

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE TECNOLOGIA EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

PATRÍCIA MOCELIN MARTINS

**CONCRETO COM ADIÇÃO DE BORRACHA, SUCATAS DE PNEUS –
UMA ABORDAGEM DO MÓDULO DE ELASTICIDADE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2013

PATRICIA MOCELIN MARTINS

**CONCRETO COM ADIÇÃO DE BORRACHA, SUCATAS DE PNEUS –
UMA ABORDAGEM DO MÓDULO DE ELASTICIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Materiais para Edificações da Coordenação de Engenharia Civil – COECI da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Sergio Roberto Oberhauser Quintanilha Braga.
Co-orientador: Maiko Cristian Sedoski

CAMPO MOURÃO

2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**CONCRETO COM ADIÇÃO DE BORRACHA, SUCATAS DE PNEUS – UMA
ABORDAGEM DO MÓDULO DE ELASTICIDADE**

por

Patrícia Mocelin Martins

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16h00 do dia 11 de abril de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de TECNÓLOGO EM MATERIAIS PARA EDIFICAÇÕES, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho: aprovado.

Prof. Evandro L. Volpato
(UTFPR)

Profª. Msc. Angelo Giovanni Bonfim
Corelhano
(UTFPR)

Prof. Sergio Roberto O. Q. Braga
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Msc. Valdomiro Lubachevski Kurta**
Coordenador do Curso de Engenharia Civil: **Prof. Dr. Marcelo Guelbert**

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos são dirigidos aos amigos e familiares que prestaram os melhores incentivos para a concretização deste trabalho.

Ao professor Sergio Roberto Oberhauser Quintanilha Braga que me incentivou e me apoiou no decorrer do curso, e aos meus companheiros de turma Letícia, Rafael, Tasyane e demais colegas.

Ao amigo Maiko Cristian Sedoski, pois sem ele este trabalho não estaria sendo defendido.

Aos meus familiares que me apoiaram no decorrer do percurso.

A todos os demais colegas, professores e funcionários Da Universidade Tecnológica Federal Do Paraná – Campus Campo Mourão, que direta ou indiretamente, participaram na elaboração deste trabalho.

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

RESUMO

MARTINS, Patrícia Mocelin. **Concreto com adição de borracha, sucatas de pneus – Uma abordagem do módulo de elasticidade**. 2013. Número total de folhas 47. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Tecnologia em Materiais de Construção Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar o módulo de elasticidade do concreto simples, comparado com o módulo de elasticidade do concreto com adições de 5% e 10% de borracha de pneus, assim como avaliar a resistência à tração dos mesmos. Para o estudo foram moldados 12 corpos-de-prova para cada traço de concreto, 0% de substituição, 5% de substituição e 10% de substituição. Os corpos-de-prova foram moldados de acordo com a norma específica. A análise do módulo de elasticidade mostrou que o concreto sem adições de borracha atingiu um módulo equivalente a 36 GPa, o corpo-de-prova com adição de 5% 28 GPa e o corpo-de-prova com 10% 24 GPa. A resistência a compressão apresentou valores de 3,46 GPa, 2,16 GPa e 1,71 Gpa respectivamente.

Palavras-chave: Concreto. Módulo de elasticidade. Resistência à compressão.

ABSTRACT

MARTINS, Patrícia Mocelin. **Concreto com adição de borracha, sucatas de pneus – Uma abordagem do módulo de elasticidade.** 2013. Número total de folhas 47. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Tecnologia em Materiais de Construção Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

This work has as main objective to analyze the modulus of elasticity of concrete simple compared to the modulus of elasticity of concrete with additions of 5% and 10% rubber tires, as well as evaluating the resistance to traction the same. For the study were molded specimens 12 of the test piece for each concrete mix, 0% substitution, 5% substitution and 10% substitution. The specimens were shaped according to the specific standard. Analysis of modulus showed that the concrete without additions rubber has reached a modulus equal to 36 GPa, specimens with addition of 5% 28 GPa and specimens with 10% 24 GPa. The compressive strength values were 3.46 GPa, 2.16 GPa and 1.71 GPa respectively.

Keywords: Concrete. Modulus of elasticity. Resistance to traction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diferentes tipos de módulo de elasticidade no gráfico Tensão x Deformação	16
Figura 2 - Diagrama tensão-deformação do concreto	17
Figura 3 - Evolução da resistência à compressão (BARBOSA et all 2006).....	18
Figura 4 - Ensaio de tração por compressão diametral.	20
Figura 5 - Resistência à compressão dos corpos de prova.....	22
Figura 6 - Medidor Mecânico	24
Figura 7 - Raspas de Pneu	27
Figura 8 - Ensaio de massa específica do agregado miúdo.....	28
Figura 9 - Curva granulométrica do agregado miúdo	29
Figura 10 - Curva granulométrica do agregado graúdo	30
Figura 11 - Detalhe dos materiais obtidos na dosagem.....	33
Figura 12 - Materiais para moldagem dos corpos de prova	34
Figura 13 - Materiais para moldagem dos corpos de prova com raspas de pneus....	34
Figura 14 - Moldes para os corpos-de-prova sobre a mesa vibratória	35
Figura 15 - Corpos de prova 0% substituição	35
Figura 16 - Corpos de prova 5% substituição	36
Figura 17 - Corpos de prova 10% substituição.....	36
Figura 18 – Ciclo de carregamento ABNT 8522/1994.....	37
Figura 19 – Instrumentação do corpo-de-prova	38
Figura 20 - Relação entre a resistência e o teor de borracha	40
Figura 21 - Ensaio de tração à compressão diametral.....	42
Figura 22 - Determinação da resistência à tração por compressão diametral.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Granulometria do agregado miúdo.....	27
Tabela 2 - Composição granulométrica do agregado graúdo	29
Tabela 3 - Consumo de água aproximado	31
Tabela 4 - Consumo de materiais	32
Tabela 5 - Traços do concreto.....	33
Tabela 6 - Módulo de Elasticidade	39
Tabela 7 - Resistência à compressão estimada e efetiva	40
Tabela 8 – Comparativo entre o módulo de elasticidade efetivo e estimado ...	41
Tabela 9 - Resistência à tração por compressão diametral	41
Tabela 10 - Resistência a tração estimado	43

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DE TABELAS	8
1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Caracterização dos materiais	11
2.1.1 Concreto.....	11
2.1.2 Cimento.....	11
2.1.3 Agregado.....	12
2.1.4 Raspas De Pneu	12
2.2 DEFORMAÇÕES DO CONCRETO	14
2.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	14
2.3.1 Tipos De Módulo De Elasticidade.....	16
2.4 MÓDULO DE POISSON.....	18
2.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	19
2.6 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA	21
2.7 OBTENÇÃO DAS DEFORMAÇÕES.....	23
2.7.1 Extensores Mecânicos	23
2.7.2 Extensores do Tipo Carlson.....	24
2.7.3 Extensores do Tipo Strain Gages.....	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	26
3.1.1 Cimento.....	26
3.1.2 Agregados Miúdos.....	26
3.1.2.1 Borracha de pneus.....	26
3.1.2.2 Areia	27
3.1.3 Agregado Graúdo.....	29
3.1.3.1 Brita	29
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1 ENSAIO MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	36
4.2 ENSAIO RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	41
5 CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

O número de pneus inservíveis descartados de maneira indevida tem crescido gradativamente de acordo com o aumento de sua produção. A destinação final deste material ainda é um problema para o meio-ambiente, pois a grande maioria destes acaba não tendo sua correta destinação, trazendo assim prejuízos ambientais e sociais sem dimensões. O tema do presente estudo é análise do módulo de elasticidade do concreto simples e com adição de sucata de borracha, análise da tração direta dos concretos elaborados com sucatas em comparação ao concreto de referência, visando o aproveitamento destes resíduos retirando-os do meio ambiente e dando uma destinação adequada.

Sabe-se que o concreto é um produto versátil, podendo assim admitir agregados de diferentes origens, contudo faz-se necessário avaliar as alterações em suas propriedades como resistência à tração, dureza, ductibilidade, durabilidade, módulo de elasticidade entre outros.

Diversos autores têm estudado essas propriedades, contudo os resultados ainda não estão padronizados, em função de uma não parametrização característica do comportamento do material.

Assim o objetivo geral desta pesquisa foi a avaliação das características mecânicas do concreto padrão e concreto com adição. Para tanto, tem-se como objetivos específicos:

- Determinação do módulo de elasticidade ou deformação do concreto padrão e com adição de acordo com a rotina prescrita na NBR 8522/2003;
- Determinação da resistência à tração direta do mesmo material conforme rotina prescrita na NBR 7222/1994.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

2.1.1 Concreto

O concreto é um material de construção largamente utilizado, isso deve-se a sua alta resistência e sua viabilidade de moldes. O concreto é muito utilizado como material de engenharia por três razões segundo MEHTA;MONTEIRO (2008): primeiro por sua excelente resistência à água, pois tem alta capacidade de enfrentar a ação das águas sem graves deteriorações; o segundo motivo é a facilidade para moldagem de formas e tamanhos; o terceiro motivo é o baixo custo e a rápida disponibilidade do material para a obra. Segundo GIAMUSSO 1992 o concreto é constituído por uma mistura de água, cimento e agregados inertes, em partículas de diversos tamanhos. A água e o cimento formam uma pasta que com o tempo se endurece adquirindo resistência mecânica e aderindo às partículas de agregado. Também o concreto oferece boa resistência à compressão, parâmetro significativo enquanto material estrutural (BARBOSA *et all.* 2006). MEHTA E MONTEIRO (2008) dividem o concreto em três categorias com base na resistência à compressão:

- Concreto de baixa resistência: menos de 20 MPa ;
- Concreto de resistência moderada: de 20 MPa a 40 MPa;
- Concreto de alta resistência: mais de 40 MPa.

O concreto de moderada resistência é utilizado na maioria das obras estruturais e o concreto de alta resistência é utilizado para aplicações especiais.

2.1.2 Cimento

Segundo GIAMUSSO (1992) o cimento é um produto constituído principalmente por silicatos e aluminatos de cálcio, que, depois de hidratados,

funcionam como uma cola que liga as partículas de agregado entre si. Do tipo de cimento depende a resistência da pasta e, portanto, também a resistência do concreto. Segundo NEVILLE (1923) o cimento de alta resistência inicial desenvolve a resistência mais rapidamente. O uso de cimento de alta resistência inicial é indicado onde se necessita uma evolução rápida da resistência.

2.1.3 Agregado

O agregado é um componente inerte a função de material de enchimento e de material resistente, constituídos por partículas que devem ser cimentadas entre si pela pasta, resultante da hidratação da mistura de cimento e água. Ainda segundo GIAMUSSO 1992, o agregado ocupa entre 60% e 80% do volume total do concreto. Os agregados se subdividem em agregados graúdos e agregados miúdos, de acordo com o tamanho das partículas, que é definido por aberturas de malhas de peneiras. Denomina-se agregado graúdo aquele cujas partículas são retidas em uma peneira com malha quadrada com aberturas de lado igual a 4,8 mm. O agregado cujas partículas passam nessa peneira é denominado agregado miúdo. Segundo SEGRE (1999) as quantidades de areia e brita na mistura tem influencia na trabalhabilidade e na resistência. A brita aumenta a resistência e a areia a trabalhabilidade, diminuindo a porosidade. A porosidade por sua vez tem influencia na impermeabilidade e conseqüentemente na durabilidade das estruturas confeccionadas em concreto.

2.1.4 Raspas De Pneu

No ano de 2012, segundo dados da ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos), o setor pneumático produziu 62,7 milhões de unidades. O acúmulo de pneus usados representa um passivo ambiental de 100 milhões de carcaças no Brasil. As tecnologias mais comuns para dar destino aos pneus usados são a recauchutagem, a regeneração, a reciclagem energética, a composição asfáltica,

além de outras formas de reutilização.

A Resolução CONAMA 258/99 determina que os fabricantes sejam os responsáveis por dar destino aos pneus inservíveis e, atualmente está sendo atendida, principalmente, através da queima de carcaças em cimenteiras.

“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.”

O material moído tem, no Brasil, três aplicações principais, sendo que a primeira, apresentada abaixo, é seu uso mais comum:

- Nos fornos de fábricas de cimento é usado como combustível sendo os resíduos sólidos resultantes incorporados ao cimento;
- Na produção de saltos e solados de calçados, mangueiras, tapetes para automóveis, entre vários outros produtos;
- Na mistura com asfalto para a pavimentação de vias e pátios de

estacionamento, sendo que esta tecnologia encontra-se ainda em fase experimental.

2.2 DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

A substituição dos agregados convencionais por agregados leves para obtenção de concretos leves estruturais, além da redução da massa específica, ocasiona alterações significativas em importantes propriedades do concreto, como por exemplo, no valor do módulo de deformação (ROSSIGNOLO 2011).

Segundo RUSCH (1980) o concreto sofre deformações dos seguintes tipos:

- Deformidades independentes do carregamento: não tem direção definida e por isto são frequentemente chamadas de variações de volume e suas causas são: retração e variações de temperatura.
- Deformações que dependem do carregamento: têm direção definida, distinguindo-se em: deformação elástica instantânea, plástica e fluência.

Segundo MEHTA e MONTEIRO 2008, o ponto mais importante das deformações causadas pela tensão aplicada e pelos efeitos térmicos e relativos à umidade no concreto é se a interação entre eles conduz ou não à fissuração. A retração é apenas um dos fatores que governam a fissuração do concreto, outros fatores são:

- Módulo de elasticidade: quanto menor o módulo de elasticidade, menor será a quantidade de tensão de tração elástica induzida para uma dada magnitude de retração;
- Fluência: aumento da deformação sem que haja uma mudança no carregamento da peça;
- Resistência à tração: quanto maior a resistência a tração, menor será o risco de a tensão de tração exceder a resistência e fissurar o material.

2.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Segundo a EQUIPE DE FURNAS (2007), o módulo de elasticidade é uma medida da resistência à deformação elástica do material. O conhecimento do módulo de elasticidade é fundamental na análise das deformações elásticas ou viscoelásticas das estruturas de concreto. Quando se aplica uma carga de compressão em um corpo-de-prova, ele deforma-se proporcionalmente em relação à carga aplicada, dentro do limite elástico, conforme a Lei de Hooke que descreve a força restauradora que existe em diversos sistemas quando comprimidos ou distendidos. Qualquer material sobre o qual exercermos uma força sofrerá uma deformação, que pode ou não ser observada.

Enquanto a deformação for pequena diz-se que o material está no regime elástico, ou seja, retorna à sua forma original quando a força que gerou a deformação cessa. Quando as deformações são grandes, o material pode adquirir uma deformação permanente, caracterizando o regime plástico.

Segundo NETO, HELENE (2002), o conceito de elasticidade é aplicado a materiais que tenham comportamento linear, contudo isso somente acontece com aplicação de cargas pequenas, a partir de 50% das tensões suportáveis aplicadas, este conceito pode não ser mais verdade. No caso do concreto ele deixa de ser linear antes de atingir 50% da tensão, comportamento explicado pelo processo de microfissuração progressiva do concreto sob cargas, por isso alguns preferem denominar “módulo de deformação” invés de “módulo de elasticidade”.

NETO e HELENE dizem ainda que os materiais constituintes do concreto possuem módulo de elasticidade diferentes do concreto em si. Os agregados graúdos tem módulo variando a partir de 35 GPa (Giga Pascal) e a pasta de cimento variando a partir de 16 GPa, sendo assim a deformação do concreto será um valor intermediário entre módulo do agregado e da pasta.

Segundo a NBR 6118/2003, quando não forem feitos ensaios e não existirem dados mais precisos sobre o concreto usado na idade de 28 dias, pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade usando a expressão:

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2}$$

Equação 1 - Módulo de elasticidade

onde: E_{ci} e f_{ck} são dados em megapascal.

2.3.1 Tipos De Módulo De Elasticidade

São utilizados três métodos para calcular o módulo de elasticidade segundo MEHTA e MONTEIRO 2008.

- Módulo tangente: é dado pela declividade de uma linha traçada de forma tangente à curva de tensão-deformação em qualquer ponto da curva.
- Módulo secante: é dado pela declividade de uma linha traçada da origem até um ponto da curva, que corresponde à tensão de 40% da carga de ruptura.
- Módulo cordal: é dado pela inclinação de uma linha traçada entre dois pontos da curva tensão-deformação.

Segundo a norma ABNT NBR 8522:2008, o módulo de deformação estático para um concreto sob compressão axial é determinado a partir da declividade da curva tensão-deformação obtida em ensaios de corpos de prova cilíndricos. Submete-se o corpo de prova a cargas crescentes e mede-se a deformação correspondente a cada incremento de carga. Os tipos de módulo de deformação estático estão relacionados a diferentes estágios de carga, e devem ser escolhidos de acordo com o objetivo do ensaio. A figura 1 apresenta tipos de representação do módulo estático de elasticidade do concreto sujeito à compressão.

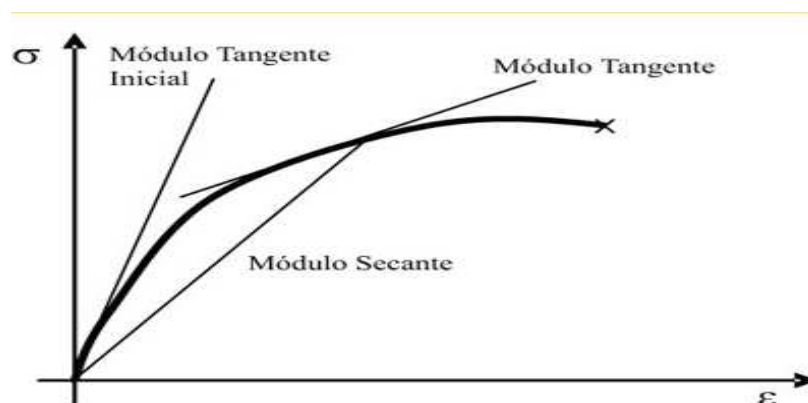


Figura 1 - Diferentes tipos de módulo de elasticidade no gráfico Tensão x Deformação

A Lei de Hooke é percebida com a realização do ensaio de tração e deste é obtido o gráfico de Tensão x Deformação. O comportamento linear mostrado no

início do gráfico está afirmando que Tensão é proporcional a Deformação. A figura 2 apresenta o diagrama Tensão x Deformação ($\sigma_c \times \epsilon_c$), obtido em um ensaio de compressão simples de concreto, onde observa-se uma proporcionalidade direta entre tensão e deformação. O trecho descendente do diagrama é obtido em um ensaio com velocidade de deformação controlada.

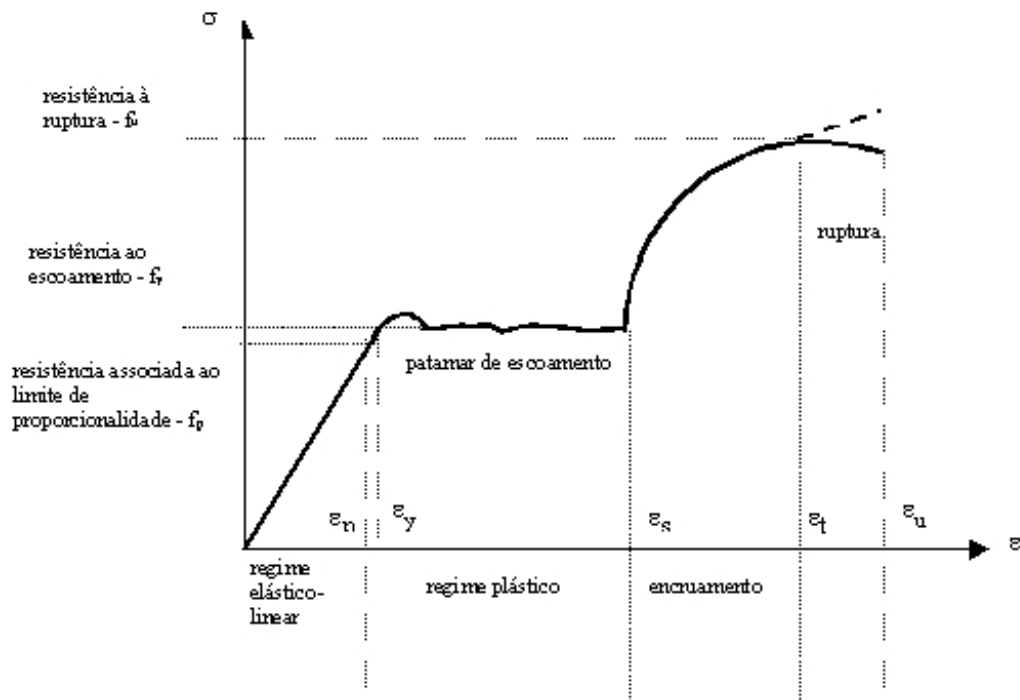


Figura 2 - Diagrama tensão-deformação do concreto

Embora não obedeça à Lei de Hooke, considera-se a existência do módulo de elasticidade do concreto. Os concretos muito resistentes têm maior inclinação na origem da curva tensão x deformação, porém os concretos menos resistentes rompem com deformações maiores, apresentando assim maior capacidade de acomodação plástica. Os concretos muito resistentes são relativamente frágeis.

O diagrama de tensão-deformação pode caracterizar diversas características do material segundo NASH (1982), dentre elas:

- Limite de proporcionalidade: representa o valor máximo da tensão.
- Limite de elasticidade: ele representa a tensão máxima que pode ser aplicada ao material sem que apareçam deformações residuais, ou permanentes, após a retirada da carga externa;

- Região elástica: trecho compreendido da curva tensão-deformação, compreendido entre a origem e o limite de proporcionalidade;
- Região plástica: trecho o diagrama compreendido entre o limite de proporcionalidade e o ponto correspondente à ruptura do material;
- Limite de escoamento: momento onde se observa grandes deformações do material após pequenos incrementos de carga ou de carregamento.

MARQUES; NIRSCHL; AKASAKI (2006) afirma que a adição de pneus ao concreto provoca queda na resistência à compressão, isso pode ser atribuído à falta de aderência entre a pasta e o resíduo de borracha e também a substituição de um agregado por outro de menor resistência e maior deformabilidade.

BARBOSA *et all* (2006) mostra que corpos de prova com adição de borracha diminuem a resistência à compressão como esperado. Conforme mostra a figura 3, o concreto com adição de 3% de borracha teve resistência superior ao concreto com adição de 5%.

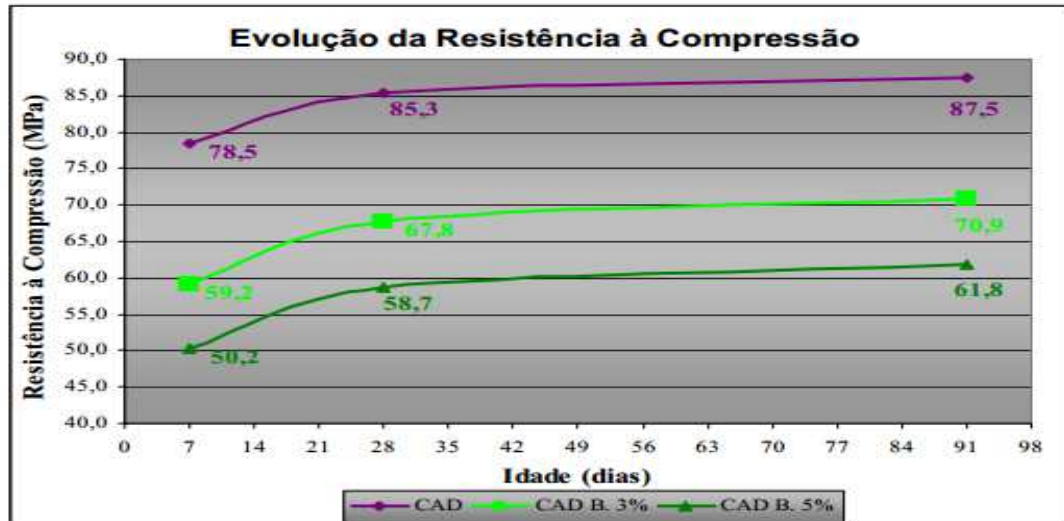


Figura 3 - Evolução da resistência à compressão (BARBOSA et all 2006)

2.4 MÓDULO DE POISSON

Conforme BOTELHO (1998), quando comprime ou traciona longitudinalmente um corpo, suas dimensões transversais sofrem mudanças. Na tração, cada uma das

dimensões transversais diminui e, na compressão, as outras duas dimensões transversais aumentam. A relação entre a deformação longitudinal e cada dimensão transversal é característica de cada material e corresponde ao Módulo de Poisson. O módulo de Poisson varia de 0 a 0,5. Para o aço, é de cerca de 0,3; para o concreto, de cerca de 0,15.

O fenômeno da diminuição das dimensões transversais de um corpo, ao sofrer estiramento, chama-se “estricção”.

O Módulo de Poisson é da do pela seguinte fórmula:

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1$$

Equação 2 - Módulo de Poisson

Onde: E é o módulo de deformação

G é o módulo de rigidez.

O módulo G é determinado, normalmente, pela frequência de ressonância de vibração por torção.

Para a determinação do coeficiente de Poisson, a deformação transversal pode ser determinada por um extensômetro não embutido, capaz de medir com aproximação de 25 micropolegadas (25µin ou 0,635µm) a mudança do diâmetro, a meia altura do corpo-de-prova.

2.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Ensaio de tração direta do concreto raramente são aplicadas, principalmente porque os dispositivos de fixação dos corpos-de-prova introduzem tensões secundárias que não podem ser ignorada (MEHTA e MONTEIRO 2008). O ensaio para determinação da resistência por compressão diametral foi proposto por Lobo Carneiro, por isso hoje é conhecido como método brasileiro ou NBR 7222 (NEVILLE 1923; MEHTA e MONTEIRO 2008).

Nos ensaios de tração por compressão diametral um corpo-de-prova de concreto cilíndrico, com relação altura x diâmetro de 0,5 é submetido a cargas de compressão ao longo de duas linhas axiais que são diametralmente opostas,

conforme mostra a figura 4. A carga é aplicada continuamente numa velocidade constante dentro da faixa de resistência à tração por compressão diametral de 0,7 a 1,3 MPa até a ruptura (MEHTA e MONTEIRO 2008; NBR 6118/2003). A resistência à tração é calculada pela fórmula:

$$T = \frac{2P}{\pi ld}$$

Equação 3 - Resistência a tração

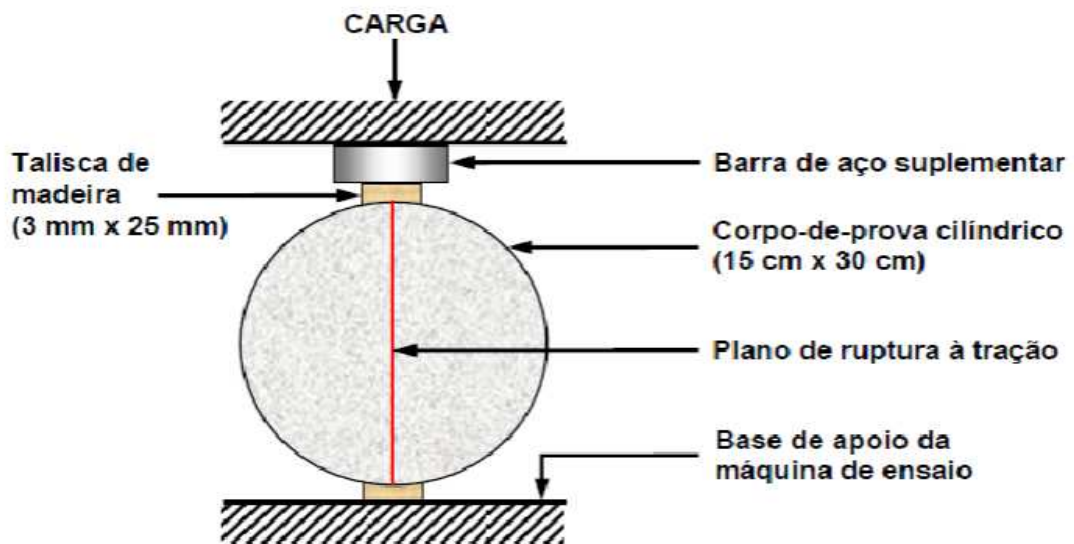
Onde: T = resistência à tração

P = carga de ruptura

l = comprimento do corpo-de-prova

d = diâmetro do corpo-de-prova

Comparado à tração direta, o ensaio de tração por compressão diametral é conhecido por superestimar a resistência à tração do concreto em 10 a 15% (MEHTA e MONTEIRO 2008). NEVILLE (1973) estima que a resistência obtida é de 5 a 12% mais alta que a obtida por tração direta.



**Figura 4 - Ensaio de tração por compressão diametral.
Adaptado de MEHTA e MONTEIRO (2008)**

Segundo a NBR 6118, na resistência à tração, seus valores podem ser estimados através de valores médios inferiores e superiores através da equação onde os resultados são expressos em megapascal:

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m}$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m}$$

2.6 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA

Segundo PETRUCI (1998) a qualidade dos materiais componentes do concreto - agregados, cimento e água - são de suma importância no valor da resistência. Com relação ao cimento, esse deve ser armazenado em local protegido da ação das intempéries, da umidade e de outros agentes nocivos à sua qualidade. Os agregados devem ser depositados em plataformas separadas, de modo a não haver a possibilidade de se misturarem com outros agregados ou com materiais estranhos que possam prejudicar a qualidade. Quanto à água destinada ao amassamento, ela deve ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas.

Ainda segundo PINHEIRO 1986 para se obter a resistência do concreto prevista no projeto, cuidados especiais devem ser tomados: eles vão desde o amassamento do concreto, até o transporte, lançamento e adensamento. O processo de cura deve ser cuidado de modo a proteger o concreto contra agentes prejudiciais, tais como mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, choques e vibrações de intensidade tal que possa produzir a fissuração na massa do concreto.

A resistência do concreto segundo PINHEIRO 1986 aumenta com a idade, de modo rápido no início e bem lentamente por volta do nonagésimo dia e daí por diante. Além disso, a resistência é função direta da resistência da pasta de cimento, sendo que o fator água/cimento é o principal fator na fixação da qualidade do concreto. Para valores baixos de a/c a água é insuficiente para a trabalhabilidade do concreto fresco e a resistência diminui. Com o aumento do fator a/c além de um valor compatível com a trabalhabilidade, a resistência também diminui.

Em suma os principais fatores que influem nas propriedades do concreto são:

- Tipo e quantidade de cimento;
- Qualidade da água e relação água-cimento;
- Tipos de agregados, granulometria e relação agregado-cimento;
- Presença de aditivos e adições;
- Procedimento e duração da mistura;
- Condições e duração de transporte e de lançamento;
- Condições de adensamento e de cura;
- Forma e dimensões dos corpos-de-prova;
- Tipo e duração do carregamento;
- Idade do concreto; umidade; temperatura etc.

Estudos têm sido feitos para avaliar as propriedades do concreto com adição de borracha. BARBOSA *et al* (2006) estudaram as propriedades mecânicas do concreto adicionado com borrachas de pneus. Conforme ilustra a figura 5 mostra que a adição de borracha de pneus ao concreto provoca queda na resistência à compressão, isso pode ser visto através da comparação da curva de referência com as curvas obtidas pelo ensaio no concreto com borracha de pneus.

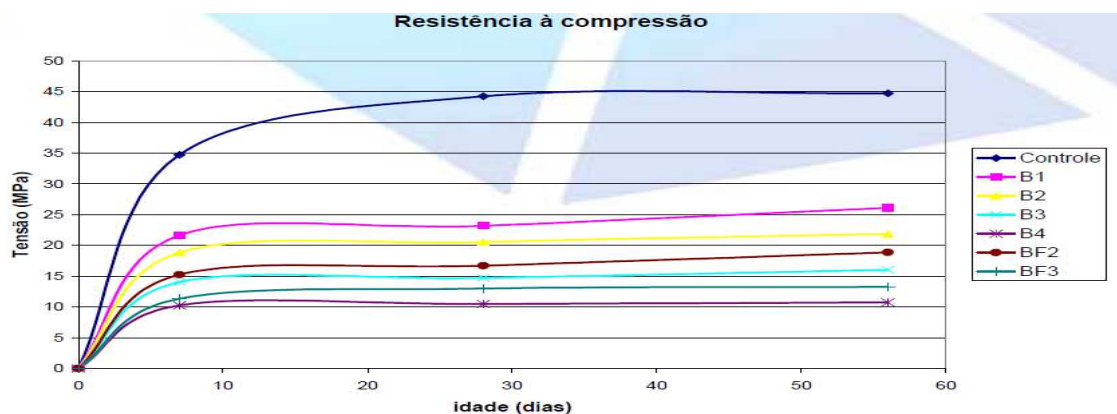


Figura 5 - Resistência à compressão dos corpos de prova (BARBOSA; MARTINS; AKASAKI 2006)

BARBOSA *et al* (2006) atribuiu a queda de resistência à falta de aderência entre a pasta e o resíduo de borracha e também a substituição de um agregado por outro de menor resistência e maior deformabilidade.

2.7 OBTENÇÃO DAS DEFORMAÇÕES

As variações de comprimento que ocorrem no concreto são provocadas por diversos fatores. Elas podem ser devidas à expansão ou contração do concreto endurecido, resultante das seguintes causas: embebição, secagem, variações de temperatura ou do fenômeno autógeno resultante de reações químicas no interior do concreto.

Outra causa de variação de comprimento é aquela de interesse onde são produzidos esforços aplicados rapidamente, ou nos ensaios em que esses esforços são mantidos por longos períodos.

Segundo PASQUALI (2007), as medições de deformações podem ser realizadas através de extensômetros elétricos como o de Carlson, medidores elétricos de resistência variável do tipo Strain Gages e a medição através de medidores mecânicos.

Em estudo realizado por ARAÚJO; GUIMARAES; GEYER (2012) concluiu que os medidores de deformação tipo extensômetro elétrico de colagem superficial apresentam resultados semelhantes aos medidores de deformação tipo compressômetro mecânico, pois as médias gerais dos medidores de deformação tipo extensômetro elétrico de colagem superficial e compressômetro mecânico foram respectivamente de 27,6 GPa e 27,5 GPa, e as médias gerais dos medidores de deformação tipo extensômetro elétrico de fixação externa e LVDT (transdutor diferencial de variação linear) foram respectivamente de 26,3 GPa e 19,8 GPa.

2.7.1 Extensores Mecânicos

Os medidores mecânicos são os mais tradicionais. São dispositivos que apresentam ponteiros que se fixam em dois pontos do corpo de prova a ser deformado e ampliam o movimento de deslocamento destes pontos, através de um sistema de alavancas ou engrenagens, acoplado a um relógio comparador onde é

indicado movimento, como demonstra figura 6.



Figura 6 - Medidor Mecânico

2.7.2 Extensores do Tipo Carlson

Esses extensômetros se baseiam na propriedade que os materiais condutores apresentam de variar de resistência elétrica quando são deformados. Os medidores tipo Carlson utilizam dois princípios eletromecânicos distintos: o da variação da tensão em um fio, que provoca alteração da resistência elétrica, e o da variação da temperatura de um fio, o qual causa o mesmo efeito. Assim, fixando-se intimamente um fio condutor na superfície externa de uma peça ou estrutura, pode-se acompanhar, a partir de então, suas deformações, apenas medindo a variação de resistência elétrica do condutor.

2.7.3 Extensores do Tipo Strain Gages

O princípio básico de operação dos extensômetros microrresistivos tipo Strain Gages é similar ao dos extensômetros Carlson. Os materiais dos condutores elétricos possuem uma sensibilidade à deformação, definida como a relação da variação da resistência elétrica relativa do condutor para a variação relativa de seu comprimento, podendo ser considerados como medidores de deformação. A sensibilidade de deformação é função das variações dimensionais, ocasionadas quando o condutor é esticado elasticamente, gerando alguma variação na resistividade básica do material com a deformação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi o CII – 32Z , mensurou-se a massa específica do cimento através do Frasco de Le Chatelier obtendo-se o resultado de 3 g/dm³.

3.1.2 Agregados Miúdos

3.1.2.1 Borracha de pneus

A borracha de pneus utilizada nesta pesquisa provém da banda de rodagem de pneus que são submetidos ao processo de recauchutagem. 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 tidas como resíduo inservível resultante do processo.

Devido ao formato cilíndrico destas fibras fica difícil determinar a sua granulometria como ocorre para os agregados triviais uma vez que suas partículas são alongadas como demonstra a figura 7.



Figura 7 - Raspas de Pneu

3.1.2.2 Areia

O agregado miúdo para a determinação da análise granulométrica utilizou-se a norma NBR 7211, obtendo-se os seguintes resultados conforme tabela 1.

Tabela 1 - Granulometria do agregado miúdo

Abertura da malha das peneiras (mm)	Mrg) Massa retida (gr)		Massas retidas Mr%) Massa retida (%)		retidas (Vr) (Mrm) (Mra)			NBR - 7211 Distribuição granulometrica Porcentagens retidas acumuladas				
	(gramas)		(porcentagem)		Variações	média	Acumulada	Limites inferiores		Limites superiores		
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b	$\pm 4\%$	(%)	(%)	Zona útil	Zona ótima	Zona ótima	Zona util	
9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0	0	0	
6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0	0	7	
4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0	5	10	
2,4	11,0	10,0	2,2	2,0	0,20	2,1	2,1	0	10	20	25	
1,2	88,0	87,0	17,6	17,4	0,20	17,5	19,6	5	20	30	50	
0,6	269,0	271,0	53,8	54,2	0,40	54,0	73,6	15	35	55	70	
0,3	89,0	87,0	17,8	17,4	0,40	17,6	91,2	50	65	85	95	
0,15	20,0	22,0	4,0	4,4	0,40	4,2	95,4	85	90	95	100	
Fundo	23,0	23,0	4,6	4,6	0,00	4,6	100	100	100	100	100	
Mi	500,0	500,0	Modulo de finura								2,82	
Mf	500,0	500,0	Dimensão máxima								0,6	mm

Através destes dados obteve-se o módulo de finura 2,82%. Em seguida calculou-se a massa específica através do Frasco de Chapman (figura 8), obtendo-se o resultado de 2,645 g/cm³. Seguindo a NBR 7251 obteve-se a massa unitária do agregado miúdo de 1,725 g/cm³.



Figura 8 - Ensaio de massa específica do agregado miúdo

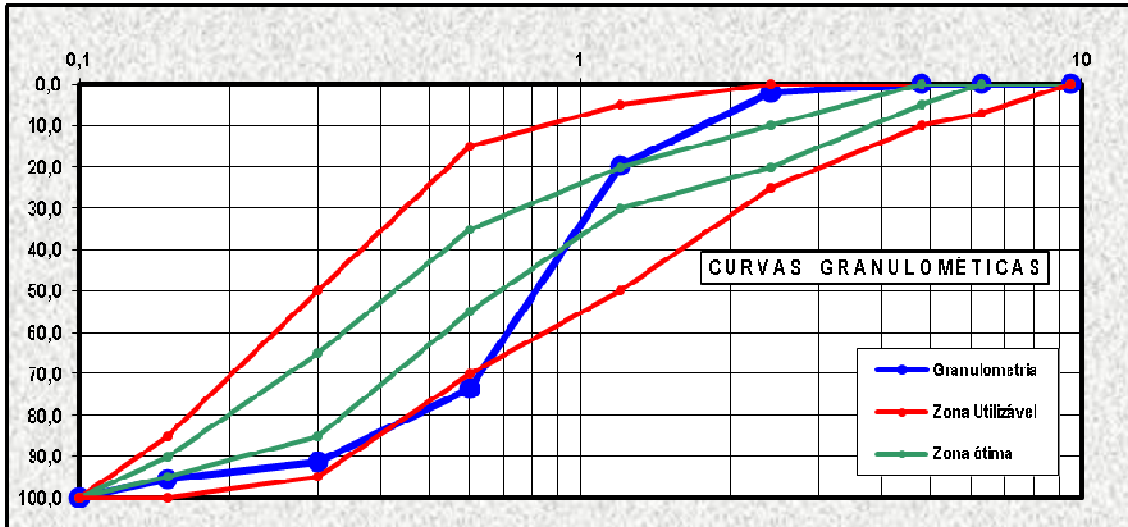


Figura 9 - Curva granulométrica do agregado miúdo

3.1.3 Agregado Graúdo

3.1.3.1 Brita

Realizou-se a análise granulométrica do agregado graúdo obtendo-se os seguintes resultados conforme demonstra tabela 2.

Tabela 2 - Composição granulométrica do agregado graúdo

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAUDO NBR 7217																
Abertura peneiras (mm)	Mr) Massa retida (gramas)		M%) Massa retida (Porcentagem)		(Mrm) média (%)	(Mra) acum. (%)	NBR 7211- Distribuição granulométrica % retidas acumuladas									
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b			Brita 4,75 / 12,5	Brita 9,5 / 25	Brita 19 / 31,5	Brita 25 / 50	Brita 37,5 / 75					
76	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0								0	5	
64	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0							0	0	5 30	
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0							0	5	75 100	
38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0				0	0	5	30	90	100	
32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0			0	0	0	5	75	100	95 100	
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0			0	5	5	25	87	100	100 100	
19	1350	1340	27,0	26,8	26,9	27	0	2	15	65	95	95	100	100	100 100	
12,5	2550,0	2555,0	51,0	51,1	51,1	78	0	5	40	65	92	100	100	100	100 100	
9,5	1050,0	1060,0	21,0	21,2	21,1	99	0	15	80	100	95	100	100	100	100 100	
6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99	40	65	92	100	100	100	100	100	100 100	
4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99	80	100	95	100	100	100	100	100	100 100	
2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99	95	100	100	100	100	100	100	100	100 100	
Fundo	50	45	1,0	0,9	1,0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100 100	
Mi	5000,0	5000,0	Modulo de finura				7,24									
Mf	5000,0	5000,0	Dimensão máxima característica					19 (mm)								

Obtendo-se a dimensão máxima do agregado de 19 mm. Utilizando a NBR NM 53 foi possível determinar a massa específica, massa específica aparente de 2,994 g/cm³. Através da NBR 7251 determinou-se a massa unitária do agregado graúdo de 1567,90 g/cm³.

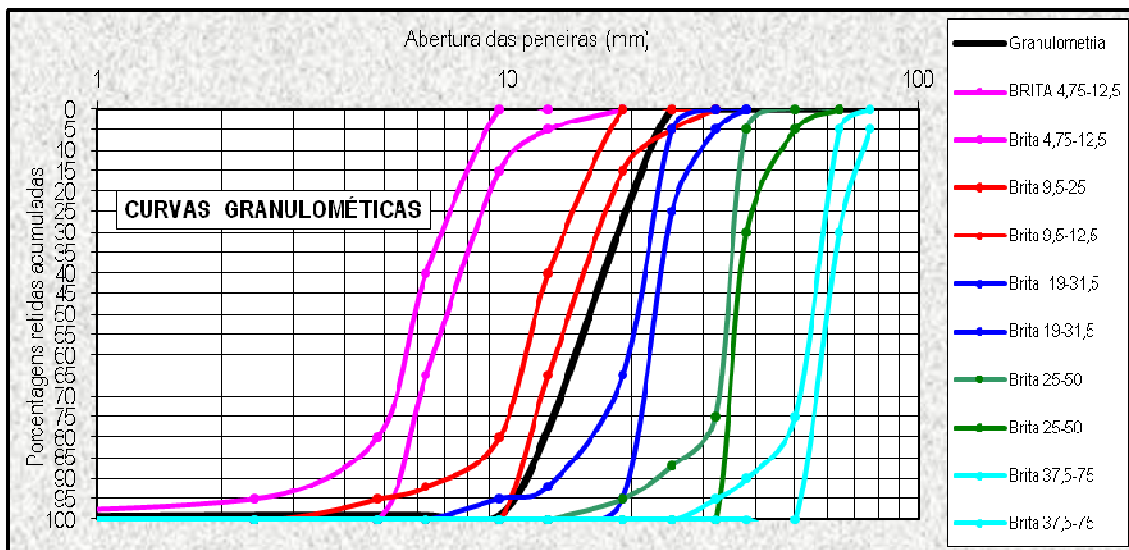


Figura 10 - Curva granulométrica do agregado graúdo

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a dosagem do concreto inicialmente fixou-se o fator água/cimento em 0,55 utilizando-se o auxílio da curva de Abrams proposta pelo estudo técnico da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) relativo aos cimentos nacionais. Em seguida determinou-se o consumo dos materiais, iniciando-se pela água, obtendo-se ao volume de 205 litros para um abatimento entre 80 a 100 mm com adoção de agregado graúdo de dimensão máxima característica de 19 mm, conforme tabela 3.

Tabela 3 - Consumo de água aproximado

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

Em seguida determinou-se o consumo de cimento através da equação:

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \qquad C_c = \frac{205}{0,56} = 366,07\text{kg/m}^3$$

Equação 4 - Consumo de cimento

onde: C_a = consumo de água e a/c = relação água cimento, obtendo-se o valor de 366,07Kg/m³.

A partir do consumo de cimento, determinou-se o consumo de agregado graúdo (C_b) com o auxílio da tabela de determinação do volume do agregado graúdo seco por m³ de concreto do mesmo método. O valor de 0,67m³ de brita/m³ de concreto.

A determinação do consumo de agregado graúdo segue a fórmula:

$$C_b = V_b \times M_u \quad C_b = 0,67 \times 1567,9 \quad C_b = 1050,49 \text{Kg/m}^3$$

onde, V_b = Volume do agregado graúdo seco por m^3 de concreto

M_u = Massa unitária compactada do agregado graúdo. O consumo de brita obtido foi de $1050,49 \text{Kg/m}^3$.

Na determinação do consumo do agregado miúdo (C_m) utiliza-se da fórmula:

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

Onde: V_m = Volume da areia C_c = Consumo de cimento

C_b = consumo de brita C_a = consumo de água C_m = Consumo de areia

γ_c = massa específica do cimento γ_b = massa específica da brita

γ_a = massa específica da água γ_m = massa específica da areia

$$V_m = 1 - \left(\frac{366,1}{3000} + \frac{1050,49}{2994,01} + \frac{205}{1000} \right) \quad V_m = 0,322$$

$$C_m = 2,645 \times 0,322 \quad C_m = 851,96 \text{Kg/m}^3$$

Resumidamente, dos cálculos obteve-se o consumo dos materiais conforme tabela 4.

Tabela 4 - Consumo de materiais

Consumo de materiais Kg/m^3		Proporção em massa
Cimento	366,10	1,00
Areia	851,96	2,33
Brita 1	1.050,49	2,87
Água	205,00	0,56



Figura 11 - Detalhe dos materiais obtidos na dosagem

Após a mistura dos componentes de cada composição em betoneira estacionária foram elaborados 3 lotes de 12 corpos de prova cada, sendo o primeiro lote de concreto de referência, um lote com 5% de substituição de agregado miúdo por raspas de borracha e outro com 10% de substituição de agregado miúdo por raspas de borracha. A tabela 5 resume as quantidades envolvidas em cada lote.

Tabela 5 - Traços do concreto

MATERIAIS	UN	0%	5%	10%	TOTAL
		SUBSTITUIÇÃO	SUBSTITUIÇÃO	SUBSTITUIÇÃO	
Cimento	Kg	12,45	12,45	12,45	37,34
Areia	Kg	28,97	27,52	26,07	82,56
Brita 1	Kg	35,72	35,72	35,72	107,15
Raspas de borracha	Kg	0,00	1,45	2,90	4,34
Água	L	6,97	6,97	6,97	20,91

Na moldagem dos corpos-de-prova e cura do material seguiu-se o prescrito na norma NBR 5738/1994. Para a determinação da resistência a compressão pura, necessária ao ensaio de módulo de elasticidade, seguiu-se o prescrito na NBR 5739-1994.



Figura 12 - Materiais para moldagem dos corpos de prova



Figura 13 - Materiais para moldagem dos corpos de prova com raspas de pneus



Figura 14 - Moldes para os corpos-de-prova sobre a mesa vibratória



Figura 15 - Corpos de prova 0% substituição



Figura 16 - Corpos de prova 5% substituição



Figura 17 - Corpos de prova 10% substituição

4.1 ENSAIO MÓDULO DE ELASTICIDADE

Para a verificação do módulo de elasticidade do concreto base, seguiu-se a rotina estabelecida na norma NBR 8522/2003, que estabelece os métodos para a determinação dos módulos estáticos de elasticidade ou de deformação, à compressão, do concreto endurecido, em corpos-de-prova cilíndricos que podem ser moldados ou extraídos da estrutura.

Segundo a mesma norma, inicialmente verifica-se a resistência à compressão em dois corpos-de-prova, estabelecendo-se assim uma média que servirá de base para o carregamento utilizado na determinação do módulo de elasticidade.

Para determinar o módulo de elasticidade deve-se posicionar o corpo-de-prova na prensa, aplicar o carregamento e aumentar a deformação específica à velocidade de $(10\pm 2)\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, até que seja alcançada uma tensão de aproximadamente 30% da resistência à compressão aferida para o material.

Esta tensão deve ser mantida por 60 segundos, em seguida deve-se reduzir a carga à mesma velocidade do processo de carregamento até o nível de tensão básica (σ_a). Devem ser realizados mais dois ciclos de pré-carga adicionais, obedecendo às mesmas velocidades de carga e descarga e mantendo as tensões extremas (σ_a e σ_b) constantes, alternadamente durante períodos de 60 segundos cada. Depois do último ciclo de pré-carga e do período de 60 segundos sob a tensão σ_a , registrar as deformações específicas lidas, ϵ_a , tomadas em no máximo 30 segundos.

Deve-se carregar novamente o corpo-de-prova com a tensão σ_b à velocidade especificada e registrar as deformações lidas, ϵ_b , tomadas em no máximo 30 segundos, após uma espera de 60 segundos como mostra a figura 18. Quando todas as leituras de deformação tiverem sido efetuadas, aumentar a carga do corpo-de-prova à velocidade especificada até que se produza a ruptura. O mesmo procedimento é executado em três amostras e o valor final do módulo de elasticidade será a média dos três valores, desde que a resistência efetiva à compressão de ruptura não divirjam da resistência à compressão estimada em 20%.

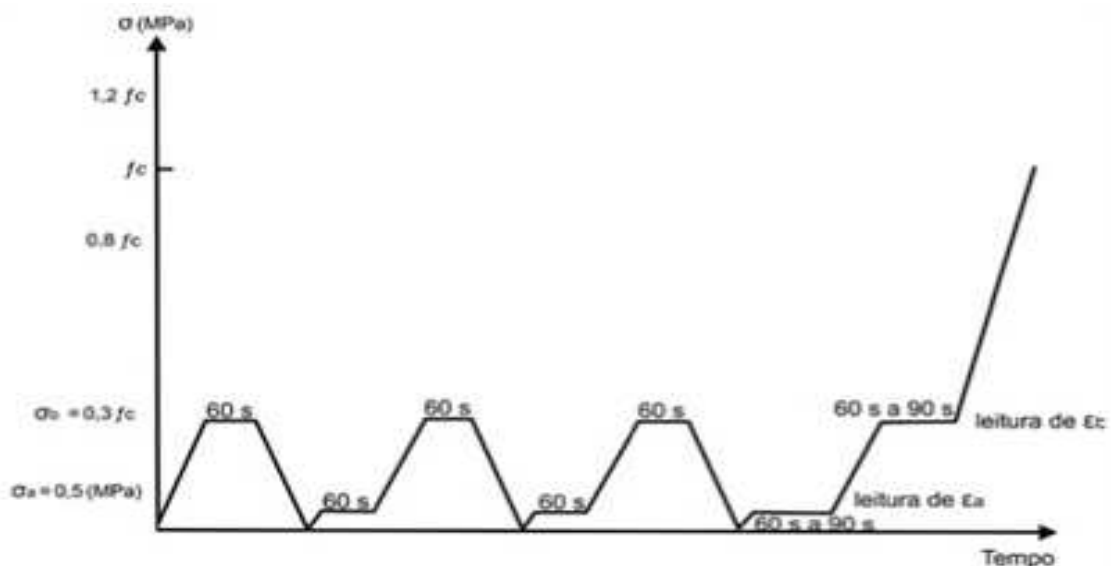


Figura 18 – Ciclo de carregamento ABNT 8522/1994



Figura 19 – Instrumentação do corpo-de-prova

O módulo de elasticidade, ϵ_{ci} , em gigapascal, é dado pela fórmula:

$$E_{ci} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} 10^{-3} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\epsilon_b - \epsilon_a} 10^{-3}$$

Equação 5 - Módulo de elasticidade

Onde:

σ_b é a tensão maior, em megapascals ($\sigma_b = 0,3f_c$)

σ_a é a tensão básica, em megapascals ($\sigma_a = 0,5\text{MPa}$)

ϵ_b é a deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão maior.

ϵ_a é a deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão básica.

Os resultados devem ser arredondados para a primeira casa decimal e expressos em gigapascals (GPa).

Ensaiou-se os corpos de prova em uma prensa hidráulica da EMIC, linha DL (Digital Line) que é associada ao software de ensaios TESC-EMIC. Seu sistema de instrumentação é dotado de canais de medição de forças e deformação com faixas de velocidade da travessa móvel variando de 0,01mm/min a 1000 mm/min, proporcionando controle e precisão nos deslocamentos. A prensa trabalha com extensômetros eletrônicos (resistivos, a base *strain-gages*) essencial na medição de deformações auxiliando na determinação de parâmetros como alongamento, escoamento, módulo de elasticidade entre outros.

Os corpos-de-prova foram fabricados no dia 15 de janeiro de 2012, identificados com suas devidas substituições 0%, 5% e 10%. Foram curados submersos em água e retirados para análise no dia 12 de fevereiro de 2012, com idade de 28 dias. Na tabela a seguir estão descritos os valores obtidos através do ensaio.

Tabela 6 - Módulo de Elasticidade

Corpo-de-prova	Ruptura prevista (kN)	Resistência à compressão (Mpa)	Resistência efetiva (MPa)	Tensão em 30% da Ruptura		Deformação em 0,5 Mpa (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)
				Ruptura Prevista (MPa)	Deformação em 30% da Ruptura (%)		
0%	219,0	27,88	30,47	8,36	0,022	0,0019	36
5%	181,5	23,11	21,01	6,93	0,024	0,0013	28
10%	107,3	13,66	13,97	3,74	0,015	0,0021	24

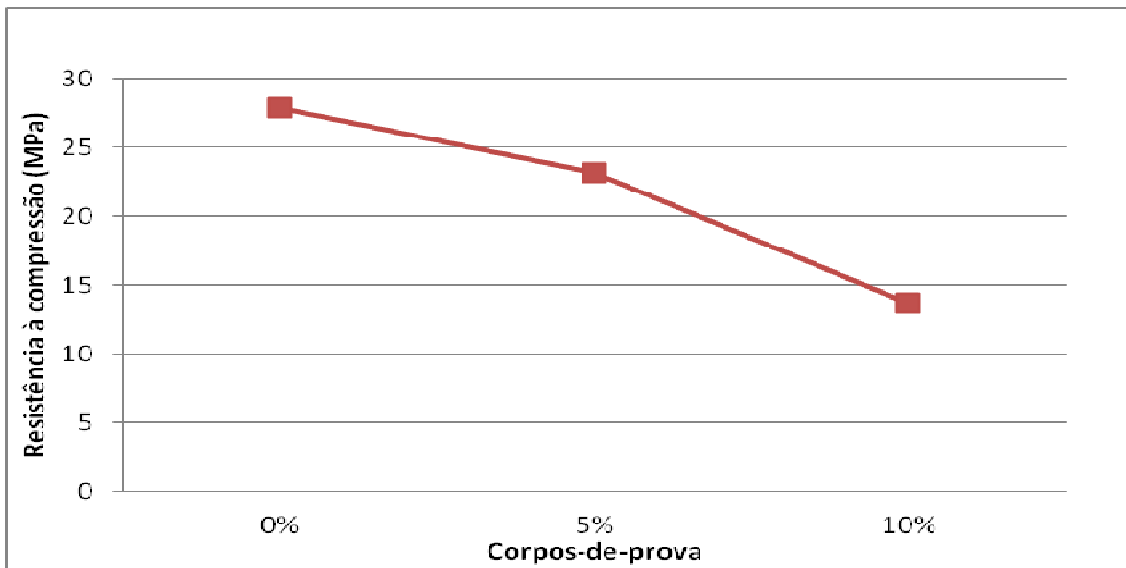


Figura 20 - Relação entre a resistência e o teor de borracha

Apesar da resistência a compressão ter regredido com a adição de borracha a resistência efetiva diferiu menos de 20% da resistência à compressão estimada dos corpos de prova, conforme proposto pela NBR 8522/1994, como pode ser visto na tabela 7.

Tabela 7 - Resistência à compressão estimada e efetiva

Corpo-de-prova	Resistência à compressão (Mpa)	Resistência efetiva (MPa)	Diferença %
0%	27,88	30,47	9,29
5%	23,11	21,01	-9,09
10%	13,66	13,97	2,27

A NBR 6118/2003 admite estimar o valor do módulo de elasticidade através da expressão:

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2}$$

Aplicando os resultados na expressão obtém-se um módulo de elasticidade que se mantém dentro de um limite de confiabilidade, conforme pode-se observar na tabela 8.

Tabela 8 – Comparativo entre o módulo de elasticidade efetivo e estimado

Referência	Resistência a compressão (MPa)	Módulo de elasticidade estimado (Gpa)
0%	30,47	31,00
5%	21,01	26,00
10%	13,97	21,00

4.2 ENSAIO RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Conforme especificado na NBR 7222 os corpos-de-prova foram colocados na prensa e submetidos a uma velocidade de carregamento de 0,05Mpa/segundo. Anotou-se a carga de ruptura em Newton (N) e calculou-se a tração por compressão diametral. A tabela 9 resume os dados obtidos.

Tabela 9 - Resistência à tração por compressão diametral

Corpo-de-prova	Força de Ruptura (N)	Comprimento médio (mm)	Diâmetro médio (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)
0%	106.791,99	200	100	3,46
5%	67.568,18	200	100	2,16
10%	53.839,84	200	100	1,71



Figura 21 - Ensaio de tração à compressão diametral

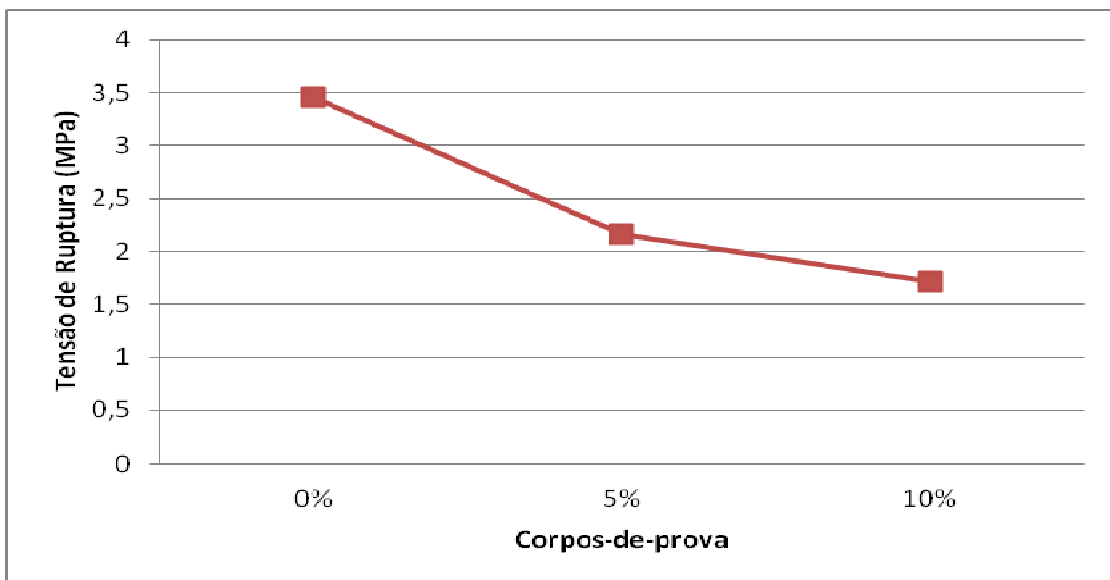


Figura 22 - Determinação da resistência à tração por compressão diametral

Através dos resultados pode-se observar que a resistência à tração por compressão diametral diminuiu com a adição da borracha conforme previsto.

A NBR 6118/2003 item 8.2.5 permite, na falta de ensaios laboratoriais, estimar os valores de resistência a tração por meio das fórmulas abaixo:

$$f_{cc,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{cc,m}$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{cc,m}$$

onde: $f_{cc,m}$ = resistência à compressão médio

$f_{ctk,inf}$ = resistência à compressão inferior

$f_{ctk,sup}$ = resistência à compressão superior

Tabela 10 - Resistência a tração estimado

Corpo-de-prova	Resistência a compressão (MPa)	Resistência à tração estimado		
		$f_{cc,m}$	$f_{ctk,inf}$	$f_{ctk,sup}$
0%	30,47	3	2,05	3,80
5%	21,01	2	1,60	2,97
10%	13,97	2	1,22	2,26

Os resultados obtidos permitem avaliar que os valores estimados da resistência à tração propostos pela NBR 6118/2003 estão a favor da segurança.

5 CONCLUSÕES

A adição de sucatas de borracha pouco interferiu na trabalhabilidade do material, a despeito da visível queda da resistência aos esforços mecânicos.

Os módulos de elasticidade dos concretos contendo borracha são menores do que os do concreto convencional, o que é esperado devido a deformabilidade da borracha. Observou-se que o módulo de elasticidade do concreto diminuiu com a adição de raspas de pneus, assim como outros autores descreveram. A resistência à tração por compressão diametral também sofreu alterações de acordo com a adição de borracha.

A redução da resistência pode estar ligada ao comportamento da borracha, que sofre deformações de acordo com a carga aplicada, além de aumentar a porosidade do concreto, facilitando o desprendimento de partículas.

Assim a recomendação de uso em concretos para fins estruturais fica prejudicada, restando a possibilidade de utilização do material em pavimentos de concreto para pisos, o que contribuiria para a destinação final das sucatas de pneus inservíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Parâmetros de dosagem do concreto**. Estudo técnico 67. São Paulo: 1984
- ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. Março 2012. Disponível em <
http://www.anip.com.br/index.php?cont=detalhes_noticias&id_noticia=436&area=43&titulo_pagina=%DAltimas%20Not%EDcias>
- ARAÚJO, S.S.; GUIMARAES, G.N.; GEYER, A. L .B. **Influência do tipo de medição estático de elasticidade do concreto**. *Rev. IBRACON Estrut. Mater.* [online]. 2012, vol.5, n.5, pp. 555-575. ISSN 1983-4195.
- BARBOSA, M. B. *et all.* **Influência da incorporação de diferentes porcentagens de resíduos de borracha de pneu no concreto de alto desempenho**. Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Maio 2006.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Resistência dos Materiais para entender e gostar**. São Paulo: Studio Nobel, 1998.
- EQUIPE DE FURNAS, **Laboratório de Concreto, Concretos massa, estrutural, projetado e compactado com rolo**. São Paulo: Pini 2007.
- GIAMUSSO, S.E. **Manual do Concreto**. São Paulo. 2ª Ed. Pini, 1992
- MARQUES, A.C.; NIRSCHL, G. C.; AKASAKI, J.L. **Propriedades mecânicas do concreto adicionado com borracha de pneus**. HOLOS Environment, v.6, n.1, 2006.
- MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON 2008.
- NASH, W.A. **Resistência dos Materiais**. São Paulo 2 Ed. Editora McGraw-Hill do Brasil, 1982.
- NETO, Antonio Acacio de Melo; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Módulo de Elasticidade: Dosagem e Avaliação de Modelos de Previsão do Módulo de**

Elasticidade de Concretos. Instituto Brasileiro do Concreto - 44º Congresso Brasileiro. Disponível em: <<http://antoniomelo.pcc.usp.br/arquivos/III057-IBRACON%202002.pdf>>.

- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini, 1923.
- PASQUALI, Ivair. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica.** Dissertação de mestrado. Santa Maria – RS. 2007.
- PETRUCI, E.G.R **Concreto de Cimento Portland.** Rio de Janeiro, 13 Ed, Ed Globo, 1998.
- SEGRE, N. C. **Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento.** Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Química. Campinas, 1999.
- ROSSIGNOLO, João Adriano. **Módulo de deformação do concreto leve estrutural de alto desempenho.** Disponível em<
[http://www.fipai.org.br/Minerva%2002\(01\)%2011.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2002(01)%2011.pdf)>
- RUSCH, Hubert. **Concreto armado e protendido: propriedades dos materiais e dimensionamento.** Rio de Janeiro: campus, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 5738/1994: PROCEDIMENTO PARA MOLDAGEM E CURA DE CORPO-DE-PROVA. RIO DE JANEIRO, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 5739/1994 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6118 – PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO – PROCEDIMENTO
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7211 – AGREGADOS PARA CONCRETO
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7222/94 – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7251 – DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO GRAÚDO.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 8522: CONCRETO – DETERMINAÇÃO DO MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO E DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO – MÉTODO DE ENSAIO. RIO DE JANEIRO: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 53 – AGREGADO GRAÚDO – DETERMINAÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 248 – DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRABULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO.