

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
RODRIGO FERNANDES SANTOS

**CONCRETO NÃO ESTRUTURAL COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO
POR RASPAS DE RESÍDUO DE PNEU**

FORMIGA – MG

2015

RODRIGO FERNANDES SANTOS

CONCRETO NÃO ESTRUTURAL COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO
POR RASPAS DE RESÍDUO DE PNEU

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do UNIFOR-MG, como requisito para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Esp. Mariana Del Hoyo
Sornas.

FORMIGA – MG

2015

S237 Santos, Rodrigo Fernandes.
Concreto não estrutural com substituição de agregado miúdo por raspa
de resíduo de pneu / Rodrigo Fernandes Santos. – 2015.
53 f.

Orientadora: Mariana Del Hoyo Sornas.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga–UNIFOR - MG, Formiga, 2015.

1. Concreto. 2. Resíduos de pneu. 3. Comportamento mecânico. I. Título.

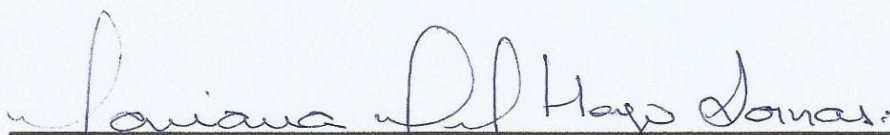
CDD 624.1834

Rodrigo Fernandes Santos

CONCRETO NÃO ESTRUTURAL COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO
POR RASPAS DE RESÍDUO DE PNEU

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do UNIFOR-MG, como requisito para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a. Esp. Mariana Del Hoyo Sornas
Orientadora


Prof.^a. Ma. Christiane Pereira Rocha Sousa
UNIFOR


Prof. Me Henrique Garcia Paulinelli
UNIFOR

Formiga, 16 de novembro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por sempre estar me abençoando, me dando saúde e sabedoria para vencer as dificuldades.

Agradeço ao meu pai Roberto e minha mãe Sirlene, que sempre me apoiaram com incentivos, exemplos de vida e muito trabalho para me ajudar a chegar até aqui.

A minha namorada Vanessa pelo amor e por estar sempre junto comigo, colaborando de todas as formas.

A minha orientadora Mariana, por todos os conhecimentos transmitidos, dedicação e incentivo nesta jornada; e também a todos os professores que compartilharam suas sabedorias contribuindo com meu crescimento profissional.

Aos meus amigos de curso, Carlos, Vinicius, Henrique, Bruno, Rafaela, Joice, Ana Laura e Tamara, que sempre me ajudou nessa caminhada.

Enfim, agradeço aos que contribuíram de alguma forma para que eu realizasse este trabalho: administração e engenheiros da LAMAR Engenharia e Comércio; engenheiros e técnicos da Pavidez Engenharia, que disponibilizaram equipamentos para a realização dos ensaios.

Todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O concreto sendo um dos materiais mais utilizados no mundo faz com que a busca de alternativas de materiais que estão sendo descartados no meio ambiente para utilizar como agregados cresça cada vez mais, sendo assim reduzindo a extração de recursos naturais, como areia e brita, os quais são utilizados como principais agregados do concreto, através desta utilização reduz a emissão de poluentes e o acúmulo de materiais inservíveis no meio ambiente. Concretos com diferentes teores de substituição foram produzidos, nas proporções de 0%, 15% e 30%, sendo tal substituição em volume para não alterar o volume final do traço calculado. Os resultados obtidos através do ensaio de *slump test*, demonstraram que conforme os teores de substituição de agregado foi aumentando, a consistência do concreto foi diminuindo. Já o ensaio de compressão axial simples, não demonstrou resultados satisfatórios para os concretos com teores de substituição de agregados por resíduos de borracha de pneu comparado ao concreto de referência com 0% de resíduo. O concreto com teor de 15% de resíduo de borracha de pneu foi o que apresentou melhor resultado, mas mesmo assim não atingiu a resistência determinada no concreto de referência que é 15 MPa de resistência a compressão, sendo assim sugere-se um novo estudo com outros teores de resíduos, ou uma nova dosagem de agregados para conseguir atingir uma resistência satisfatória para aplicação em estruturas que exijam resistência.

Palavras-chave: Concreto. Resíduos de pneu. Comportamento mecânico.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Relação resistência x água/cimento.....	17
Figura 2 – Depósito a céu aberto de pneus inservíveis.....	18
Figura 3 – Estrutura do pneu de automóvel	20
Figura 4 – Resíduo da borracha de pneu	21
Figura 5 – Fluxograma simplificado do estudo	26
Figura 6 – Agregado graúdo, brita 1.....	28
Figura 7 – Agregado miúdo, areia lavada	29
Figura 8 – Resíduo da borracha de pneu, raspas	30
Figura 9 – Corpos de prova.....	32
Figura 10 – Conjunto do <i>Slump Test</i> , preparado para o ensaio	33
Figura 11 – Aferição do abatimento do concreto.....	34
Figura 12 – Prensa manual hidráulica.....	35
Figura 13 – Curva de abrams.....	49
Gráfico 1 – Modificação de resistência.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo	15
Tabela 2 – Limite da distribuição granulométrica do agregado graúdo	16
Tabela 3 – Exemplo de composição de borracha de pneus, porcentagem utilizada e finalidade da adição	20
Tabela 4 – Resultados médios nos períodos	27
Tabela 5 – Materiais para 01 (um) metro cúbico de concreto	33
Tabela 6 – Consistência dos concretos com e sem substituição de areia por resíduos de pneu por meio do teste de <i>slump</i>	36
Tabela 7 – Média da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 dias de cura.....	37
Tabela 8 – Média da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 29 dias de cura.....	37
Tabela 9 – Média da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 28 dias de cura.....	37
Tabela 10 – Perda de resistência.....	39
Tabela 11 – Determinação do consumo de água (Ca).....	49
Tabela 12 – Determinação do volume do agregado graúdo seco por m ³ de concreto em relação o módulo de finura da areia	50
Tabela 13 – Condições de preparo do concreto.....	50
Tabela 14 – Zonas de módulo de finura da areia	51
Tabela 15 – Classificação comercial do agregado graúdo para concreto	51
Tabela 16 – Pesos específicos dos materiais	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AsBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

C.D.C – Concreto Dosado em Central

CP – Cimento Portland

D – Diâmetro do corpo de prova

F – Força máxima

NBR – Norma Brasileira

MG – Minas Gerais

V.O – Concreto Virado em Obra

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	10
2.1	Objetivo Geral	10
2.2	Objetivos Específicos.....	10
3	JUSTIFICATIVA	11
4	REFERENCIAL TEÓRICO	12
4.1	Concreto	12
4.2	Cimento Portland.....	12
4.3	Agregados	14
4.3.1	Agregados miúdos	14
4.3.2	Agregados graúdos	15
4.4	Água.....	16
4.5	Resíduo de borracha de pneu	17
4.5.1	Pneu	19
4.6	Processo de obtenção de resíduos.....	21
4.7	Aplicação na construção civil	22
4.8	Sustentabilidade na construção civil.....	23
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
5.1	Aspectos Gerais	25
5.2	Amostra de aglomerante e agregados.....	26
5.2.1	Cimento Portland	26
5.2.2	Agregado graúdo	28
5.2.3	Agregado miúdo	29
5.2.4	Resíduo de pneu.....	29
5.3	Dosagem do concreto	30
5.4	Equipamentos utilizados.....	31
5.5	Ensaio Realizados	32
5.5.1	Slump Test	33
5.5.2	Compressão axial simples.....	34
6	RESULTADOS	36
6.1	Análise do concreto no estado fresco	36
6.2	Resistência à compressão axial simples.....	36

7	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A - MEMÓRIA DE CÁLCULOS DO TRAÇO DO CONCRETO DE REFERÊNCIA PARA CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	44
	APÊNDICE B – MEMÓRIA DE CÁLCULOS DAS SUBSTITUIÇÕES DE AGREGADOS NO TRAÇO DO CONCRETO DE REFERÊNCIA PARA CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	48
	ANEXO A – TABELAS UTILIZADAS PARA OS CÁLCULOS DOS TRAÇOS DE CONCRETO COM 0%, 15% E 30% DE SUBSTIUIÇÃO DE RESÍDUO DE PNEU.....	49

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados do mundo, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra ou brita) e ar. Este grande consumo deve-se a sua gama de possibilidades de utilização em praticamente todas as construções, de edificações residenciais às grandes obras de infraestrutura.

E a busca por materiais que são descartados no meio ambiente a serem adicionados com a finalidade de substituir parte dos agregados do concreto, cresce cada vez mais, a fim de fazer o produto sustentável e com as características do concreto não estrutural. O uso de resíduos de pneu é uma opção, como agregado miúdo do concreto com características mecânicas de baixa resistência, além de diminuir a extração de recursos naturais, como a areia e a brita, também pode diminuir o acúmulo desses resíduos nas áreas urbanas.

Os pneus passam a ser próprios para reciclagem após não apresentarem condições mínimas exigidas para utilização em automóveis. Apresentando preocupações ambientais, pois grande parte não tem destino correto após sua vida útil, sendo descartados em aterros sanitários, ocorrendo à decomposição mais lenta, formando pilhas de pneus, com isso torna-se um local de proliferação de insetos e outros animais transmissores de doenças. E ao ser queimado, libera uma fumaça de difícil dissipação e altamente tóxica.

O concreto com a adição de resíduos gerados da reciclagem do pneu ainda não é muito utilizado. A busca de estudos que viabilizem a utilização como agregado em concretos não estruturais, utilizados em passeios, meio fio, placas de isolamento dentre outras finalidades que não exijam resistências elevadas, pode impulsionar mais a serventia do concreto, e desvendar a eficácia da adição.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar o desempenho das propriedades mecânicas do concreto de *Cimento Portland* com a substituição do agregado miúdo por resíduos da borracha de pneu.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a composição de diferentes traços de concreto com a substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha de pneu;
- Executar ensaios laboratoriais do concreto com a substituição para comparar as propriedades mecânicas do concreto convencional;
- Verificar os resultados das propriedades mecânicas, identificando a capacidade atingida com a substituição;

3 JUSTIFICATIVA

Diversas técnicas de adições de produtos para melhorar desempenho ou substituições de insumos que estão cada vez mais escassos, estão sendo aplicadas no concreto.

A fim de reduzir a utilização de recursos naturais e utilizar recursos que esta sendo descartados no meio ambiente, muitas das vezes descartados de forma incorreta. Acredita-se que, a substituição de parte do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneu, consiga tornar o concreto equivalente ao concreto convencional, dando a ele condições de aplicabilidade nas obras.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Concreto

Segundo Ribeiro (2010), o concreto está entre um dos materiais mais utilizados em obras no mundo, contribuindo para desenvolvimento e avanço da qualidade de vida do homem, por ser muito aplicado em construções de infraestrutura, a fim de proporcionar conforto e segurança.

De acordo com os autores Tutikian e Helene (2011), compreende que concreto de cimento Portland exige para uma proporção dos materiais típicos para constituí-lo, denominado traço, apresentado em massa ou volume, preferivelmente expresso em massa seca de materiais.

Ainda conforme os autores citados acima, materiais aplicados em dosagens de concreto são, os vários cimentos, os agregados graúdos e miúdos, os aditivos e adições, os pigmentos e as fibras. Quanto aos agregados, pode ser divididos em industrializados, artificiais, naturais e reciclados.

Em concordância com Petrucci (1975), no momento em que o concreto é misturado, deve permitir condições que facilitem a trabalhabilidade para aplicação do mesmo, sendo assim com o passar do tempo, ele vai alcançando resistência e coesão, através da reação entre aglomerante e água.

Segundo Magalhães ([2011], p. 3) “O concreto pode ser produzido diretamente na obra ou por empresas prestadoras de serviços de concretagem (concreteiras). No primeiro caso, denominado virado em obra – V.O.”

Ainda segundo Magalhães ([2011], p. 3) “A outra forma de produção de concreto é a realizada pelas chamadas centrais de concreto (concreteiras). Estas empresas produzem o denominado concreto dosado em central – CDC.”

4.2 Cimento Portland

CAEMENTU do latim foi a quem deu origem a palavra CIMENTO, que era

uma espécie de rocha natural de rochedos e não esquadrejada na velha Roma, a cerca de 4.500 anos. Utilizava-se antes no Egito antigo uma liga composta por uma mistura de gesso calcinado. Uma das principais obras romanas e gregas, como o Panteão e o Coliseu, foram utilizados para construção solo de origem vulcânica da ilha grega de Santorino ou próximo de Pozzoulli cidade italiana, o mesmo possuía propriedades que endurecia em contato com água. (BATTAGIN, 2009).

Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais, nos teores especificados (NBR 11578/1991- Cimento Portland composto, p. 2).

De acordo com Petrucci (1975), constituído de silicatos de aluminatos de cálcio, quase sem cal livre, ao serem misturados com água, ocorre hidratação do material pulverulento, proporcionando propriedades de resistência mecânicas elevadas.

Conforme os autores Ribeiro, Pinto e Starling (2006), existem diversos tipos de cimento Portland, divididos segundo suas propriedades, como adições e a composição química do clínquer, dentre eles os principais normalizados pela ABNT são:

- Cimento Portland Comum – CP I;
- Cimento Portland Composto – CP II (com adições de escória de alto-forno, pozolana e filer);
- Cimento Portland de Alto-forno – CP III (com adição de escória de alto-forno, apresentando baixo calor de hidratação);
- Cimento Portland Pozolânico – CP IV (com adição de pozolana, apresentando baixo calor de hidratação);
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CP V (com maiores proporções de silicato tricálcico – C_3S , que lhe confere alta resistência inicial e alto calor de hidratação).

4.3 Agregados

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não deve conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto. O exame petrográfico realizado de acordo com a ABNT 7389 e interpretado por profissional capacitado fornece alguns dos subsídios necessários para o cumprimento destas condições (NBR 7211/2011 - Agregados para concreto – Especificações, p. 4).

Conforme Romano (2004), os agregados exercem grande influência tanto no ponto de vista técnico, como no ponto de vista econômico, pois colabora com o aumento da resistência ao desgaste e a retração, sem alterar as propriedades de esforços mecânicos, pois existem agregados que apresentam resistência mecânica acima das propriedades da pasta aglomerante.

Segundo o autor Petrucci (1975), são classificados conforme o ponto de origem, em naturais e artificiais. Naturais, os encontrados de acordo com a forma de utilização como agregado, não sendo necessário o beneficiamento ou moagem, como exemplos as areias, os pedregulhos ou seixos rolados. Artificiais, os que necessitam de beneficiamento, para serem utilizados como agregados, sendo este beneficiamento a moagem de fragmentos maiores, para obter areias e pedras.

4.3.1 Agregados miúdos

Conforme a NBR 9935/2011 – Agregados – Terminologia, agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 150 µm, atendidos requisitos da ABNT NBR 7211.

De acordo com Petrucci (1975), compreende-se por agregado miúdo normal ou corrente a areia natural quartzosa ou pedriscos obtidos através da moagem de rochas, com dimensões que fiquem retidos no máximo 15% do material na peneira de 4,8 mm.

Segundo a NBR 7211-2011 – Agregados para concreto – especificação, a distribuição granulométrica, determinada segundo a ABNT NBR NW 248, deve atender aos limites estabelecidos na TAB.1.

Tabela 1- Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo

LIMITE DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGRAGADO MIÚDO				
Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável²	Zona ótima¹	Zona ótima¹	Zona utilizável³
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
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Notas:

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,2 a 2,90.

2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: NBR 7211-2011 – Agregados para concreto – especificação

4.3.2 Agregados graúdos

Conforme a NBR 9935/2011 – Agregados – Terminologia, agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 4,75 mm, atendidos requisitos da ABNT NBR 7211.

Segundo o autor Petrucci (1975), pedregulho natural, seixo rolado ou pedra britada, oriunda da moagem de pedras estáveis, é conhecido como agregado graúdo, tendo no limite de 15% passando na peneira 4,8 mm.

Segundo a NBR 7211-2011 – Agregados para concreto – especificação, a distribuição granulométrica, determinada segundo a ABNT NBR NW 248, deve atender aos limites indicados para o agregado graúdo constantes na TAB. 2.

Tabela 2 - Limite da distribuição granulométrica do agregado graúdo

LIMITE DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGRAGADO GRAÚDO					
Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica				
	d/D ¹⁾				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	5 - 25 ²⁾	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15 ²⁾	65 ²⁾ - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	40 ²⁾ - 65 ²⁾	92-100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ²⁾	80 ²⁾ - 100	95 - 100	-	-
6,3 mm	40 ²⁾ - 65 ²⁾	95 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 ²⁾ - 100	95 - 100	-	-	-
2,36 mm	95-100	-	-	-	-

Notas:

1) Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensão do agregado graúdo.

2) Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com essa variação também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: NBR 7211-2011 – Agregados para concreto – especificação

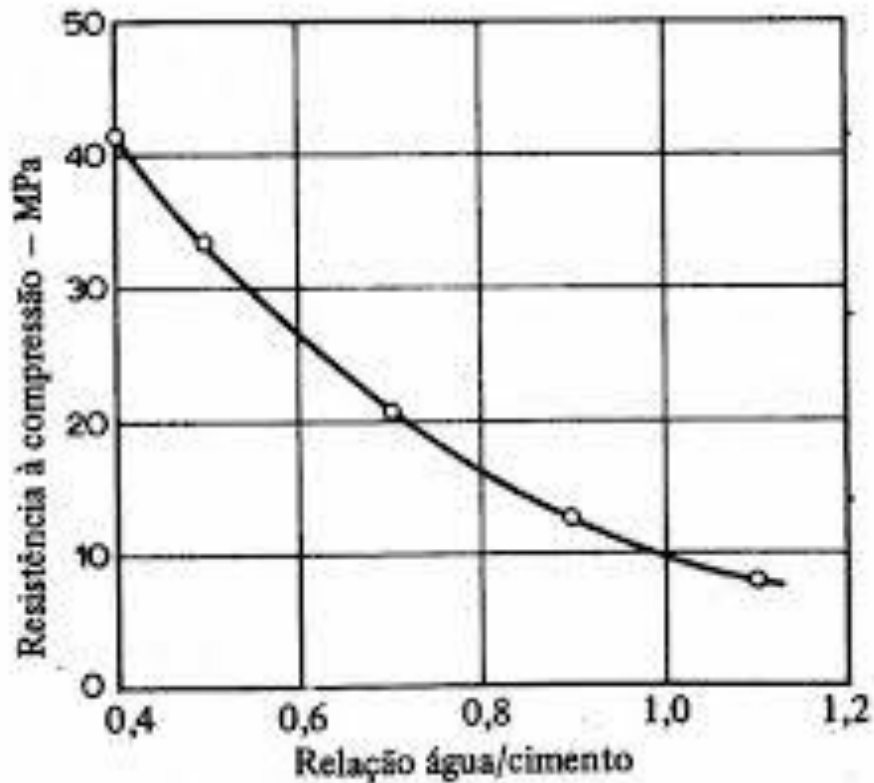
4.4 Água

De acordo com Petrucci (1975), a água usada no amassamento do concreto não deve conter impurezas que possam vir a prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento.

Determina ainda segundo Branco e Pieretti (2012), que a água influencia na porosidade da pasta de cimento durante a reação, água e aglomerante. Nota-se que o índice de vazios e o grau de adensamento, serão influenciados pela relação água/cimento.

A quantia de água aplicada na mistura com o cimento é considerada baixa, todavia adiciona um pouco mais para melhorar a trabalhabilidade, respeitando os limites estabelecidos na dosagem, pois a água é o fator mais prejudicial da resistência do cimento conforme representa a FIG. 1. (OLIVEIRA, 2014).

Figura 1 – Resistência x Relação água/cimento

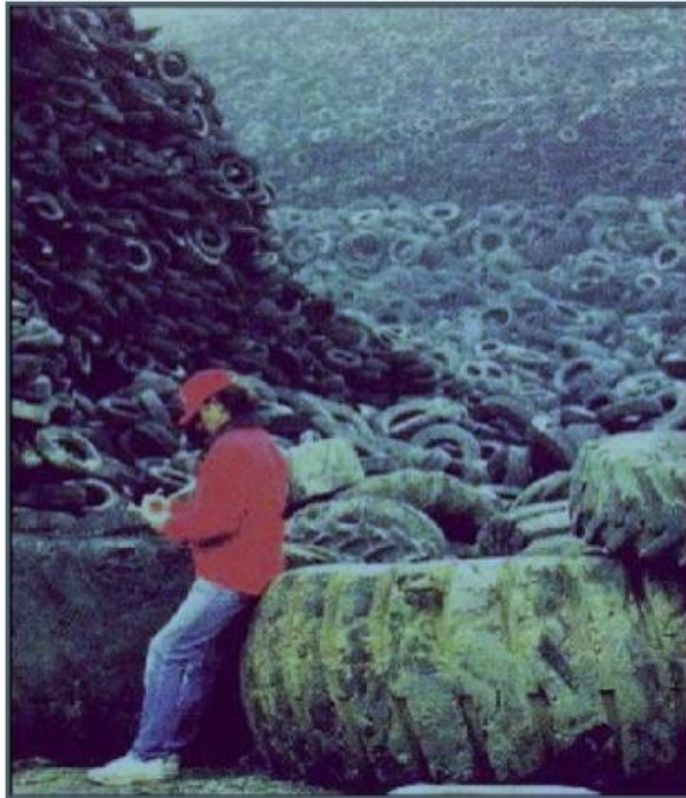


Fonte: Oliveira (2014)

4.5 Resíduo da borracha de pneu

A preocupação em reutilizar resíduos para não serem descartados no meio ambiente, esta crescendo cada vez mais, por isso, esta reutilizando do pneu considerado inservível como substituição de agregado no concreto, sendo assim, reduz os resíduos, diminui a extração de recursos naturais, e a redução de cenários como ilustrados na FIG.2 de grandes depósitos a céu aberto. (PINAFFI; SILVA; SOLINA, 2013).

Figura 2 - Depósito a céu aberto de pneus inservíveis



Fonte: Albuquerque (2009).

Segundo Mayer Filho (2006), a construção civil possibilita a utilização do pneu reciclado, efetuando a utilização de resíduo que seria descartado, para servir de agregado do concreto.

Ainda segundo Mayer Filho (2006), para não aumentar o custo no beneficiamento do pneu para utilização na construção civil, utiliza-se o processo de trituração, que é menos complicado e trabalhoso, comparando com outros processos de transformação da borracha, que muitas das vezes o custo é superior que ao de produção convencional.

O CONAMA 258/99, decreta para os fabricantes de pneus, que responsabilize quanto ao caminho a ser tomado para os pneus inservíveis, dentre os destinos estão a reforma, regeneração, a pirólise e reciclagem energética.

“RESOLUÇÃO No 258, DE 26 DE AGOSTO DE 1999

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto no 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno e,

- *Considerando que os pneumáticos inservíveis abandonados ou dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, que resulta em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública;*
- *Considerando que não há possibilidade de reaproveitamento desses pneumáticos inservíveis para uso veicular e nem para processos de reforma, tais como recapagem, recauchutagem e remoldagem;*
- *Considerando que uma parte dos pneumáticos novos, depois de usados, pode ser utilizada como matéria prima em processos de reciclagem;*
- *Considerando a necessidade de dar destinação final, de forma ambientalmente adequada e segura, aos pneumáticos inservíveis, resolve:*

Art. 1o As empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas.

Parágrafo único. As empresas que realizam processos de reforma ou de destinação final ambientalmente adequada de pneumáticos ficam dispensadas de atender ao disposto neste artigo, exclusivamente no que se refere à utilização dos quantitativos de pneumáticos coletados no território nacional.”

4.5.1 Pneu

De acordo com os autores Mano, Pacheco e Bonelli (2005, p. 106) “os pneus são constituídos de borrachas natural e sintética vulcanizada, que são polímeros termorrígidos”.

Segundo Segre (1999), os compostos que dá origem a formação do pneu, são os seguintes: SBR (estirenobutadieno copolímero), contendo 25%, em peso, de estireno, e também existem outras borrachas na sua composição, como o poli (*cis*-isopreno), que é a borracha natural, poli (*cis*-isopreno) sintético e poli (*cis*-butadieno). A TAB. 3 demonstra o exemplo de composição de borracha de pneus.

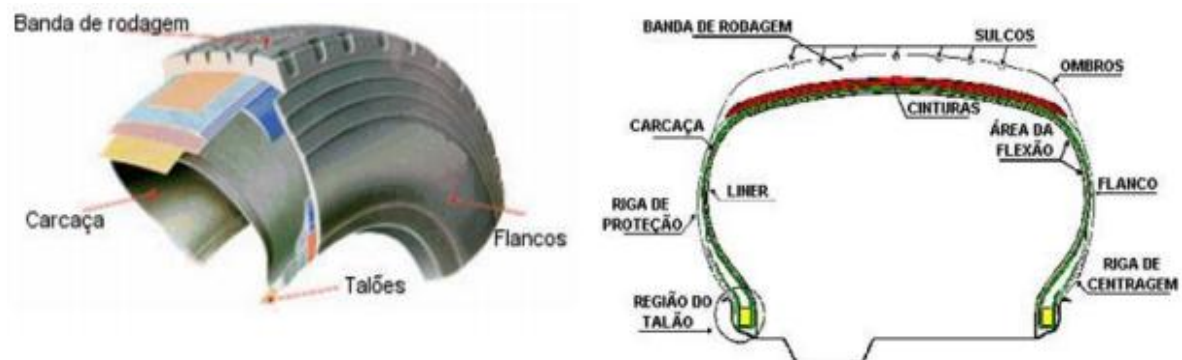
Tabela 3 – Exemplo de composição de borracha de pneus, porcentagem utilizada e finalidade da adição

Componente	Porcentagem	Composição/Finalidade
SBR	62,1	$[-CH_2-CH=CH-CH_2-ran-CH_2-CH(Ph)-]_n$
Negro de fumo	31	Fortificar a borracha, aumentar a resistência à abrasão, dissipar calor
Óleo modificado	1,9	Mistura de hidrocarbonetos aromáticos / amolecer a borracha, dar trabalhabilidade
Óxido de zinco	1,9	Controlar processo de vulcanização, aumentar propriedades físicas da borracha
Ácido esteárico	1,2	Controlar processo de vulcanização, aumentar propriedades físicas da borracha
Enxofre	1,1	Fazer o crosslink entre as cadeias poliméricas, prevenir excessivas deformações a altas temperaturas
Aceleradores	0,7	Composto organo-enxofre / catalisar a vulcanização

Fonte: Segre (1999)

A formação da estrutura do pneu é dada por diversos materiais conforme Kroth (2012), estrutura de aço, náilon, fibra de aramid, rayon, fibra de vidro e/ou poliéster, borracha natural ou sintética, dentre outros inúmeros polímeros existentes, utilizados para reforço químico está o carbono preto, sílicas e resinas, ceras de parafina antioxidante para inibir da ação do gás ozônio onde são conhecidas como antidegradantes, já os banhos metálicos nos arames e resinas, sais de cobalto são considerados os promotores de adesão, junto com os agentes da cura e produtos auxiliares, contudo se dá a estrutura do pneu conforme a FIG. 3.

Figura3 – Estrutura do pneu de automóvel



Fonte: Kroth (2012).

4.6 Processo de obtenção do resíduo

Conforme Santos e Borja (2005), para obter os resíduos do pneu utiliza-se de um equipamento de processo mecânico conhecido como “raspadeira”, o qual é constituído de cilindros com ranhuras, a fim de desgastar a superfície de rodagem, possibilitando receber uma nova capa de banda, e assim gerando o resíduo conforme a FIG. 4.

Figura 4 - Resíduo da borracha de pneu



Fonte: O autor (2015)

De acordo com Albuquerque (2009), fatores que podem influenciar nas propriedades do concreto em relação ao resíduo do pneu, estão a granulometria que pode interferir indiretamente no estado fresco e endurecido, e as propriedades mecânicas da borracha, que atingem as propriedades finais do concreto.

4.7 Aplicações na construção civil

Nos últimos anos, vêm estudando uma nova alternativa de aproveitamento do resíduo de borracha de pneu. Exemplos:

- Pavimento de concreto;
- Utilização como paredes e coberturas, telhas de concreto, blocos de alvenaria e painéis pra fins de isolamento térmico e acústico;
- Emprego no envelopamento de dutos ou valas, confecção de passeio público, rodovias, pisos, revestimentos e concretos de baixa exigência estrutural;
- Concreto para utilização em estacas de fundação tipo broca;
- Locais onde são exigidas maior resistência ao impacto e alta absorção de energia, como barreiras de proteção, quebra mar, recifes, postes, elementos de sinalização de trânsito e outras aplicações;
- Aplicação em concretos em paredes de eclusas, visando maior absorção de impacto;
- Artefatos de concreto, como fossas sépticas, filtros anaeróbios, canos para esgoto pluvial, bloquetes, meio-fio, tabelas para lajes pré-moldadas.

As inúmeras aplicações citadas na construção civil proporcionam as seguintes vantagens:

- Economia do consumo das fontes finitas do recursos naturais;
- Prolongando a vida útil dos aterros sanitários;
- Redução de emissão de poluentes na atmosfera;
- Redução dos vetores de doença;
- Redução de sobrecarga em edificações;
- Preservação do meio ambiente;
- Economia no transporte e otimização na produção.

(KROTH, 2012 p. 56).

Em concordância com Albuquerque (2009), com a grande produção da construção civil, esse tipo de material utilizado como agregado no concreto, pode influenciar positivamente para o passivo ambiental em conjunto com o descarte dos pneus inservíveis. Entretanto, deixa de ser um problema ambiental e de saúde, para contribuir como material alternativo e obter resultado nas obras.

4.8 Sustentabilidade na construção civil

De acordo com os autores Agopyan e Jonh (2012), o setor da construção civil é considerado indispensável para suprir as necessidades da sociedade, com o objetivo de construir abrigos que ofereça conforto e segurança, e gerar o crescimento para comunidades, empresas e governos. Responsável pela inserção de infraestrutura, parte do consumo de recursos naturais, e por ser um dos maiores de resíduos sólidos e emissão de gases do efeito estufa.

Segundo Bruxel (2009), sustentabilidade se resume em competência que grupos de pessoas ou instituições possuem para desenvolver determinada atividade ou produto, sem abalar drasticamente o meio ambiente. Conceitua como combinação entre os aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais da sociedade.

Conforme Maia Neto (2012), o setor de construção está aquecido, e buscas para crescer no mercado é consequência desta realidade, sendo assim as preocupações ambientais desperta os interesses também, devidos aos problemas gerados no país em razão de resíduos gerados pela construção civil, tomando como proporção cinco vezes maior que os materiais produzidos.

Segundo Agopyan e Jonh (2012), para alcançar a sustentabilidade é necessário sempre a busca por inovação, e que esse conhecimento adquirido seja aplicado em setores produtivos.

A Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura - AsBEA, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - CBCS e outras instituições apresentam diversos princípios básicos da construção sustentável, dentre os quais destacamos:

- Aproveitamento de condições naturais locais.
- Utilizar mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural.
- Implantação e análise do entorno.
- Não provocar ou reduzir impactos no entorno – paisagem, temperaturas e concentração de calor, sensação de bem-estar.
- Qualidade ambiental interna e externa.
- Gestão sustentável da implantação da obra.
- Adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários.

- Uso de matérias-primas que contribuam com a eco-eficiência do processo.
- Redução do consumo energético.
- Redução do consumo de água.
- Reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos.
- Introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável.
- Educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo

A aplicação do pneu no concreto como agregado vai conseguir contribuir muito para preservação do meio ambiente, através da diminuição da extração da areia, a qual é um recurso natural, e também para redução do acúmulo desses resíduos. Atualmente a produção de pneus novos está aproximada em 2 milhões por dia no mundo, sendo que o descarte chega a 800 milhões de peças. Já a areia, cerca de 90% da extração nacional é obtida em leitos de rios, chegando a 155 milhões de metros cúbicos anualmente. E devido o setor da construção civil está em um ritmo acelerado de crescimento, a busca por alternativas pode sim ser uma ótima opção para preservação da natureza, a qualidade de vida e o bem-estar da população. (ROMUALDO, 2011)

5 MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais e métodos utilizados neste estudo foram selecionados a partir das descrições realizadas no referencial teórico, a fim de seguir normas e padrões determinados em outros estudos, para execução deste estudo que compreende em comparar a propriedades mecânicas de um lote de concreto com 0% de substituição do agregado miúdo, aos lotes com 15% e 30% com substituição por raspas de resíduo de pneu.

5.1 Aspectos Gerais

Para verificação da análise em estudo, foi utilizadas raspas de resíduo da borracha de pneu como agregado de substituição parcial do agregado miúdo presente no concreto, oriundo de uma empresa que presta serviços de recapagem na cidade de Arcos – MG.

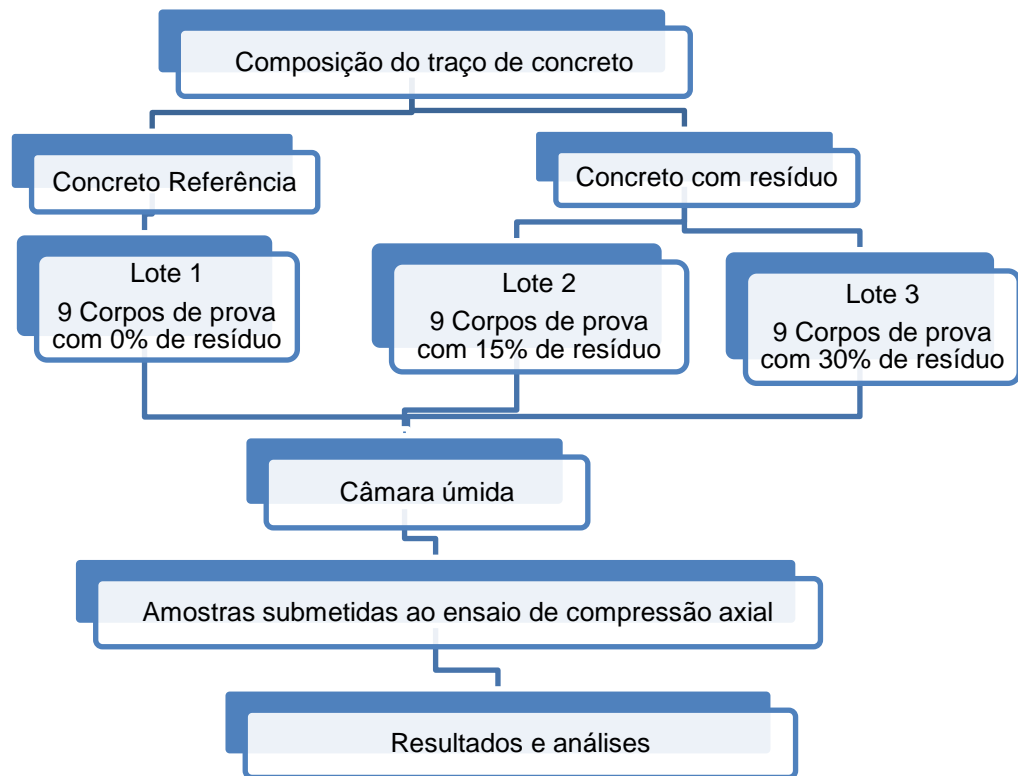
O resíduo foi coletado no pátio da empresa, para determinar massa específica do mesmo, criar a dosagem de substituição e aplicar no concreto para moldagem dos corpos de prova.

Como material aglomerante, utilizou-se cimento portland composto UAU CII-E-32, fabricado pela Mineradora Carmocal localizada na cidade de Pains – MG.

Os materiais utilizados como amostra de agregado graúdo são brita calcária 1 (um) proveniente de uma empresa de mineração localizada na cidade de Arcos - MG, e a amostra de agregado miúdo é areia quartzosa de rio, oriunda do Rio Santana, localizado no município de Japaraíba - MG, ambos materiais coletados no pátio de depósito de materiais para construção civil da cidade de Arcos - MG.

E para execução do estudo seguiu as seguintes etapas ilustradas pelo fluxograma representado pela FIG. 5.

Figura 5 - Fluxograma simplificado do estudo



Fonte: o autor (2015)

5.2 Amostra de aglomerantes e agregados

Para confecção do concreto em análise e moldagem dos corpos de prova, foi necessária a coleta de materiais e junto com eles suas especificações de propriedades dos mesmos, o qual não tinha especificação foi determinado o que era possível para caracterizá-lo.

5.2.1 Cimento Portland

Foi utilizado o cimento portland composto UAU CPII-E, que atende à norma NBR 11578, apresentado como classe 32 por apresentar resistência à compressão

acima de 32 MPa aos 28 dias. É fabricado dentro das mais avançadas técnicas e sistemas de produção com rigoroso controle de qualidade, utilizando, em sua composição, clínquer e escória de alta qualidade. Os resultados médios de resistência a compressão está representado pela TAB. 4.

Tabela 4 – Resultados médios nos períodos

RESULTADOS MÉDIOS NOS PERÍODOS		
fevereiro-05		
CP II E 32	Norma ABNT	Cimento UAU
Resistência a 1 dia (MPa)	-	12,5
Resistência a 3 dias (MPa)	10	22,2
Resistência a 7 dias (MPa)	20	27,6
Resistência a 28 dias (MPa)	32	39,7
Resíduo 200# (%)	12	3,7
Blaine(M ² /Kg)	260	481
Início de pega (min)	60	144
Trióxido de Enxofre (%)	4	2,62
Água de amassamento	27,26	28,92

Fonte: Mineradora Carmocal (2005)

5.2.2 Agregado graúdo

A brita calcária é obtida através do beneficiamento da rocha calcária extraída das jazidas da cidade de Arcos – MG. Após a extração é transportada para dar início ao processo de beneficiamento da matéria prima, o qual é iniciado em um moinho para fragmentação de partes maiores em dimensões para consumo em construção civil ou outro processo que dependa da rocha calcária.

No caso do presente trabalho, utilizou a brita calcária 1 (um) conforme representado pela FIG. 6, atendendo a NBR 7211-2011 – Agregados para concreto – especificação.

Figura 6 – Agregado graúdo, brita 1



Fonte: O autor (2015)

5.2.3 Agregado miúdo

A areia lavada utilizada como amostra de agregado miúdo é obtida através do processo de dragagem nos leitos de rios. As bombas de sucção são acopladas às tubulações que efetuam o transporte da areia na forma de polpa até as peneiras dos silos ou pilhas de minério. Sendo assim pronta para o consumo em obras de construção civil, conforme a FIG. 7.

Figura 7 – Agregado miúdo, areia lavada



Fonte: O autor (2015)

5.2.4 Resíduo de pneu

O resíduo da borracha de pneu utilizado como amostra no estudo, é obtido da banda de rodagem de pneus que são submetidos ao processo de recauchutagem ficando no estado como mostra a FIG. 8.

Figura 8 – Resíduo da borracha de pneu, raspas



Fonte: O autor (2015)

Neste processo é feita a raspagem mecânica da banda de rodagem para que a carcaça do pneu fique apta a sofrer efetivamente o processo de recauchutagem (aderência de uma nova banda de rodagem) e então retorne ao uso. Este processo de raspagem faz com que o restante da banda de rodagem velha fique em forma de pequenas fibras, as quais são classificadas como resíduo inservível resultante do processo.

5.3 Dosagem do concreto

Para determinar o traço de referência utilizado no estudo para confecção dos corpos de prova, utilizou-se o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), o qual foi determinado uma resistência de 15 MPa, pois se tratando de um concreto sem aplicação estrutural, através do método obteve-se o traço 1 : 2,47 : 2,71 : 0,57, sendo cimento, areia, brita e água respectivamente.

De acordo com Pinaffi, Silva e Solina (2013), por causa da areia lavada e o resíduo da borracha de pneu apresentar massas específicas diferentes, foi necessário correções para manter o mesmo volume de concreto produzido, ou seja, para não alterar o rendimento em volume do traço escolhido. Para obter esse fator de correção foi utilizada a seguinte fórmula de peso da borracha:

$$Pb = \frac{\gamma^b}{\gamma^a} . Pa \quad (1)$$

onde:

- Pa – peso da areia em (Kg)
- Pb – peso da borracha em (Kg)
- γ^a – peso específico da areia em (Kg/m³)
- γ^b – peso específico da borracha em (Kg/m³)

A TAB. 5 mostra os quantitativos dos materiais utilizados para realizar 01 (um) metro cúbico do traço de cada lote de concreto para moldagem dos corpos de prova.

Tabela 5 – Materiais para 01 (um) metro cúbico de concreto

Materiais para 1 m ³	LOTE		
	0%	15%	30%
Cimento (Kg)	350,87	350,87	350,87
Areia (Kg)	868,49	737,8	607,6
Brita (Kg)	925,5	925,5	925,5
Borracha (Kg)	-	33,6	67,2
Água (L)	200	200	200

Fonte: O autor (2015)

5.4 Equipamentos utilizados

Os principais equipamentos utilizados para realizar os ensaios, foram os seguintes:

- Balança de precisão tipo roberval;
- Banheira para imersão dos corpos de prova de concreto;
- Conjunto Slump Test, composto por: Forma cônica, funil, placa base, haste

socadora;

- Prensa manual hidráulica;
- Concha redonda;
- Colher de pedreiro 8”;
- Régua biselada de 300 mm;
- Trena de 3 metros
- Moldes metálicos para corpos de prova cilíndricos de dimensões 10x20 cm.

5.5 Ensaios realizados

Para a realização do estudo deste concreto desde o preparo até o seu estado endurecido, foram necessário alguns ensaios para controle tecnológico e obtenção de resultados. Foram moldados 27 corpos de prova como ilustra a FIG. 9 de alguns dos CP, para análise da resistência a compressão axial simples nos períodos de 7,14 e 28 dias de cura.

Figura 9 – Corpos de prova



Fonte: O autor (2015)

5.5.1 *Slump Test*

O ensaio do abatimento do concreto, também conhecido como *Slump Test*, foi realizado para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, buscando medir sua consistência e avaliar se está adequado para o uso a que se destina, seguindo o padrão da NBR NM 67.

Para execução do ensaio foi seguido os seguintes procedimentos:

- Limpar e umedecer o molde e colocá-lo sobre a placa metálica, igualmente limpa e umedecida de acordo com a FIG. 10.

Figura 10 – Conjunto do *Slump Test*, preparado para o ensaio



Fonte: O autor (2015)

- Com o molde fixo pelos pés do operador, foi preenchido com três camadas de concreto em volumes iguais, com o auxílio do complemento tronco cônico, sendo que a última foi preenchido totalmente;
- Cada camada foi adensada com 25 golpes da haste de socamento, distribuídos uniformemente;
- Após o adensamento, retirou-se o complemento tronco cônico, removeu-se o excesso de concreto com o auxílio da colher de pedreiro, limpou após isto a placa metálica em torno do molde;
- Elevou-se o molde pelas alças, levantando-o pela posição vertical, com

velocidade constante, num tempo de (8 ± 2) s;

- O abatimento do tronco de cone é à distância da base superior do molde ao centro da base da amostra, medida através da régua metálica conforme representado pela FIG. 11.

Figura 11 – Aferição do abatimento do concreto



Fonte: O autor (2015)

5.5.2 Compressão axial simples

O ensaio de resistência à compressão de corpo de prova cilíndrico foi executado em uma prensa manual hidráulica conforme a FIG. 12, seguindo os padrões da NBR 5739/2007:

- Determina o diâmetro para cálculo da seção transversal, e altura do eixo longitudinal, com precisão de $\pm 0,1$ mm;
- Os pratos devem ser limpos e secos antes de ser colocado em posição de ensaio. Centralizado no prato inferior, observando o sentido de moldagem;
- O carregamento da força aplicada foi mantido continuamente, sem choques;
- O carregamento só deve cessar quando houver uma queda de força que indique sua ruptura.

A resistência à compressão deve ser calculada de acordo com a NBR 5739/2007 através da seguinte fórmula de cálculo da resistência à compressão:

$$f_c = 4F / (\pi \times D^2) \quad (2)$$

onde:

- f_c é a resistência à compressão, em megapascal;
- F é a força máxima alcançada, em newtons;
- D é o diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros.

Figura 12 – Prensa manual hidráulica



Fonte: O autor (2015)

6 RESULTADOS

6.1 Análise do concreto no estado fresco

Após a mistura dos agregados para preparo do concreto em estudo, com o intuito de verificar a trabalhabilidade do mesmo em seu estado plástico, buscando medir sua consistência e avaliar se está adequado para o uso a que se destina, foram realizados ensaios de abatimento do tronco de cone ou teste de *slump test*. Os resultados encontrados nos ensaios de cada traço estão sendo demonstrado na TAB. 6, sendo possível apurar os valores dos testes.

Tabela 6 – Consistência dos concretos com e sem substituição de areia por resíduos de pneu por meio do teste de *slump*

Concreto	Concreto Referência	Concreto c/ 15% de substituição	Concreto c/ 30% de substituição
<i>Slump (mm)</i>	95	120	160

Fonte: O autor (2015)

Através dos resultados apresentados na TAB.6, nota-se que a consistência da massa do concreto foi diminuindo a medida que o teor de substituição da areia por resíduo de pneu aumentou, apresentando uma grande trabalhabilidade, sendo assim, para uma determinada aplicação deverá reduzir a quantidade de água presente no composto, para atingir o mesmo *slump* do concreto referência.

6.2 Resistência à compressão axial simples

Os resultados encontrados nos ensaios de compressão foram adquiridos rompendo os corpos de provas dos concretos com ou sem substituição da areia por raspas do resíduo de pneu. Sendo que os mesmos foram submetidos aos ensaios nas idades de 7, 14 e 28 dias de cura do concreto.

A média dos valores de resistência encontrados para cada teor de

substituição de agregado aos 7 dias de cura estão descritos na TAB. 7.

Tabela 7 – Média da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 dias de cura

Resistência à compressão					
Substituição	Lotes Nº	Data da moldagem	Data do ensaio	Dimensão do CP (mm)	Resistência média
0%	1	28/09/2015	05/10/2015	100 x 200	9,71
15%	2	28/09/2015	05/10/2015	100 x 200	5,39
30%	3	28/09/2015	05/10/2015	100 x 200	3,61

Fonte: O autor (2015)

Aos analisar os resultados dos 7 dias de cura verifica-se que nenhum dos lotes com substituição conseguiu superar a resistência alcançada pelo concreto com 0% de substituição.

A TAB. 8 demonstra os resultados médios de resistência para cada lote dos concretos, obtidos através do ensaio de compressão aos 14 dias de cura.

Tabela 8 – Média da resistência à compressão dos corpos de prova rompidos aos 14 dias de cura

Resistência à compressão					
Substituição	Lotes Nº	Data da moldagem	Data do ensaio	Dimensão do CP (mm)	Resistência média
0%	1	28/09/2015	12/10/2015	100 x 200	14,94
15%	2	28/09/2015	12/10/2015	100 x 200	5,61
30%	3	28/09/2015	12/10/2015	100 x 200	4,74

Fonte: O autor (2015)

Os resultados aos 14 dias de cura ainda apresenta ser insatisfatório ao ser comparado com o concreto com 0% de substituição de agregados.

A TAB. 9 demonstra os resultados médios de resistência para cada lote dos concretos, obtidos através do ensaio de compressão aos 28 dias de cura.

Tabela 9 – Média da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 28 dias de cura

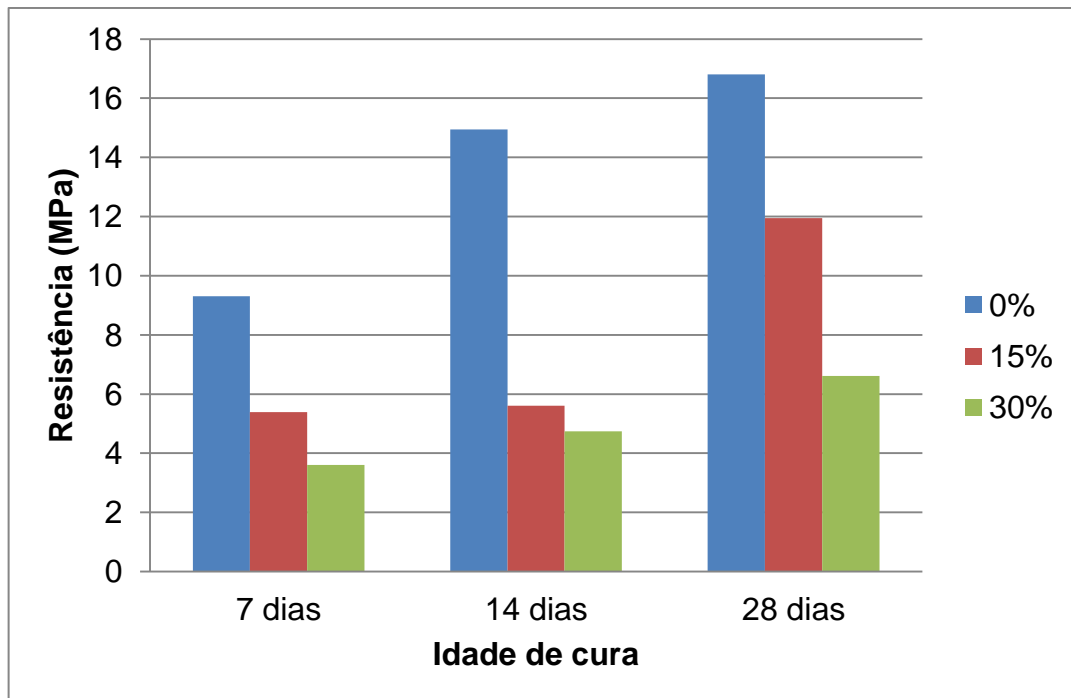
Resistência à compressão					
Substituição	Lotes N°	Data da moldagem	Data do ensaio	Dimensão do CP (mm)	Resistência média
0%	1	28/09/2015	26/10/2015	100 x 200	16,81
15%	2	28/09/2015	26/10/2015	100 x 200	11,94
30%	3	28/09/2015	26/10/2015	100 x 200	6,62

Fonte: O autor (2015)

O mesmo ocorreu com os valores de resistência demonstrados na TAB.9, apresentando resultados para os lotes com substituição de agregado inferior ao resultado obtido pelo lote do concreto com 0% de raspas de resíduo de pneu.

Com os resultados obtidos através dos ensaios, foram comparados com o concreto de referência a fim de analisar a modificação de resistência com o passar dos dias de cura, os quais foram 7, 14 e 28 dias (GRAF. 1).

Gráfico1 – Modificação de resistência



Fonte: O autor (2015)

O GRAF. 1 demonstra os resultados de resistência à compressão obtida para os corpos de prova rompidos com 7, 14 e 28 dias de cura. Apresentando que ao passar dos dias o aumento da resistência foi gradativamente do concreto de referência com 0% de substituição. Sendo que os concretos com substituição de agregados não apresentaram um crescimento tanto quanto ao concreto de referência.

Através dos valores apresentados, nenhuma das substituições foi capaz de superar as resistências à compressão atingidas pelo concreto de referência. E o concreto com teor de 15% de substituição de areia por resíduo de pneu apresentou uma melhor resistência entre os concretos com substituição aos 28 dias de cura.

Os resultados obtidos também foram comparados entre os concretos com substituição e o concreto de referência, a fim de verificar as perdas de resistência com 7, 14 e 28 dias de cura. A TAB.10 compara a resistência do concreto com teores de substituição de agregados ao concreto de referência, e demonstra a perda de resistência nas idades de 7, 14 e 28 dias de cura.

Tabela 10 – Perda de resistência

Concreto	Comparação com o concreto de referência					
	Idade (7 dias)		Idade (14 dias)		Idade (28 dias)	
	Resistência (MPa)	Perda de resistência (%)	Resistência (MPa)	Perda de resistência (%)	Resistência (MPa)	Perda de resistência (%)
Referência	9,71		14,94		16,81	
15% de substituição	5,39	44,49	5,61	62,45	11,94	28,95
30% de substituição	3,61	62,82	4,74	68,27	6,62	60,64

Fonte: O autor (2015)

A TAB. 10, mostra que houve perda na resistência a compressão dos concretos com substituição de areia por resíduo de pneu, em relação ao concreto de referência sem substituição. Apresentando que aos 7 dias de cura do concreto houve uma perda de 44,49% na resistência com 15% de substituição, a perda de resistência também foi de 62,82% do concreto de 30% de substituição. Com a idade de 14 dias de cura, o concreto com 15% de substituição teve uma perda de 62,45%

de resistência, com 30% de substituição chegou a 68,27% a perda de resistência em relação ao concreto de referência. Aos 28 dias de cura do concreto ocorreu um decréscimo de resistência de 28,95% com 15% de substituição de agregado, já com 30% de substituição a perda foi de 60,64% de resistência em comparação com o concreto de referência.

Na análise dos resultados obtidos através dos ensaios de compressão axial simples, a substituição mais satisfatória de agregado foi a do lote 15% de resíduo de borracha de pneu em relação ao volume de areia do traço calculado para o concreto de referência, conseguindo alcançar apenas 11,94 MPa de resistência média a compressão aos 28 dias de cura, não atingindo a resistência esperada que foi calculada para o traço do concreto.

Os resultados também mostram que o concreto produzido através da substituição de agregados por resíduos de pneu pode ser aplicados em obras que não necessitem de uma resistência característica maior que 15 MPa, como exemplo desta aplicação, produção de blocos de concreto simples para alvenaria sem função estrutural – NBR 7173/82, meio fio de ruas, bancos de pontos de ônibus, postes de pequeno porte para cerca e iluminação pública, dentre outros.

No entanto, sugere-se novos estudos com quantidades de substituições menores que os teores utilizados no estudo realizado, a fim de alcançar resistências maiores para utilização em estruturas de baixas resistência.

7 CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados obtidos no estudo verifica-se que a substituição do agregado miúdo (areia) por resíduo da borracha de pneu não foi satisfatória quanto ao esperado, pois não atingiu os 15 MPa de resistência à compressão, conforme a resistência calculada para o traço do concreto de referência a ser comparado.

Mesmo os concretos com teores de substituições em estudo não conseguindo atingir o objetivo de resistência determinado, podem ser aplicados em outras estruturas que não exijam resistência conforme a especificada para o estudo, como exemplo, produção de blocos de concreto simples para alvenaria sem função estrutural – NBR 7173/82, meio fio de ruas, bancos de pontos de ônibus, postes de pequeno porte para cerca e iluminação pública, dentre outros.

Com as possibilidades destas aplicações, o consumo de fontes naturais de extração de agregados vai ser reduzido, além da redução da emissão atmosférica de poluentes, sendo assim deixando de ser um problema ambiental e de saúde pública, devido também aos grandes depósitos de pneus inservíveis a céu aberto existente, tornando uma fonte de material alternativo a ser empregado no concreto que é um material que está presente desde as pequenas edificações residenciais às grandes obras de infraestrutura.

Mas para conseguir alcançar a resistência determinada em estudo que foi de 15 MPa de resistência à compressão, ou até mesmo em outras aplicações, será necessários um novo estudo com outros teores de substituições diferentes, utilizar um maior número de amostras de corpos de prova ou até mesmo uma nova dosagem de agregados para o concreto conseguir atingir o objetivo o qual for determinado.

REFERÊNCIAS

ROMANO, C. A. **Apostila de tecnologia do concreto**. 2004. 102 p. Extrato do manual de tecnologia do concreto (Curso de Engenharia de Produção Civil)-Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de cimento Portland**. 2 ed. Rio Grande do Sul: Globo, 1975.

RIBEIRO, C; PINTO, J; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 2 ed. Minas Gerais: UFMG, 2006.

MANO, E; PACHECO, E; BONELLI, C. **Meio ambiente, poluição e reciclagem**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2005.

AGOPYAN, V; JONH, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. 5 ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BRANCO, C. P.; PIERETTI, R. A. **Avaliação da resistência do concreto curado entre -5° e 0°C**. 2012. 40p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnólogo de Concreto)-Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro. 2009.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro. 2009.

_____. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2004.

_____. **NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro. 2004.

_____. **NBR11578: Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro. 1991.

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

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro. 2002.

_____. **NBR 7173**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro. 1982.

RIBEIRO, R. M. **Concreto aparente**: uma contribuição para a construção sustentável. 2010. 101p. Monografia (Especialização em construção civil)-Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG-MG, Belo Horizonte, 2010.

BRUXEL, D. F. **Concreto com adição de borracha**: estudos dos efeitos térmicos. 2009. 106p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2009.

ALBUQUERQUE, A. C. **Estudo das propriedades de concreto massa com adição de partículas de borracha de pneu**. 2009. 257p. Tese (Pós graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

BATTAGIM, A. F., São Paulo, nov. 2009. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>>. Acesso em: 16 de Out. 2015.

PINAFFI, C. D.; SILVA, N. C.; SOLINA, M. R. F. **Estudo e análise da fabricação de concreto a partir do uso de borracha de pneus**. 2013. 106p. Encontro de ensino, pesquisa e extensão, Presidente Prudente, 2009.

APÊNDICE A -MEMÓRIA DE CÁLCULOS DO TRAÇO DO CONCRETO DE REFERÊNCIA PARA CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Dados:

- Cimento CII – E32
- $\gamma_c = 3100 \text{ kg/m}^3$
- Fck do concreto = 15 MPa
- Abatimento = 100+/- 20mm
- Desvio padrão (sd) = 7MPa – Cimento medido em massa, agregados e água em volume, umidade dos agregados estimada.
- Brita 1
- $D_{\text{máx}} = 25\text{mm}$
- $\gamma_b = 2700\text{kg/cm}^3$
- $M_u = 1500\text{kg/m}^3$
- Areia grossa
- MF = 3,4
- $\gamma_m = 2600\text{kg/m}^3$
- $\gamma_a = 1000\text{kg/m}^3$

Para se calcular o Fck desejado aos 28 dias de cura utiliza-se a Equação 1.

$$F_{C28} = f_{ck} + 1,65 \times s_d \quad (1)$$

onde:

Fck = resistência desejada;

Sd = desvio padrão

$$F_{C28} = 15 + 1,65 \times 7$$

$$F_{C28} = 26,69 \text{ Mpa}$$

Para a relação de água/cimento utilizou-se a curva de Abrams.

Curva de Abrams $F_{a/c} = 0,77$

O consumo de água é em relação ao valor de abatimento desejado. Para o consumo de cimento usa-se a Equação 2.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (2)$$

Sendo:

C_a = consumo de água;

a/c = relação de água / cimento.

$$C_c = \frac{200}{0,77}$$

$$C_c = 350,87 \text{ kg/m}^3$$

Para o cálculo do consumo de agregado graúdo utiliza-se a Equação 3.

$$C_b = V_b \times U_m \quad (3)$$

onde:

V_b = volume do agregado graúdo seco por m^3 de concreto em relação o módulo de finura da areia;

U_m = massa unitária compactada do agregado graúdo.

$$V_b = 0,635$$

$$C_b = 0,6355 \times 1500 = 952,50 \text{ kg/m}^3$$

Para o cálculo do consumo de agregado miúdo usa-se a Equação 5.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_m}{\gamma_m} \right)$$

Sendo:

V_m = volume de areia;

C_c = consumo de cimento;

C_b = consumo de brita;

C_a = consumo de água;

γ_c = massa específica do cimento;

γ_b = massa específica da brita;

γ_a = massa específica da água.

$$V_m = 1 - \left(\frac{350,87}{3100} + \frac{952,50}{2700} + \frac{200}{1000} \right)$$

$$V_m = 1 - 0,665$$

$$V_m = 0,335$$

Para o cálculo do consumo de areia em kg usa-se a Equação 4.

$$C_m = \gamma_m \times V_m \quad (4)$$

Onde:

γ_m = massa específica da areia;

V_m = volume de areia.

$$C_m = 0,335 \times 2600$$

$$C_m = 868,49 \text{ kg/m}^3$$

A apresentação do traço é feita pela Equação 7.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c}$$

Sendo:

C_c = consumo de cimento;

Cb = consumo de brita;

Ca = consumo de água;

Cm = consumo de areia.

$$\frac{350,87}{350,87} : \frac{868,49}{350,87} : \frac{952,50}{350,87} : \frac{952,50}{350,87}$$

$$1 : 2,47 : 2,71 : 0,57$$

APÊNDICE B – MEMÓRIA DE CÁLCULOS DAS SUBSTITUIÇÕES DE AGREGADOS NO TRAÇO DO CONCRETO DE REFERÊNCIA PARA CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Dados:

- $\gamma_b = 377 \text{ kg/m}^3$
- $\gamma_a = 1460 \text{ kg/m}^3$
- $P_a = 868,49 \text{ Kg}$

Para se calcular o peso da borracha necessária para substituir totalmente a areia necessária para 1m^3 do traço de concreto referência calculado, utiliza-se a Equação 5.

$$P_b = \frac{\gamma_b}{\gamma_a} \cdot P_a \quad (5)$$

Onde:

- P_b = peso da borracha em 1m^3 de concreto;
- P_a = peso da areia em 1m^3 de concreto;
- γ_b = peso específico da borracha (Kg/m^3);
- γ_a = peso específico da areia (Kg/m^3)

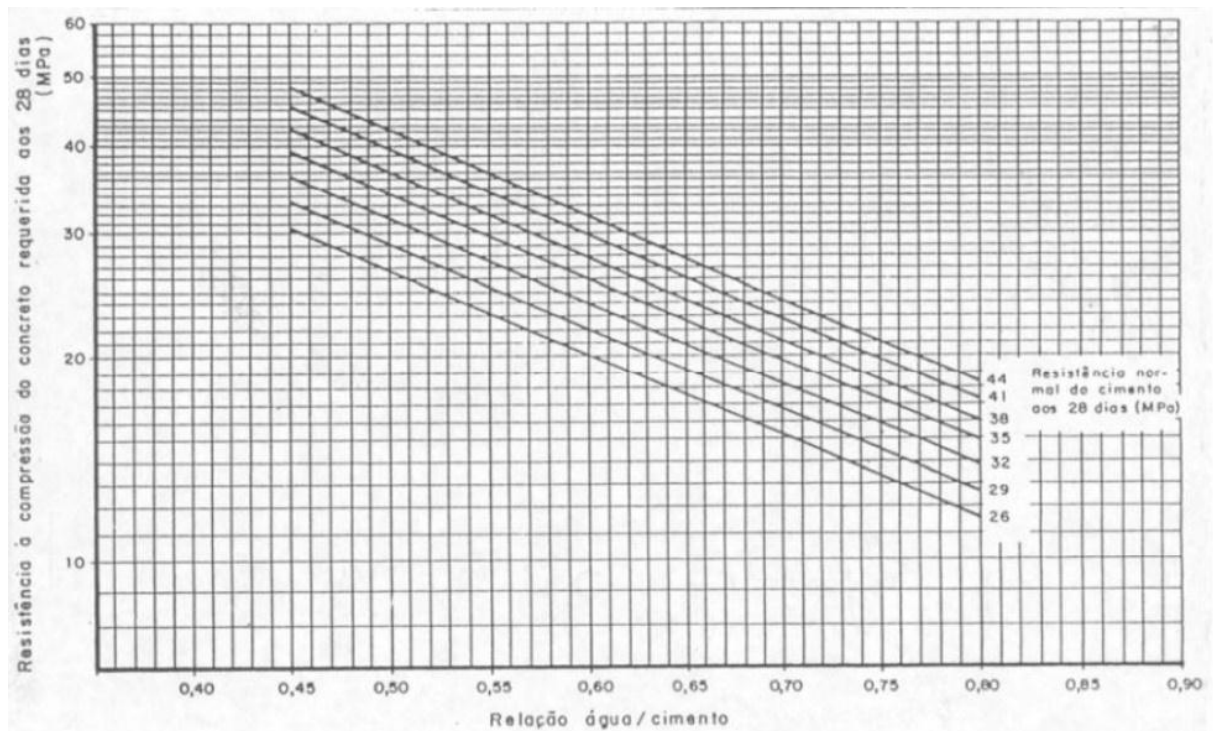
$$P_b = \frac{377}{1460} \cdot 868,49$$

$$P_b = 224,13 \text{ Kg/m}^3$$

ANEXO A – TABELAS UTILIZADAS PARA OS CÁLCULOS DOS TRAÇOS DE CONCRETOS COM 0%, 15% E 30% DE SUBSTITUIÇÃO DE RESÍDUOS DE PNEU

A figura e as tabelas abaixo se referem ao conteúdo do método ABCP utilizado para o cálculo do traço do concreto realizado na parte experimental desse trabalho.

Figura 13 – Curva de abrams



Fonte: Romano (2004)

Tabela 11 – Determinação do consumo de água (Ca)

Consumo de água aproximado (l/m ³)					
Abatimento (mm)	D _{máx} agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Romano (2004)

Tabela 12 – Determinação do volume do agregado graúdo seco por m³ de concreto em relação o módulo de finura da areia

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,8	0,645	0,77	0,795	0,82	0,845
2	0,625	0,75	0,775	0,8	0,825
2,2	0,605	0,73	0,755	0,78	0,805
2,4	0,585	0,71	0,735	0,76	0,785
2,6	0,568	0,69	0,715	0,74	0,765
2,8	0,545	0,68	0,695	0,72	0,745
3	0,525	0,65	0,975	0,7	0,725
3,2	0,505	0,63	0,655	0,68	0,705
3,4	0,485	0,61	0,635	0,66	0,685
3,6	0,465	0,59	0,615	0,64	0,665

Fonte: Romano (2004)

Tabela 13 – Condições de preparo do concreto

Condição de preparo em função do desvio padrão (sd)	
Condição A sd = 4,0 Mpa	Materiais dosados em massa e a água de amassamento é corrigida em função da correção de umidade dos agregados. Classe C 10 a C 80.
Condição B sd = 5,5 Mpa	Cimento dosado em massa, agregados dosados em massa combinada com volume, a umidade do agregado miúdo é determinada e o volume do agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento. Classe C 10 a C 25.
Condição C sd = 7,0 Mpa	Cimento medido em massa, agregados e água em volume, umidade dos agregados estimada. Classe C 10e C 15.

Fonte: Romano (2004)

Tabela 14 – Zonas de módulo de finura da areia

Zonas de módulo de finura da areia		
Tipo de areia	MF	
Areia fina	1,55 a 2,20	Na faixa de zona utilizável inferior
Areia média	2,20 a 2,90	Na faixa de zona ótima
Areia grossa	2,90 a 3,50	Na faixa de zona utilizável superior

Fonte: Romano (2004)

Tabela 15 –Classificação comercial do agregado graúdo para concreto

Classificação comercial do agregado graúdo para concreto	
Tipo de brita	Finura (mm)
Brita 0	4,8 a 12,5
Brita 1	9,5 a 25
Brita 2	19 a 32
Brita 3	25 a 50
Brita 4	38 a 75

Fonte: Romano (2004)

Tabela 16 – Pesos específicos dos materiais

PESOS ESPECÍFICOS DOS MATERIAIS (Kg / m³)			
Areia (aparente)	Resíduo de pneu	Brita	Cimento
1460	377	1350	1200

Fonte: O autor (2015)