do agregado natural por raspas de pneus usados e areia artificial. Artigo, Brasília 2014.

SILVA, Júnior, F. A. da; Martinelli, A. E. Análise das propriedades do agregado miúdo: resíduo de borracha de pneu para compósitos cimentícios. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá.

SINDICATO da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais. Bloco vazado de concreto para alvenaria estrutural – Manual de recebimento e controle. 2.ed. Belo Horizonte: Sinduscon-MG, 2014.

## **SOBRE A AUTORA**

### **JÉSSICA CRISTINA DE ABREU ROMÃO**

Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de João Pessoa (2020), e mestre em engenharia de materiais pela Universidade Federal da Paraíba, com atuação em perícia judicial.

ISBN 978-655376283-1



9

786553

762831