

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COM O
EMPREGO DE PÓ DE BORRACHA

Eduardo César Antonelli Meneguini

Campinas, SP
Fevereiro - 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COM O EMPREGO DE PÓ DE BORRACHA

Autor: Eduardo César Antonelli Meneguini

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em Edificações.

Campinas, SP
Fevereiro - 2003

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M524c Meneguini, Eduardo César Antonelli
Comportamento de argamassas com emprego
de pó de borracha / Eduardo César Antonelli
Meneguini.--Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Vladimir Antonio Paulon.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual
de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Argamassa. 2. Borracha. 3. Reciclagem –
Indústria. 4. Resistência de materiais. 5.
Elasticidade. I. Paulon, Vladimir Antonio. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COM O
EMPREGO DE PÓ DE BORRACHA

Autor: Eduardo César Antonelli Meneguini

Dissertação de Mestrado avaliada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Vladimir Antônio Paulon
Presidente e Orientador / Unicamp

Profa. Dra. Gladis Camarini
FEC / Unicamp

Dra. Nádia Cristina Segre
IQ/ Unicamp

Campinas, 20 de fevereiro de 2003

“É duplamente vencedor quem, na vitória, venceu a si mesmo.”

Publilio Siro

Dedicatória

À minha esposa Silmara, minhas filhas Amanda e Juliana e aos meus pais, por estarem sempre ao meu lado, com amor, dedicação sem fim e a quem tudo devo nesta vida.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon, meu orientador, pela sua confiança, incentivo e por me direcionar em todos os passos deste trabalho.

A Dra. Nádía Cristina Segre pela sua grande ajuda nos momentos de dúvida.

A Mestre Gisleiva Cristina Ferreira pela sua grande ajuda, disposição, amizade e colaboração neste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Arquitetura e Construção por me receberem com atenção e carinho.

Aos técnicos do Laboratório de Estruturas pelo acompanhamento e preocupação na etapa experimental do meu trabalho.

A Borcol Indústria de Borracha Ltda. pelo fornecimento do material principal para o desenvolvimento deste trabalho.

A L. A. Falcão Bauer, especialmente ao Eng. Shingiro Tokudome, pela realização do Ensaio de Abrasão.

A Concrebase Comércio e Serviços de Concretagem Ltda. pelo fornecimento de materiais e instalações para realização de alguns ensaios necessários neste trabalho.

A todos, que de alguma forma me ajudaram na realização deste trabalho.

Sumário

	Página
Lista de tabelas	XI
Lista de figuras	XII
Lista de Gráficos	XIII
Resumo	XV
Abstract	XVI
1 Introdução	1
2 Revisão bibliográfica	3
3 Materiais e Métodos	31
3.1 Considerações iniciais	31
3.2 Pó de borracha	32
3.2.1 Ensaio de Granulometria	34
3.2.2 Massa específica aparente e unitária	35
3.3 Agregado	35
3.4 Cimento	36
3.5 Tratamento do pó de borracha	37
3.6 Confeção dos corpos de prova	38
3.6.1 Ensaio de consistência da argamassa	40
3.7 Resistência à compressão axial	41
3.8 Resistência à tração por compressão diametral	43
3.9 Ensaio de Absorção de água por capilaridade	43

3.10 Determinação do Módulo de elasticidade	45
3.11 Determinação do desgaste por abrasão	46
4 Resultados	50
4.1 Caracterização do pó de borracha	50
4.2 Caracterização da areia	51
4.3 Caracterização da argamassa no estado fresco	52
4.3.1 Ensaio de índice de consistência (Flow-table)	53
4.4 Caracterização das argamassas no estado endurecido	54
4.4.1 Ensaio de absorção por capilaridade	55
4.4.2 Ensaio de compressão axial	57
4.4.3 Ensaio de compressão diametral	61
4.4.4 Módulo de elasticidade das argamassas	63
4.4.5 Ensaio de desgaste por abrasão	66
5 Análise dos Resultados	68
6 Conclusões	79
7 Referências Bibliográficas	81

Lista de Tabelas

		Página
Tabela 2.1	Efeito do uso de borracha tratada superficialmente com poliuretano	8
Tabela 2.2	Redução natural do concreto e FRC	9
Tabela 2.3	Resultados dos ensaios de redução moderada	10
Tabela 2.4	Trabalhabilidade das argamassas em estado fresco	12
Tabela 2.5	Densidade do concreto endurecido normal e com borracha	13
Tabela 2.6	Aderência da pasta de cimento com a borracha de pneu	17
Tabela 2.7	Resistência à flexão	22
Tabela 2.8	Resistência à compressão simples	23
Tabela 2.9	Condutividade térmica	23
Tabela 3.4.1	Caracterização do cimento utilizado na argamassa	37
Tabela 4.1.1	Resultados do ensaio de granulometria do pó de borracha	50
Tabela 4.2.1	Resultados do ensaio de granulometria da areia	51
Tabela 4.3.1	Materiais utilizados nos traços de argamassa	53
Tabela 4.4.2.1	Resultados do ensaio de compressão axial	58
Tabela 4.4.3.1	Resultados do ensaio de compressão diametral	61
Tabela 4.4.4.1	Resultados do módulo de elasticidade	64
Tabela 4.4.5.1	Resultados do ensaio de abrasão das argamassas	66

Lista de Figuras

		Página
Figura 2.1	Esquema da seção transversal de uma pista de teste com tiras de borracha	3
Figura 2.2	Resistência à compressão do concreto com borracha	4
Figura 2.3	Perda de peso devido à TRC após 10 e 20 ciclos de gelo-degelo para diferentes carregamentos	5
Figura 2.4	Resistência à compressão aos 7 dias de idade do concreto com adição de borracha	6
Figura 2.5	Resistência à tração e à compressão do concreto com borracha de pneu aos 28 dias	7
Figura 2.6	Mudança da tenacidade do concreto com adição de borracha	8
Figura 2.7	Resistência à compressão em relação à % de fibras de borracha de pneu	11
Figura 2.8	Curvas de carregamento à flexão de cps de concreto comum e com borracha de pneu	11
Figura 2.9	Resistência à flexão em relação à porcentagem de tiras de borracha de pneu	12
Figura 2.10	Comportamento do concreto no ensaio à flexão	14
Figura 2.11	Resultado do ensaio de Slump test	15
Figura 2.12	Resistência à compressão da pasta de cimento com borracha de pneu	16
Figura 2.13	Resistência à flexão da pasta de cimento com borracha de pneu	16
Figura 2.14	Resistência à tração das pastas de cimento em relação ao tipo de cura	18
Figura 2.15	Condutividade elétrica da amostra de argamassa com borracha de pneu	19
Figura 2.16	Micrografia eletrônica de varredura de fratura de CP que mostra a aderência da pasta de cimento com a borracha tratada com hidróxido de sódio	20

Figura 2.17	Micrografia eletrônica de varredura de fratura de CP que mostra a aderência da pasta de cimento com a borracha sem tratamento	21
Figura 2.18	Resultado do ensaio de redução sonora	23
Figura 2.19	Resistência à compressão da argamassa aos 28 dias de idade	25
Figura 2.20	Resistência à compressão do concreto aos 28 dias de idade	25
Figura 2.21	Ensaio de granulometria e massa especificados materiais	27
Figura 2.22	Dosagens dos materiais utilizados na moldagem dos blocos	27
Figura 2.23	Ensaio de absorção de água	28
Figura 2.24	Curva do módulo de elasticidade x idade dos concretos ensaiados	29
Figura 2.25	Diagramas tensão-deformação	30
Figura 3.2.1	Solução saturada de NaOH	32
Figura 3.2.2	Lavagem do pó de borracha	33
Figura 3.2.3	Papel indicador de pH em contato com a água do pó de borracha após lavagem	33
Figura 3.2.1.1	Pó de borracha após a secagem	34
Figura 3.3.1	Ensaio do frasco de Chapman	36
Figura 3.6.1	Argamassadeira	39
Figura 3.6.2	Material seco da argamassa sendo misturado na argamassadeira	40
Figura 3.6.1.1	Argamassa após a retirada do cone	41
Figura 3.7.1	Moldagem dos corpos de prova	42
Figura 3.7.2	Prensa hidráulica Dinateste	42
Figura 3.8.1	Corpos de prova preparados para ensaio de compressão diametral	43
Figura 3.9.1	Corpos de prova impermeabilizados	44
Figura 3.9.2	Corpos de prova durante o ensaio de absorção	44
Figura 3.10.1	Extensômetro colado ao corpo de prova	45
Figura 3.10.2	Corpos de prova soldados aos cabos elétricos	46
Figura 3.11.1	Equipamento utilizado no ensaio de abrasão	47
Figura 3.11.2	Detalhe do equipamento de abrasão	47
Figura 3.11.3	Formas dos corpos de prova realizados no ensaio de abrasão	48
Figura 3.11.4	Dispositivo de medida de perda de espessura	49
Figura 4.1.1	Curva granulométrica do pó de borracha	51
Figura 4.2.1	Curva granulométrica da areia utilizada na argamassa	52

Lista de Gráficos

Gráfico 4.3.1.1	Índice de consistência dos traços da argamassa	54
Gráfico 4.4.1.1	Absorção por capilaridade em corpos de prova com 3 dias de idade	55
Gráfico 4.4.1.2	Absorção por capilaridade em corpos de prova com 7 dias de idade	56
Gráfico 4.4.1.3	Absorção por capilaridade em corpos de prova com 28 dias de idade	57
Gráfico 4.4.2.1	Resistência à compressão axial – traço 1:3	59
Gráfico 4.4.2.2	Resistência à compressão axial – traço 1:5	59
Gráfico 4.4.2.3	Resistência à compressão axial – traço 1:7	60
Gráfico 4.4.3.1	Resultados do ensaio de compressão diametral – traço 1:3	62
Gráfico 4.4.3.2	Resultados do ensaio de compressão diametral – traço 1:5	62
Gráfico 4.4.3.3	Resultados do ensaio de compressão diametral – traço 1:7	63
Gráfico 4.4.4.1	Módulo de elasticidade da argamassa – traço 1:3	64
Gráfico 4.4.4.2	Módulo de elasticidade da argamassa – traço 1:5	65
Gráfico 4.4.4.3	Módulo de elasticidade da argamassa – traço 1:7	65
Gráfico 4.4.5.1	Ensaio de abrasão nas argamassas	67

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é a determinação das principais propriedades mecânicas de uma argamassa de cimento e areia, tendo, como adição, o uso de borracha moída de pneus usados, tratada com solução de hidróxido de sódio comercial. Buscamos obter com o tratamento superficial da borracha de pneus usados, melhor interface entre a borracha e a argamassa de cimento e areia, procurando-se obter um material de boa qualidade e custo compatível. Para tanto, foram realizados ensaios para caracterizar a argamassa no estado fresco (índice de consistência) e no estado endurecido (absorção de água por capilaridade, compressão axial e diametral, módulo de elasticidade e desgaste por abrasão). No ensaio de desgaste por abrasão, para traço 1:3, a argamassa sem adição do pó de borracha, teve desgaste 8,25 mm, em média, aos 1000 m de percurso e, enquanto que com adição de borracha, obtivemos o valor de 4,75 mm de desgaste, aos 1000 m, obtendo-se assim, um aumento de 45,78 % da resistência de desgaste à abrasão. Desta forma, obtivemos uma avaliação do seu comportamento, em relação a uma argamassa convencional de areia e cimento e, concluímos que há grande aplicabilidade desta argamassa com adição de borracha na construção civil. .

Palavras chaves: argamassa, borracha, reciclagem, resistência à abrasão, módulo de elasticidade.

ABSTRACT

The main objective of this work, is to determine the mechanical properties in mortar with the use of a powdered used tire-rubber, as addition. The rubber was surface-treated with commercial sodium hydroxide in order to obtain a better adhesion between the rubber and the mortar, trying to find a good material at a reasonable cost . Flow test in fresh mortar and water absorption, compressive strength, diametric strength, modulus of elasticity and abrasion resistance measurements were performed. In the abrasion resistance test, using specimens with cement/sand ratio=0,33, the wearing surface of the control specimens was 8,25 mm , after 1000 m of passing along, while using the tire-rubber as addition, 4,75 mm, indicating that the use of this rubber in mortar improves the abrasion resistance in 46 %. We compared a mortar using rubber as a addition with a mortar without rubber, and concluded that there is a great possibility for application in civil construction.

keywords: mortar, rubber, recycling, abrasion resistance, modulus of elasticity.

1 INTRODUÇÃO

A argamassa, segundo a NBR-7200, é definida como a mistura de aglomerantes e agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência (FIORITO, 1994). Desta forma, as argamassas são usadas na construção civil, para revestimento, assentamento de materiais cerâmicos e pedras naturais, isolamento térmica ou acústica, ou até como elemento decorativo.

Diante disso, o uso de uma argamassa de areia e cimento utilizando pó de borracha de pneus usados pode ser efetivo como adição, produzindo um material isolante, em função de sua baixa condutividade elétrica e sonora. Por tratar-se de uma argamassa com uma adição pouco usual, há a necessidade de se obter as características desta argamassa para se estudar o seu uso na construção civil. O uso do pó da borracha, obtido da moagem de pneus usados, vem colaborar com a preservação do meio ambiente, visto que estes resíduos têm sido descartados sem nenhum controle.

A determinação de algumas propriedades da argamassa de cimento com pó de borracha está relacionada diretamente com a aplicação destes materiais, fazendo com que este tipo de material, com suas propriedades conhecidas, possa ser utilizado com eficiência e garantia.

Segre (2000 e 1999) realizou trabalhos com pó de borracha de pneus usados tratados superficialmente com hidróxido de sódio na pasta de cimento, obtendo resultados satisfatórios quanto a absorção de água por capilaridade e resistência mecânica.

O pneu usado é um resíduo indesejável, que tem se tornado um grande problema, tanto para a saúde, devido ao acúmulo de água dentro dos pneus favorecendo a proliferação de insetos; quanto para o meio ambiente, pela queima de pneus ou devido aos problemas de disposição em aterros sanitários e lixões.

Quanto à disposição das fibras de borracha, ela é bastante problemática, uma vez que são muito resistentes à degradação do meio ambiente, que pode durar até 240 anos, sendo assim, incompatíveis com aterros sanitários. Entretanto, os pneus são combustíveis e queimam em altas temperaturas, produzindo grandes quantidades de fumaça negra e óleo que penetram e contaminam solos e lençóis d'água (IBRACON, 2001).

Segundo a empresa Relastomer Tecnologia e Participações S.A., no Brasil, em 1993, 0,5% do lixo urbano brasileiro eram de pneus velhos ou fora de uso. Hoje são descartados no país, cerca de 17 milhões de pneus por ano. No Brasil, 70% borracha produzida industrialmente, é usada na fabricação de pneus.

A borracha pode ser empregada na construção civil como isolante estrutural, impedindo a propagação de tensões, pois apresenta uma capacidade de absorver energia 8.000 vezes maior que os metais (in SEGRE, 1999).

Empresas que atuam com reciclagem de pneus, como a Ecija Comercial Exportadora, que exporta 1,2 mil toneladas de raspas de pneus, para a fabricação de novos produtos como: tapetes de carros, bolas de borracha, placas de pisos e solados de calçados; regeneram a borracha, processo este que diminui as propriedades mecânicas da borracha regenerada.

A proposta deste trabalho é somente usar o pó de borracha moída de pneus usados, com tratamento químico superficial da borracha, sem os tratamentos complicados da regeneração, procurando-se obter como vantagem uma argamassa resistente à abrasão, diminuindo a absorção de água por capilaridade, sem comprometer sua resistência mecânica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo abrange tópicos relacionados às pastas de cimento, argamassas e concretos com adição de borrachas. O conjunto destas informações contribuíram para o estudo e desenvolvimento deste trabalho.

O entendimento deste capítulo, através destas publicações apresentadas, possibilitarão uma visão mais abrangente do assunto dissertado.

Eldin e Senouci (1992), em um de seus primeiros trabalhos com tiras de borracha de pneus, executou uma base de pista de teste, conforme figura 2.1, misturou as tiras de borraça com materiais da região, como solo e rochas. Concluíram que houve problemas de compressibilidade. Este trabalho parece apenas estudar uma forma de disposição de pneus, sem nenhuma vantagem técnica.

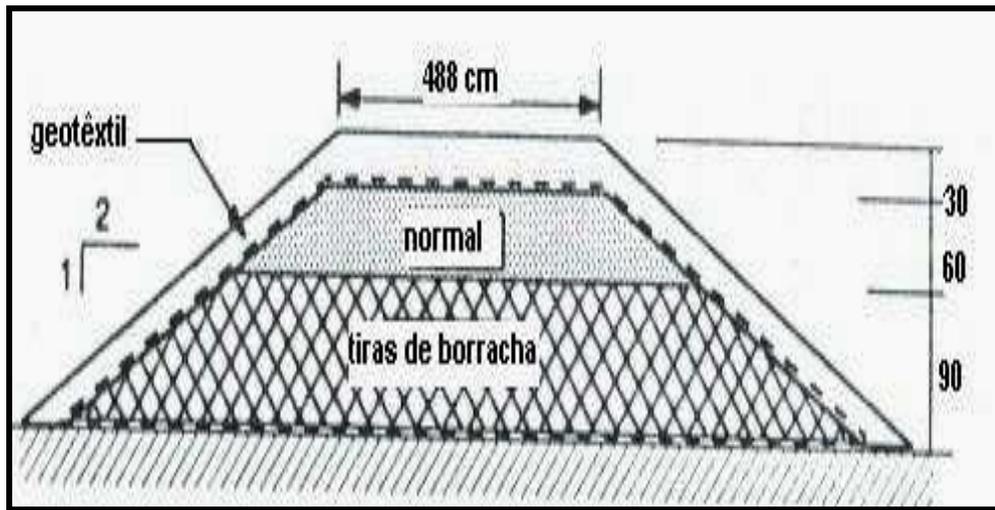


Figura 2.1 – Esquema da seção transversal de uma pista de teste com tiras de borracha

Eldin e Senouci (1993) também substituíram a borracha de pneu por agregado no concreto e constataram uma diminuição da resistência à compressão do concreto elaborado com esse material em 85%, quando comparado ao concreto comum (figura 2.2), mas notaram que a resistência mecânica que depende do tamanho de partícula de pneu utilizada. O concreto com borracha de pneu teve uma redução de 25% em relação ao seu peso de um concreto normal. Os autores notaram que, quando a borracha foi substituída por agregados miúdos, houve uma menor perda de resistência à compressão, comparados com a substituição da borracha por agregados graúdos. Este trabalho nos leva a crer que trabalhando com argamassas, a perda de resistência será bem menor que trabalhando com concretos.

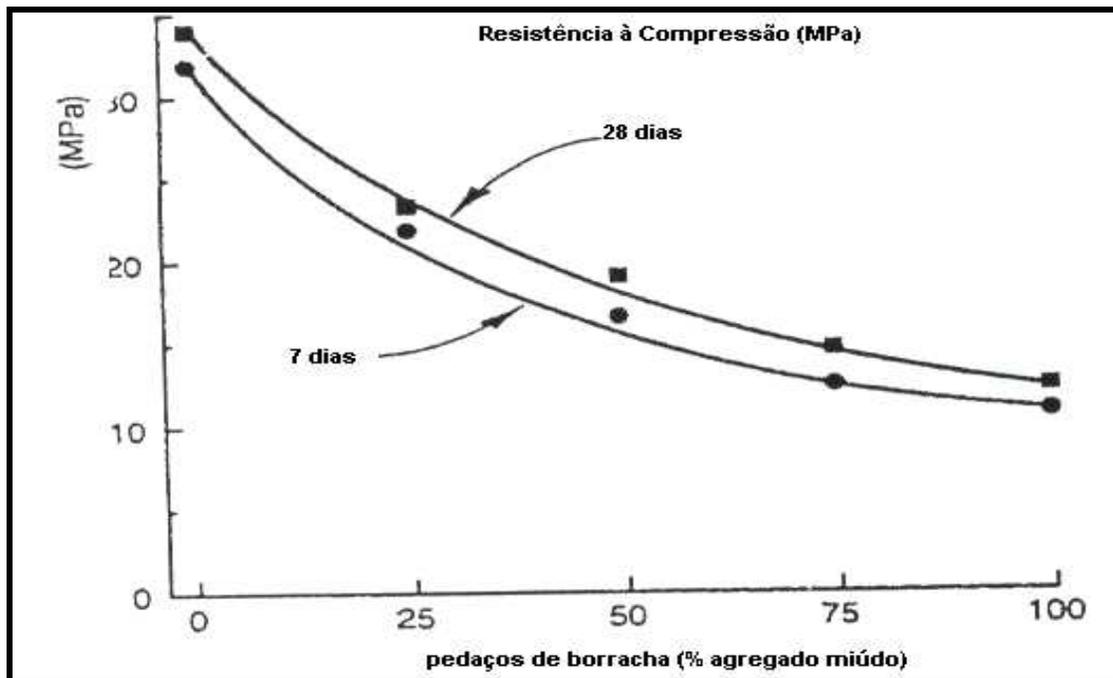


Figura 2.2 – Resistência à compressão do concreto com borracha. Fonte: Eldin e Senouci (1993)

Lee et al (1993), realizaram ensaios com pasta de cimento com borracha, sempre comparando estes resultados à uma pasta de cimento sem adição, e constataram que no ensaio à compressão, usando pó de borracha nas proporções de 0%, 2%, 4% e 6% com granulometria de 10 mesh, verificaram que com o aumento da quantidade de borracha adicionada à pasta, a

resistência à compressão diminuía linearmente, pois a cada adição de 2% em massa do pó de borracha, a resistência à compressão diminuía em cerca de 16%.

Na resistência à tração da pasta de cimento, trataram superficialmente a borracha com ácido nítrico diluído, com proporção de 0%, 5% e 15% de borracha, e granulometria de 20 e 40 mesh, comparando os corpos de prova com outros corpos de prova com borracha sem tratamento. Notaram também que com a adição de borracha, a resistência à tração do material diminuía independentemente do tamanho das partículas de borracha, mas, com o tratamento superficial da borracha, a resistência à tração do material foi praticamente a mesma com 5 e 15% de adição.

Houve queda na resistência à flexão dos corpos de prova, quando submetidos a ciclos de gelo-degelo, e a perda da massa diminuiu consideravelmente para os corpos de prova que receberam borracha como adição, conforme figura 2.3.

Finalmente, concluíram que a adição da borracha diminui a resistência da pasta de cimento, mas pode ser minimizada por um tratamento apropriado da superfície da borracha.

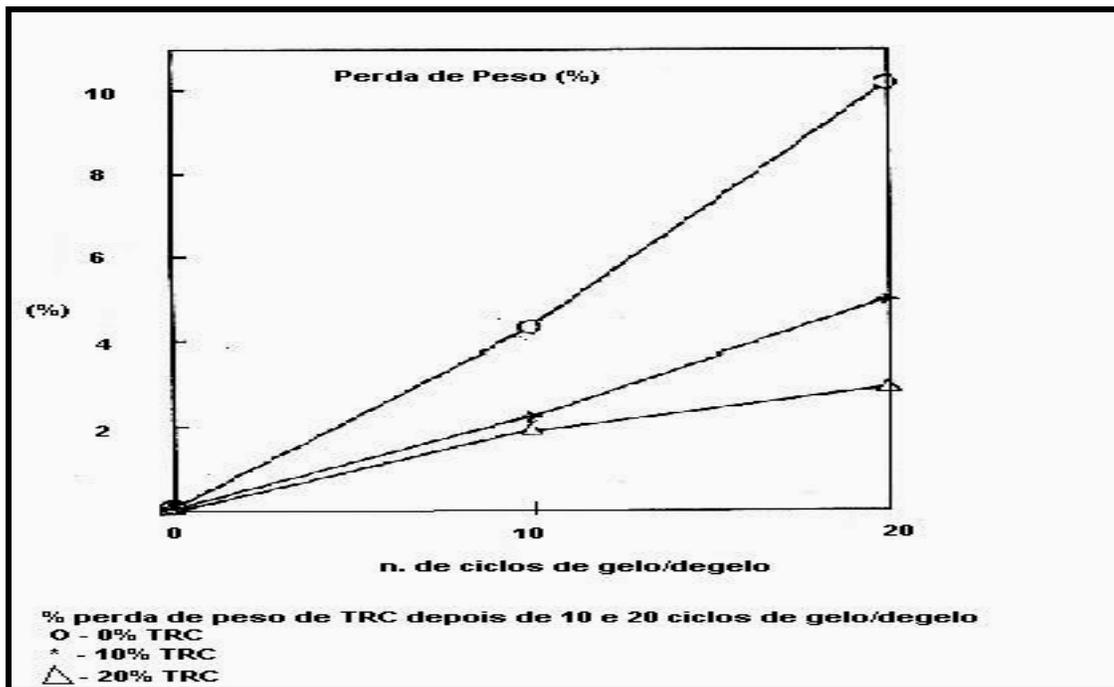


Figura 2.3 – Perda de peso devido a % TRC após 10 e 20 ciclos de gelo-degelo para diferentes carregamentos. Fonte: Lee et al (1993).

Rostami et al (1993), num estudo com tratamentos superficiais de borracha de pneus adicionados em concretos, substituíram de 0 a 100% do agregado graúdo pela borracha. Neste trabalho, trataram a borracha com tetracloreto de carbono, com água e sem tratamento; e concluíram que a adição de borracha no concreto diminuiria a resistência à compressão, mas com o tratamento superficial da borracha, a queda da resistência era menor. A figura 2.4 nos mostra o efeito do tratamento da borracha, adicionados ao concreto, na resistência à compressão.

Segundo os autores, a resistência à compressão do concreto não é um fator determinante, para a aplicação da maioria dos materiais na construção civil.

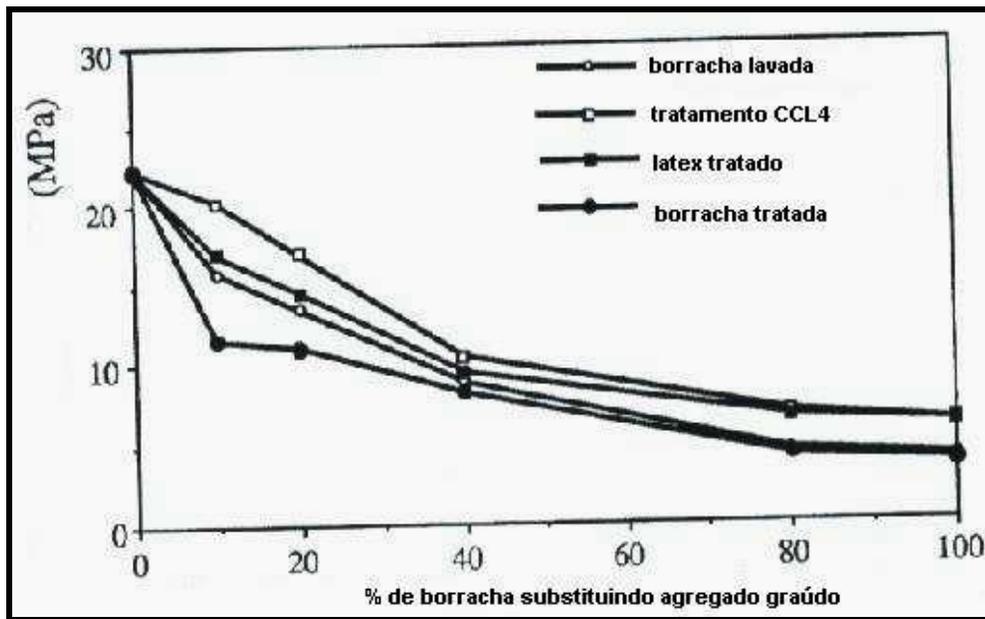


Figura 2.4 – Resistência à compressão aos 7 dias de idade do concreto com adição de borracha. Fonte: Lee et al (1993).

Ali et al (1993), ensaiando concretos com adição de partículas de borracha, constatou que houve uma queda brusca na resistência à compressão e à tração, de acordo com o aumento de ar incorporado que ocorria com a adição da borracha. O autor atribui, também, à queda de resistência mecânica, o fato de que a borracha é incapaz de absorver cargas sem deformação excessiva.

A figura 2.5 nos mostra a queda da resistência à compressão e à tração do concreto com borracha de pneu reciclado aos 28 dias.

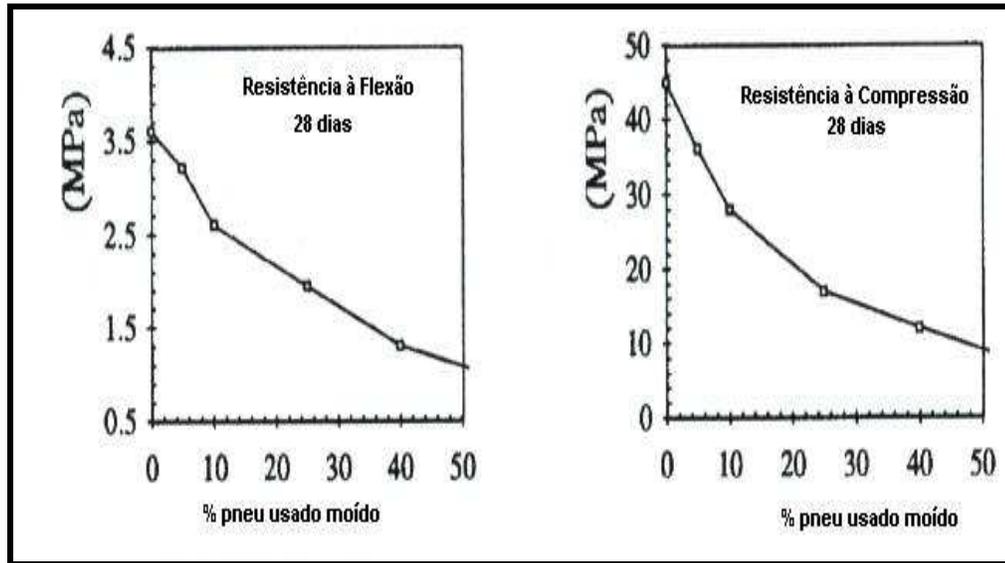


Figura 2.5 – Resistência à tração e à compressão do concreto com borracha de pneu usado aos 28 dias.

Fonte: Ali et al (1993).

Topçu (1994) estudando as propriedades do concreto com borracha observou que pode ser utilizado em estruturas que são submetidas a impactos, como pontes, aeroportos e estradas. Os resultados dos ensaios indicaram uma redução nas propriedades mecânicas do concreto contendo borracha de pneu. O autor verificou também que o uso de borracha de maior granulometria diminui a resistência mecânica, quando comparados a um concreto usando granulometria menor da borracha. Com a adição da borracha de pneu, o concreto apresentou um comportamento elástico, que segundo o autor, daria ao concreto maior resistência a impactos (figura 2.6).

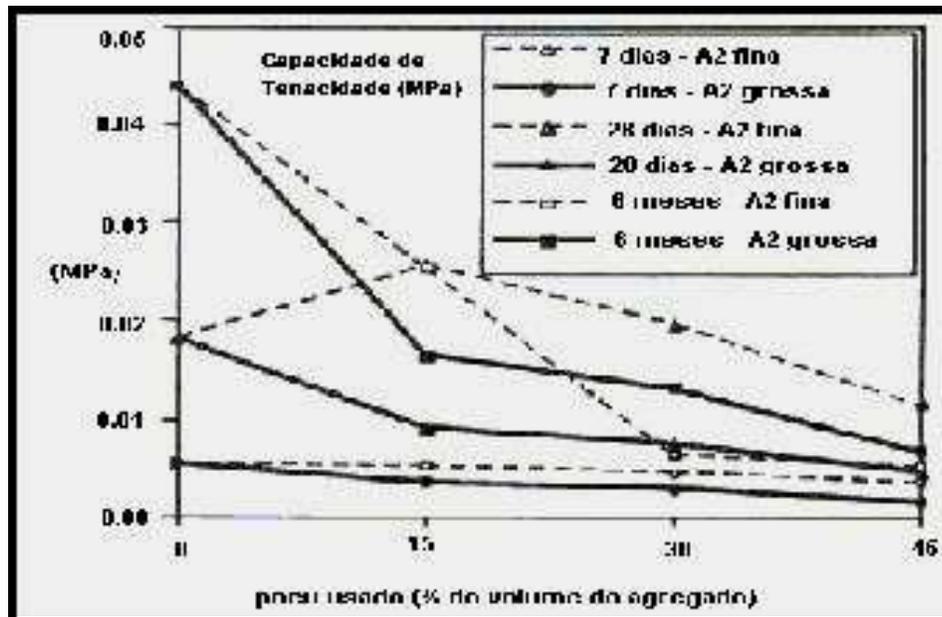


Figura 2.6 – Mudança da tenacidade do concreto com adição de borracha. Fonte: Topçu (1994)

Smith et al (1995), realizaram estudos com diversos materiais que poderiam ser reciclados, e, efetuaram pesquisa com tratamento superficial de partículas de pneu com gás cloro. Os pesquisadores concluíram que o grande sucesso comercial, seria o tratamento superficial de materiais recicláveis, para se adaptarem às diversas necessidades técnicas e de mercado. Na tabela 2.1 podemos observar as propriedades mecânicas, com o uso de borracha tratada superficialmente com poliuretano.

Tabela 2.1 – Efeito do uso de borracha tratada superficialmente com poliuretano

PROPRIEDADES	100% Poliuretano	85% Poliuretano e 15% de borracha tratada
Resistência à tração (Mpa)	28	24
Alongamento (%)	278	275
Resistência de ruptura (N/mm)	104	91
Resistência de ruptura (N/mm)	20	18
Reação (%)	49	48
Dureza (shore D)	50	50

fonte: F.G. Smith et al/Resources (1995)

Chung Wu et al (1996) num trabalho sobre controle de fissuração no concreto com tiras de borracha, provenientes de pneus usados, com interesse na aplicação em pavimentos para diminuição das fissuras devido às retrações, fixou em 2% em volume, a quantidade de borracha de pneu no concreto e tratou as superfícies das borrachas com gás de plasma. O autor notou que nos corpos de prova com borracha, o concreto tornou-se mais dúctil, enquanto que nos outros concretos, o rompimento foi brusco. As fissuras nos concretos com fibras de borracha tratada diminuíram em 15%, em relação ao concreto com fibras de borracha não tratada. As tabelas 2.2 e 2.3 apresentam os resultados deste trabalho, onde podemos notar que os compósitos com tiras de pneus apresentaram fissuras similares aos compósitos com fibras de aço, onde:

SFRC = concreto reforçado com fibras de aço.

TFRC= concreto reforçado com fibras de borracha de pneus.

PTFRC= concreto reforçado com fibras de borracha de pneus, com a superfície da borracha, tratada com plasma.

Tabela 2.2 – Retração natural do concreto e FRC (idade: 48 dias)

Material	Tipo de Fibra	Vf (%)	Redução de fissuração (10⁻⁶)	W* (%)
concreto	—	0	808,3	6,82
SFRC	Aço	1	759,6	6,02
TFRC	Malha de pneu	2	1253,3	7,23
PTFRC	Malha de pneu/P*	2	1086,2	7,15

Fonte: Chung Wu et al (1996)

Onde:

P* = tratado com plasma

W* = peso aumenta quando molhado

Vf = volume de fibras, em porcentagem

Tabela 2.3 – Resultados dos ensaios de redução de fissuras

Material	ω_{\max} (μm)	ω_t (μm)	N_c	N_t	S_m (cm)
Concreto	800.0	800.0	1	1	—
SFRC	35	41.7	2	0	55.86
TFRC	15	15	1	0	—
PTFRC	6.7	6.7	1	0	—

Fonte: Chung Wu et al (1996)

Onde:

ω_{\max} : abertura máxima das fissuras

N_t : número total de fissuras

ω_t : abertura total das fissuras

S_m : abertura média das fissuras

N_c : número de fissuras

Toutanji (1996), adicionou ao concreto, tiras de borracha de pneus, sempre substituindo o agregado graúdo, constatou que houve queda na resistência à compressão (figura 2.7) e à flexão. Podemos notar na figura 2.8 que o concreto tornou-se dúctil, tendo um comportamento similar ao de concretos com fibras de aço. Observando a figura 2.9, verificamos que a perda da resistência à flexão, proporcionalmente, é menor que a perda da resistência à compressão (figura 2.7), quando aumentamos a quantidade de tiras de borracha no concreto.

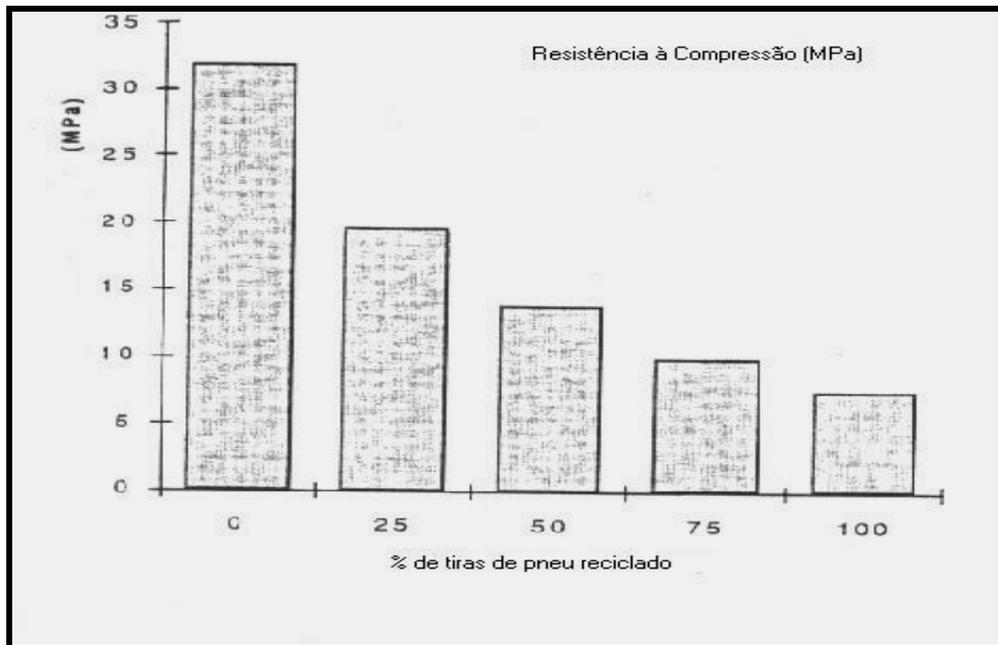


Figura 2.7 – Resistência à compressão em relação a % de fibras de borracha de pneu. Fonte: Toutanji (1996).

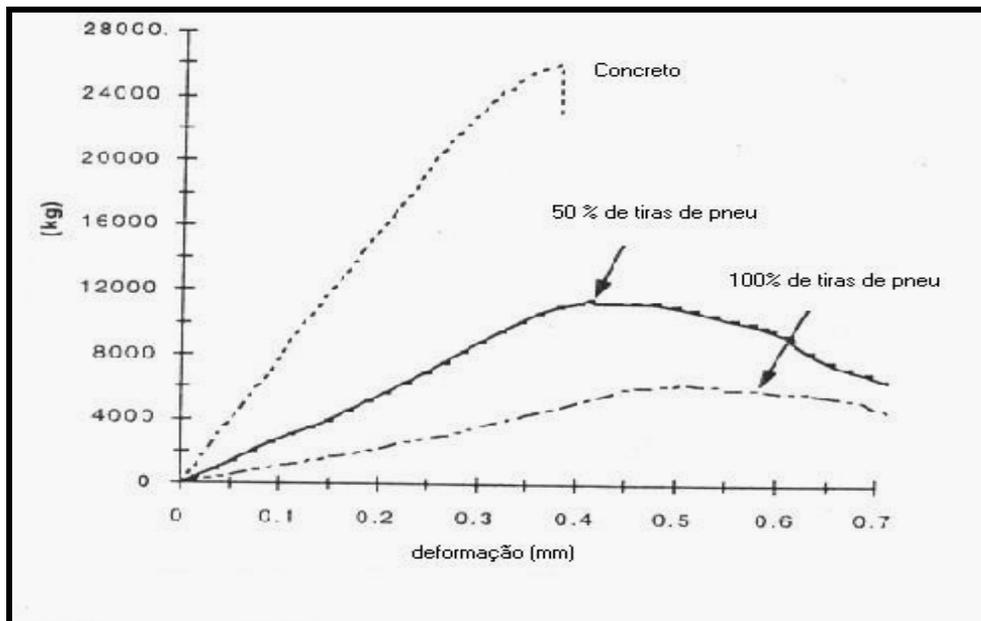


Figura 2.8 – Curvas de Carregamento à flexão de cps de concreto comum e com borracha de pneu. Fonte: Toutanji (1996).

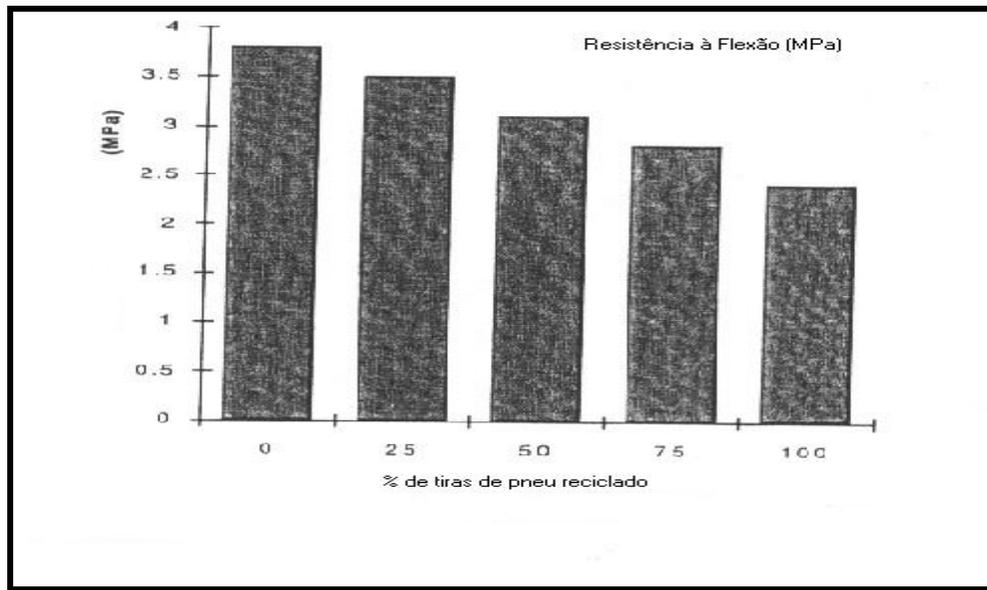


Figura 2.9 – Resistência à flexão em relação a porcentagem de tiras de borracha de pneu. Toutanji (1996),

Raghavan et al (1998), avaliaram a trabalhabilidade e propriedades mecânicas de argamassa de cimento contendo borracha de pneus de automóveis e caminhões. Dois tipos de partículas de borracha foram usados. Como esperado, a adição de borracha diminuiu a resistência à flexão. Houve influência na forma das partículas de borracha, pois as borrachas em forma de fibra tiveram maior resistência à flexão, quando comparados com as borrachas em forma granular. Os autores constataram que a argamassa contendo fibras de borracha apresentaram melhor trabalhabilidade que a argamassa sem adições (tabela 2.4). Constataram também, tenacidade nos corpos de prova, quando submetidos à flexão.

Tabela 2.4 – Trabalhabilidade das argamassas em estado fresco (VeBe)

Material adicionado a argamassa	Tempo (segundos)	
	% de cimento	
	1	10
Testemunho	55 +/- 1	—
Polipropileno	241 +/- 8	—
GR2	40 +/- 2	58 +/- 3
FR 2.36	36 +/- 1	50 +/- 4
FR 4.75	26 +/- 1	44 +/- 3

Fonte: D. Raghavan et al (1998)

Li et al (1998), estudaram as propriedades de concreto contendo partículas de borracha de pneus. Trataram as superfícies das borrachas com pasta de cimento e polímetro obtido da celulose. Concluíram que substituindo 33% do volume de areia no concreto, a densidade do concreto diminuía em 10% comparando-se ao controle. Houve perda de resistência à compressão e flexão com a adição de borracha no concreto. Notaram também excelente flexibilidade, ductilidade e boa absorção de energia, quando comparados ao concreto convencional. Os autores notaram que o tratamento superficial da borracha com pasta de cimento era melhor do que com o polímero de celulose. Finalmente, concluíram que o concreto com borracha poderia ter aplicações em construções que necessitam de absorção de vibração, onde a prioridade não seja a resistência à compressão. Na Tabela 2.5 e figura 2.10, são apresentados os resultados dos ensaios de medição da densidade dos concretos e resistência à flexão.

Tabela 2.5 – Densidade do concreto endurecido normal e com borracha

Tipo de amostra	V_R^*	Tipo da camada de borracha	Densidade (kg/m^3)
RBC – 0	—	Concreto comum	2305
RBC – 1	33%	Borracha comum	2157
RBC – 2	33%	Revestida com pasta de cimento	2099
RBC – 3	33%	Revestida com celulose Methocel em solução de éter	1870

Fonte: Li et al (1998)

Onde:

V_R^* = Fração de areia em volume que estava substituído pelas partículas de borracha

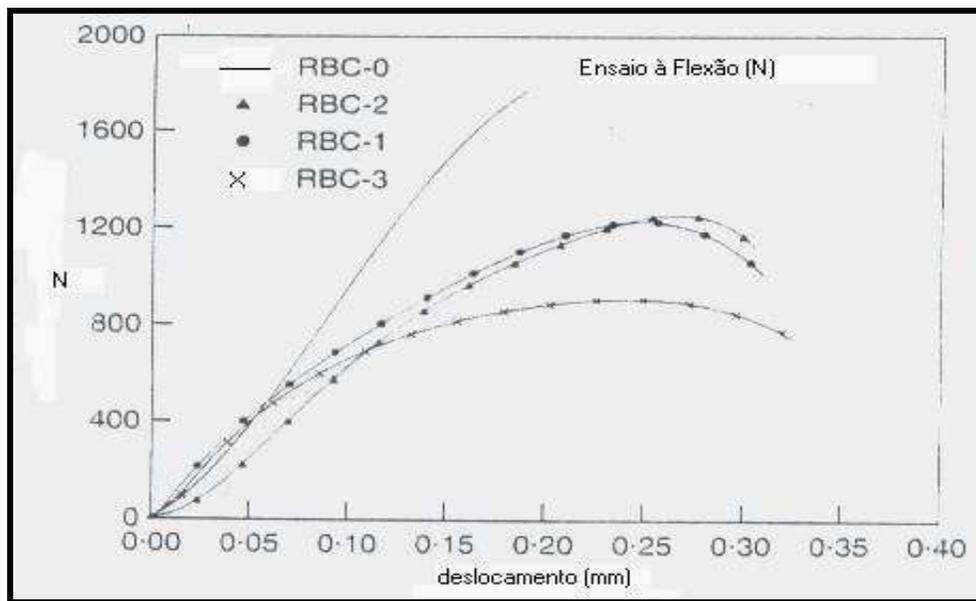


Figura 2.10 – Coportamento do concreto no Ensaio à Flexão. Fonte : Li et al (1998).

Khatib e Bayomy (1999) avaliaram que a trabalhabilidade do concreto fresco com partículas de pneus incorporados depende da quantidade de borracha contida na mistura. Eles desenvolveram 3 misturas, sendo elas:

Grupo A: pó de borracha, substituindo agregado miúdo

Grupo B: fibras de borracha, substituindo agregado graúdo.

Grupo C: mistura dos 2 tipos de borracha, substituindo os 2 tipos de agregados (100% de borracha, equivale a 50% em cada tipo de agregado).

Pela figura 2.11 concluímos que a redução da trabalhabilidade foi devido redução do abatimento pelo de Abrams (slump), ocasionado pelo maior volume da borracha em relação ao agregado comum, aumentando assim os espaços vazios na argamassa. O grupo B teve uma quantidade de ar menor, devido o esforço de compactação extra para seu maior volume de borracha.

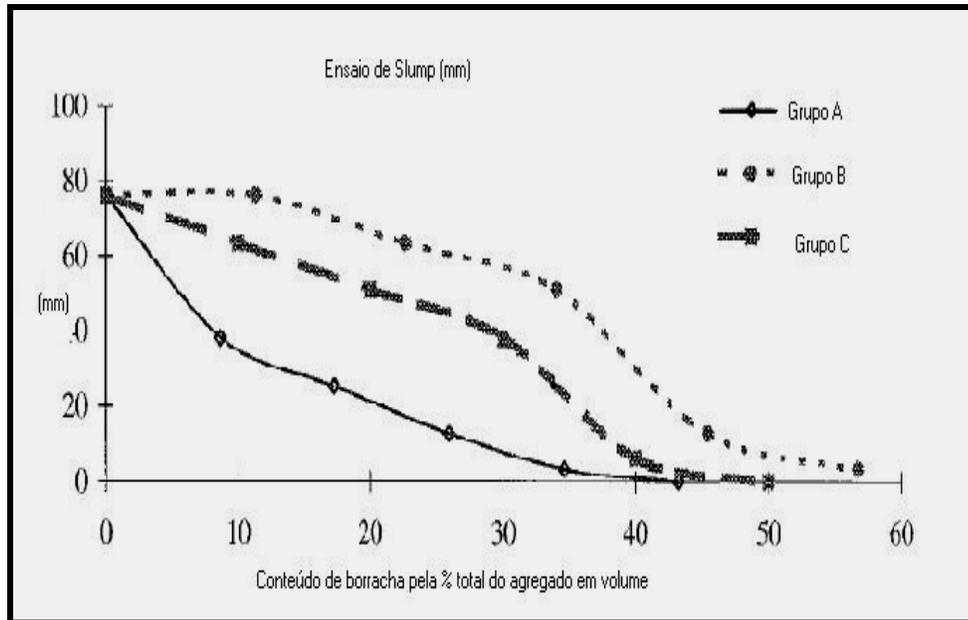


Figura 2.11 – Resultado do Ensaio de Slump. Fonte: Khatib e Bayomy (1999)

Raghavan (1999), em outro trabalho recente, usando fibras de borrachas de pneus, estudou o comportamento das argamassas, quanto à resistência à compressão e a resistência à flexão. Para verificar a aderência entre a borracha e os compósitos, o autor fez ensaios com pasta de cimento, justificando que esta seria a melhor forma de análise. Raghavan usou produtos à base de silanos (GMPTS), que é a matéria prima para a fabricação de silicones (borrachas), como ponte de aderência, para tratamento das superfícies da borracha e ensaiou os corpos de prova curados em temperatura ambiente e temperaturas variando de 150 a 180 C°, esperando que com o aumento da temperatura houvesse uma reação entre o GMPTS e a borracha do compósito. Os gráficos das figuras 2.12 e 2.13 apresentam a perda de resistência à compressão e à flexão, devido o aumento da quantidade de borracha (sem tratamento) adicionada na argamassa.

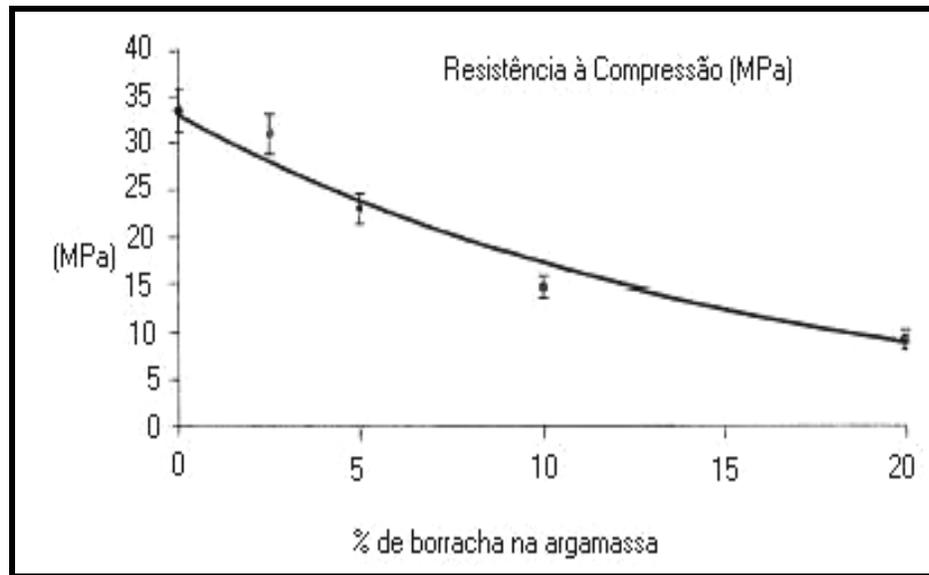


Figura 2.12 – Resistência à compressão da pasta de cimento com borracha de pneu.

Fonte: Raghavan (1999).

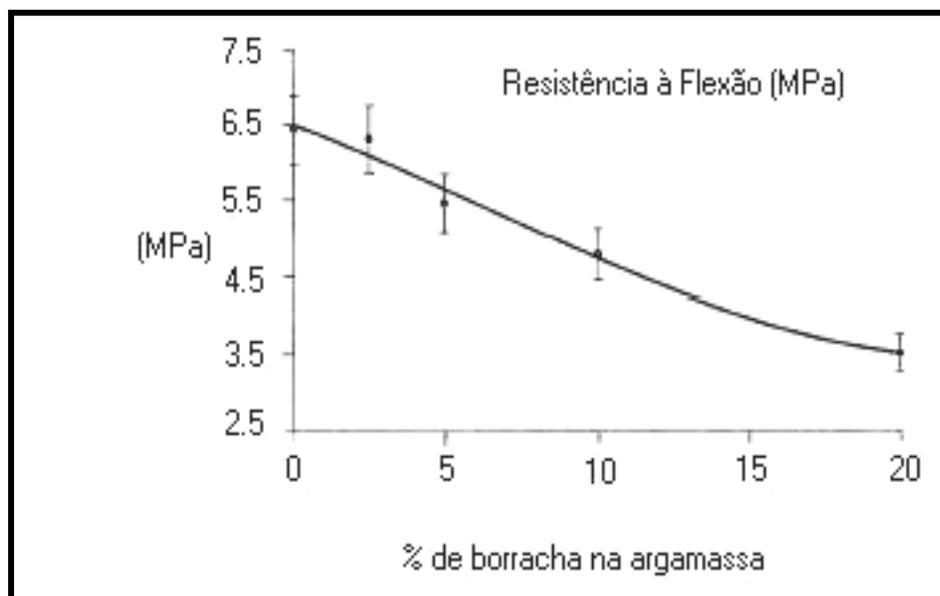


Figura 2.13 – Resistência à flexão da pasta de cimento com borracha de pneu. Fonte: Raghavan (1999).

A tabela 2.6 nos mostra o aumento de aderência da borracha na pasta de cimento, tratada com GMPTS.

Tabela 2.6 – Aderência da pasta de cimento com a borracha de pneu

Tipo de amostra	Agente de união (%)	Resistência de aderência (Jm^{-2})
Borracha+cimento	0	não aderência
Borracha+cimento+ agente de união	25	182 ± 90
Borracha+cimento+agente de união	100	455 ± 90

Fonte: Raghavan (1999)

A figura 2.14 apresenta os gráficos em relação ao carregamento e o tipo de cura dos tipos de pastas de cimento utilizadas no trabalho de Raghavan. O gráfico A, que é o testemunho (pasta de cimento), apresentou praticamente o mesmo comportamento que o Gráfico B (pasta de cimento com adição de fibras de borracha), e em todos os corpos de prova, em que foram curados em autoclave, tiveram ruptura frágil dos compósitos, pois ocorreu uma aderência mínima entre a borracha e a pasta de cimento. No Gráfico C (pasta de cimento com GMPTS) o comportamento dos compósitos em função da aplicação das cargas, mudou sensivelmente em relação ao Gráfico A. E, no Gráfico D (pasta de cimento com fibras de borracha tratadas com GMPTS), o comportamento dos compósitos tornaram-se dúcteis, indicando maior aderência entre a borracha e a pasta de cimento.

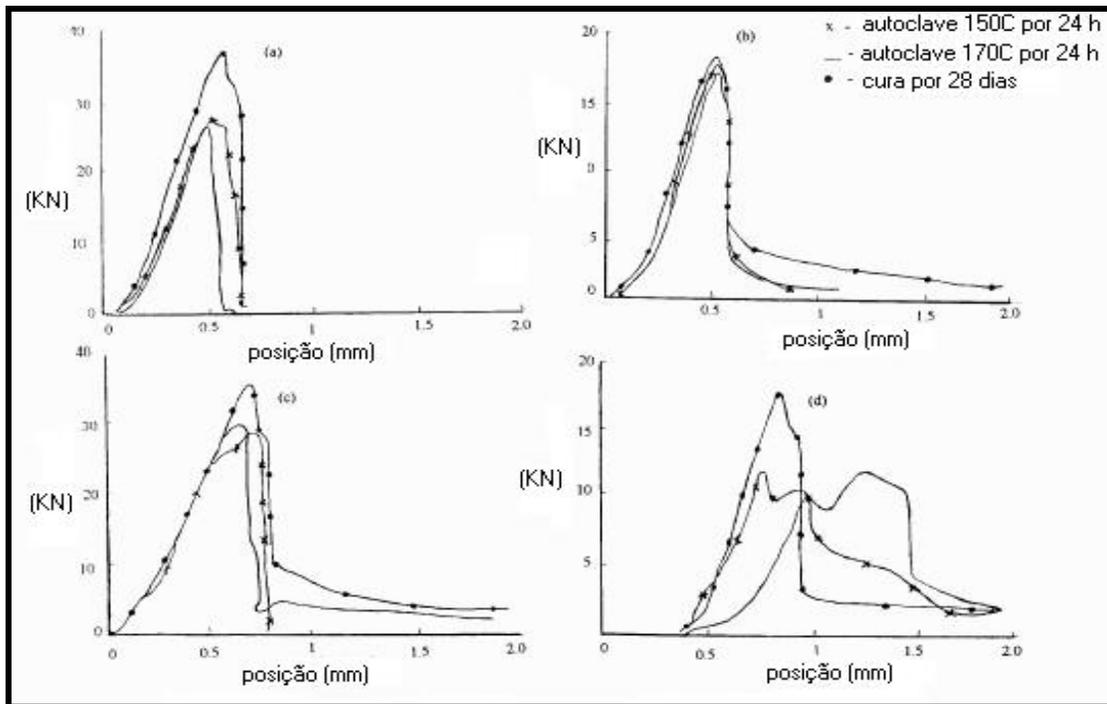


Figura 2.14 – Resistência à tração das pastas de cimento em relação ao tipo de cura. Fonte: Raghavan (1999)

Bignozzi et al (1999) estudando argamassas contendo descartáveis de polímeros, trabalhando com partículas de borracha de pneus, entre outros produtos, tratou-as com silano nas superfícies dos polímeros para obter maior aderência. Eles constataram que a resistência à compressão e à flexão diminuíram com o acréscimo de borracha na argamassa. E concluíram também que com aplicação de silano na borracha, houve maior aderência entre a borracha e a argamassa e a porosidade diminuiu em relação à argamassa com borracha sem tratamento. Pelo gráfico da figura 2.15 os autores concluíram que com a adição de borracha de pneu tratada com silano a condutividade elétrica aumentou, afirmando que esta condutividade elétrica se dá não pela presença da borracha, mas pela presença do silano, onde :

S= argamassa de controle

EC3= descarte de fios elétricos

TR3= argamassa de borracha de pneu

PR3= borracha em pó

MTF3= argamassa com pó de borracha, micronizada.

Obs : o número 3, significa que 3% em volume da areia, foi substituído pelo material reciclado.

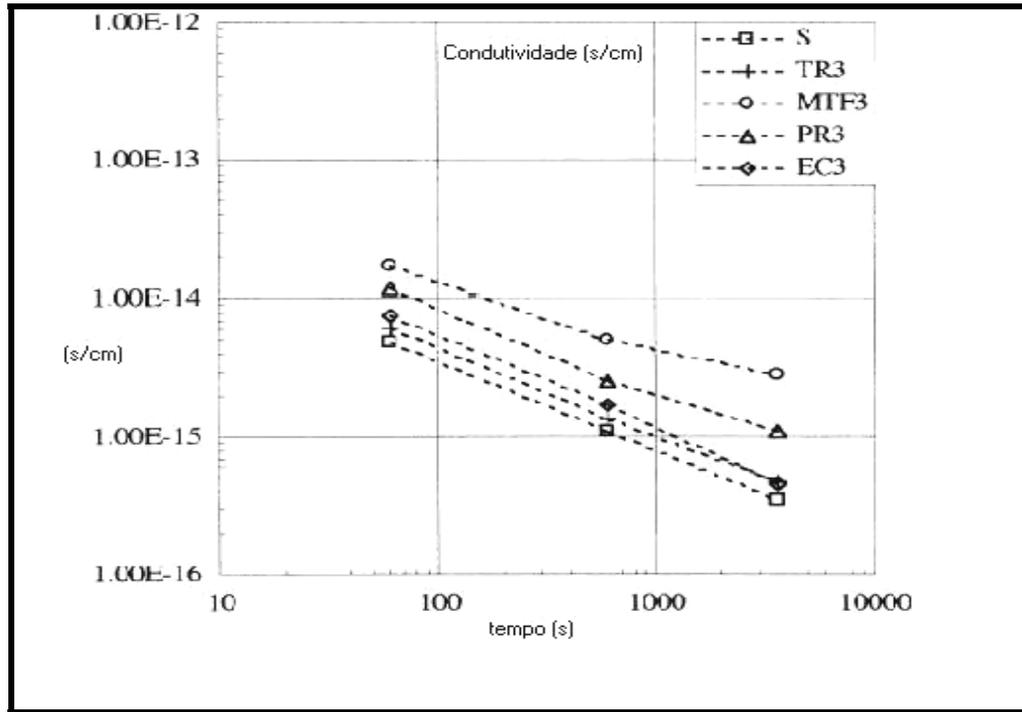


Figura 2.15 – Condutividade elétrica da amostra de argamassa com borracha de pneu. Fonte: Bignozzi et al (1999)

Segre et al (2000) e Segre (1999) estudaram a reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento, concluiu ser viável tecnicamente esta possibilidade. Segre (1999) tratou as partículas de borracha com água (controle) e soluções aquosas de H_2SO_4 ou NaOH, visando aumentar a hidrofiliabilidade da superfície das mesmas para compatibilizá-las com a matriz de cimento, utilizando-se um método rápido e de baixo custo. Confeccionou-se corpos de prova de pasta de cimento (relação água/cimento = 0,33) contendo 5 ou 10% de borracha (granulometria menor que 35 mesh). Foram realizados ensaios de absorção de água por imersão, densidade, resistência ao ataque ácido e resistência à flexão. A borracha de pneu foi tratada superficialmente mantendo-se sob agitação mecânica por aproximadamente 15 minutos. Após este período, a mistura foi filtrada e a borracha lavada com água e seca ao ambiente. A borracha de pneu foi utilizada nas proporções de 5 ou 10 % em peso da pasta.

Pelas micrografias eletrônicas de varredura (figura 2.16 e 2.17), podemos verificar a melhor aderência entre a borracha tratada com hidróxido de sódio e a pasta de cimento, quando comparada com a aderência da borracha sem tratamento, respectivamente.

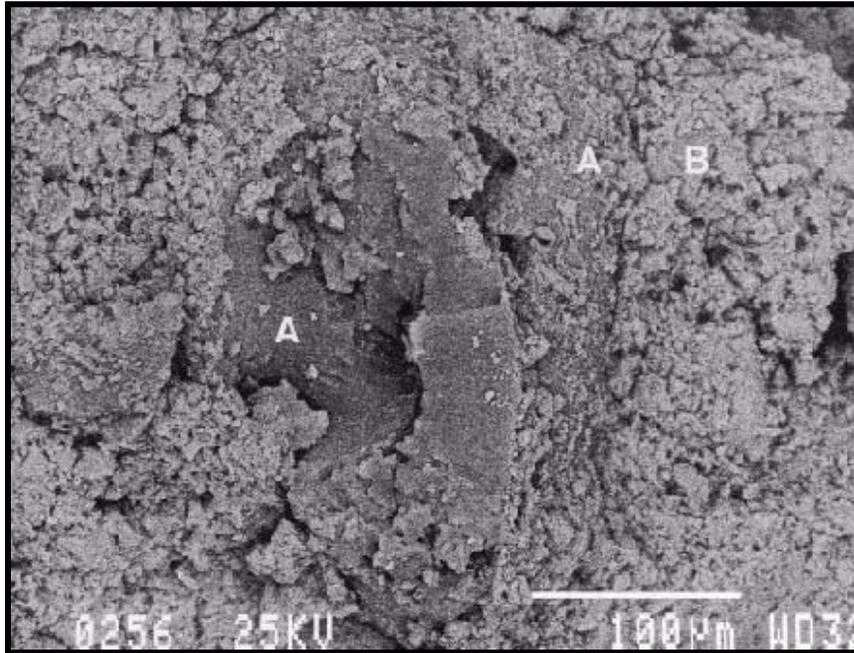


Figura 2.16 – Micrografia eletrônica de varredura de fratura de CP que mostra a aderência da pasta de cimento com a borracha tratada com hidróxido de sódio. Fonte : Segre et al.

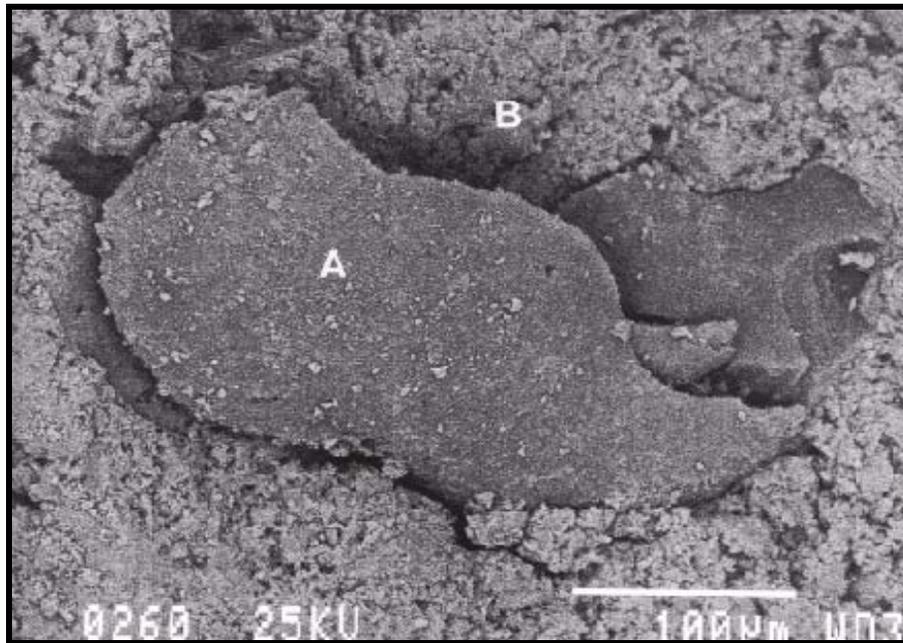


Figura 2.17 – Micrografia eletrônica de varredura de fratura de CP que mostra a aderência da pasta de cimento com a borracha sem tratamento. Fonte : Segre et al.

Neste trabalho, Segre concluiu que, o tratamento superficial da borracha de pneus com solução saturada de NaOH aumentou significativamente a aderência entre as partículas e a matriz de cimento. A pasta de cimento geralmente não apresenta boa resistência à abrasão. No caso do concreto, o desempenho em relação à abrasão depende da dureza do agregado utilizado, como a borracha de pneu é um agregado mole, um bom desempenho do material a base de cimento e borracha de pneu em relação à abrasão não era esperado. A perda da massa por abrasão dos corpos de prova contendo 10% de borracha tratada com NaOH foi equivalente ao testemunho (pasta de cimento) e muito inferior aos corpos de prova com borracha sem tratamento, comprovando que o tratamento superficial aplicado melhorou a aderência química da borracha à matriz de cimento. A resistência à compressão dos corpos de prova contendo 10% de borracha tratada com NaOH foi reduzida em 34%, quando comparada com o testemunho, enquanto que, na literatura (LEE 1993), a redução foi 41% com a adição de 6% de borracha. Em relação a absorção de água para os corpos de prova com 10% de borracha com NaOH foi estatisticamente menor com relação as demais preparações e ao testemunho, indicando que a borracha tratada diminuiu a porosidade do material. Já na perda de massa por ataque ácido diminuiu significativamente com a

inclusão da borracha, sendo mais um indicativo de diminuição de porosidade, pois a inclusão da borracha tratada com solução saturada de NaOH não alterou a densidade do material.

Lima et al (2000) estudando a argamassa de cimento, com adição de fibras de borracha vulcanizada para a construção civil, efetuou um estudo da dosagem de argamassa com adição de grânulos de borracha vulcanizada, resíduo proveniente da indústria de recauchutagem de pneus usados, analisando suas prioridades para fins de obtenção de um material alternativo para a construção civil. Fibras de borracha vulcanizada foram selecionadas e classificadas por peneiramento, sendo em seguida lavadas para se retirar impurezas, proporcionando ao compósito melhor qualidade. Os componentes foram misturados seguindo a seqüência, cimento, água e areia, sendo as fibras, após a homogeneização, acrescentadas de forma lenta e gradual. A moldagem dos corpos de prova foi efetuada manualmente e a cura realizada em câmara úmida e com aspersão. Analisaram-se suas características físicas, resistência mecânica, e suas propriedades e isolamento térmico e acústico.

Os grânulos de borracha vulcanizada, utilizadas neste estudo, foram obtidos através de processo mecânico, por raspagem, com predominância de fibras de tamanho compreendido entre 10 e 30 mm, aproximadamente. A mistura cimento com agregado miúdo, módulo de finura 1,8 foi confeccionada com o seguinte traço em massa 1: 3 : 0,30 : 0,78 (cimento, areia, borracha, água).

Foram realizados ensaios de flexão, de condutividade térmica, ensaio de compressão simples e ensaio de isolamento sonora. Os resultados estão apresentados nas tabelas 7, 8 e 9 e a figura 18 explica, graficamente, o resultado do ensaio de isolamento sonora.

Tabela 2.7 – Resistência à flexão

Traço (cimento:areia:fibra:água)	Deflexão (mm)
1:3:0,30:0,78	22

Fonte: Lima et al (2000)

Tabela 2.8 - Resistência à compressão simples

Traço (cimento:areia:fibra:água)	Resistência à Compressão Simples (MPa)		
	3 dias	7 dias	21 dias
1:3:0,30:0,78	1,0	2,1	4,0

Fonte: Lima et al (2000)

Tabela 2.9 – Condutividade térmica

Temperaturas (°C)			Fluxo de calor (W/m ²)	Cond. térmica (W/m.K)
Face quente	Face fria	Média		
31,8	18,5	25,2	295,7	0,71

Fonte: Lima et al (2000)

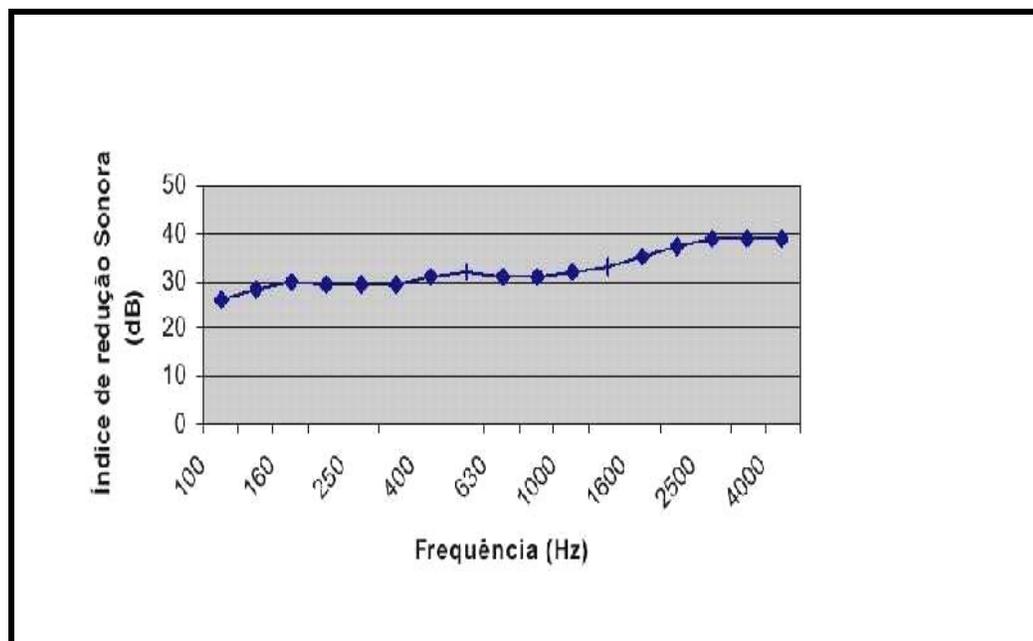


Figura 2.18 – Resultado do Ensaio de redução sonora. Fonte: Lima et al (2000).

Com estes resultados os autores concluíram que nos ensaios de flexão (carga transversal mínima, módulo de ruptura e deflexão) atenderam às exigências da norma C 208-95, da ASTM, “Standard Specification for Cellulosic Fiber Insulating Board”, para utilização como paredes e de isolamento térmico para fins de cobertura; as placas produzidas apresentaram boas

características de isolamento térmico, com valores de condutibilidade térmica inferiores ao valor máximo permitido pela norma anteriormente mencionada e como um dos pontos fundamentais na especificação de divisórias em projetos arquitetônicos é a proteção acústica proporcionada por elas, as placas produzidas com o compósito argamassa de cimento e borracha podem atingir níveis de atenuamento de 26 a 39 dB(A).

AKASAKI et al (2001) avaliaram a qualidade do concreto produzido com fibras de borracha vulcanizada com tamanho compreendido entre 15mm e 25mm, proveniente da indústria de recauchutagem de pneus. Através de ensaios de resistência à compressão, concluíram que para as dosagens em que o cimento e as fibras de borracha são na mesma proporção em volume, apresentam um ganho de resistência.

Concluíram, também, que as fibras de borracha devem ser incluídas no concreto de tal modo a não reduzir a brita em sua composição, substituindo a areia. Os autores notaram que, quando o volume de fibras de borracha superava o do cimento a resistência à compressão diminuía bastante.

Falcão Bauer et al (2001), num trabalho técnico, relata experiências, em laboratório, no preparo de concretos e argamassas com adição de aparas de pneus moídos, sem tratamento superficial. Falcão Bauer utilizou pneus usados sem lona de aço e dotado de nylon, com granulometria compatível às de agregado miúdo e graúdo, sendo que a adição foi realizada substituindo parte dos agregados por aparas de pneus. Nas dosagens de argamassas, as substituições foram de 15, 30 e 40%, e, para o concreto, de 15 e 30%.

Este trabalho teve como objetivo a verificação da resistência à compressão, tração por compressão diametral, tração na flexão, massa específica, modelo de deformação, porosidade, absorção de água por capilaridade e permeabilidade a água sob pressão.

Foram feitos dois traços padrão da argamassa, 1:4 (argamassa de regularização) e 1:3 (argamassa de contra-piso). Os autores constataram que com a adição das aparas de pneus, a resistência mecânica das argamassas e do concreto diminuíram sensivelmente. As figuras 2.19 e 2.20 demonstram a queda da resistência à compressão, em função da adição de aparas de pneus.

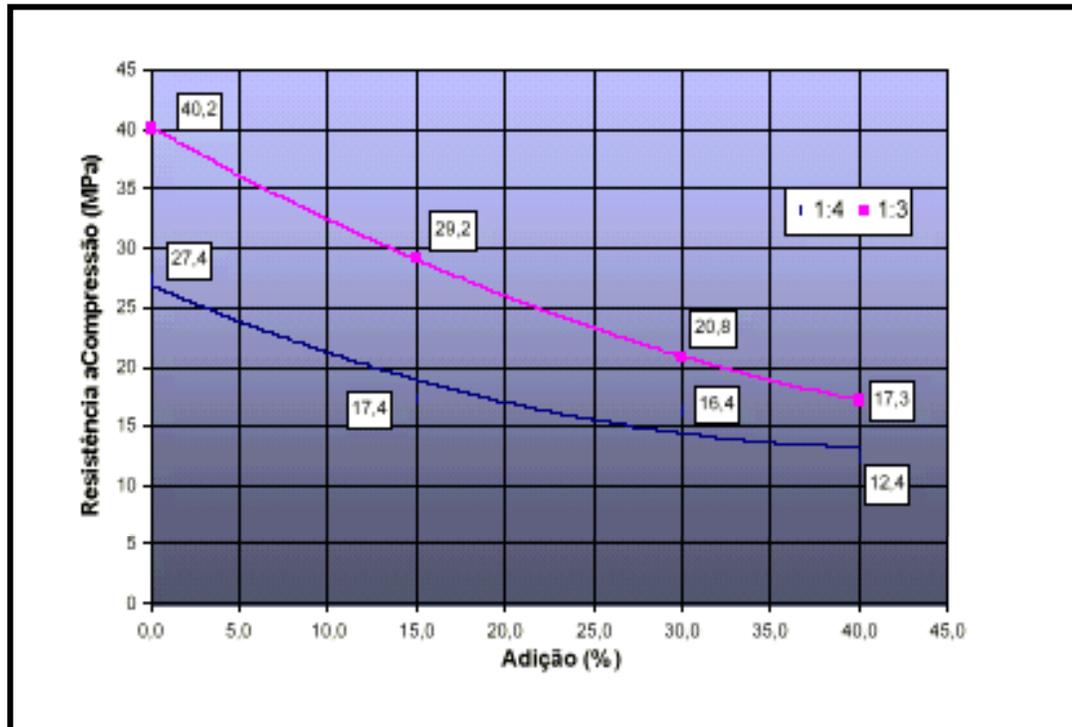


Figura 2.19 – Resistência à compressão da argamassa aos 28 dias de idade. Fonte Falcão Bauer et al (2001)

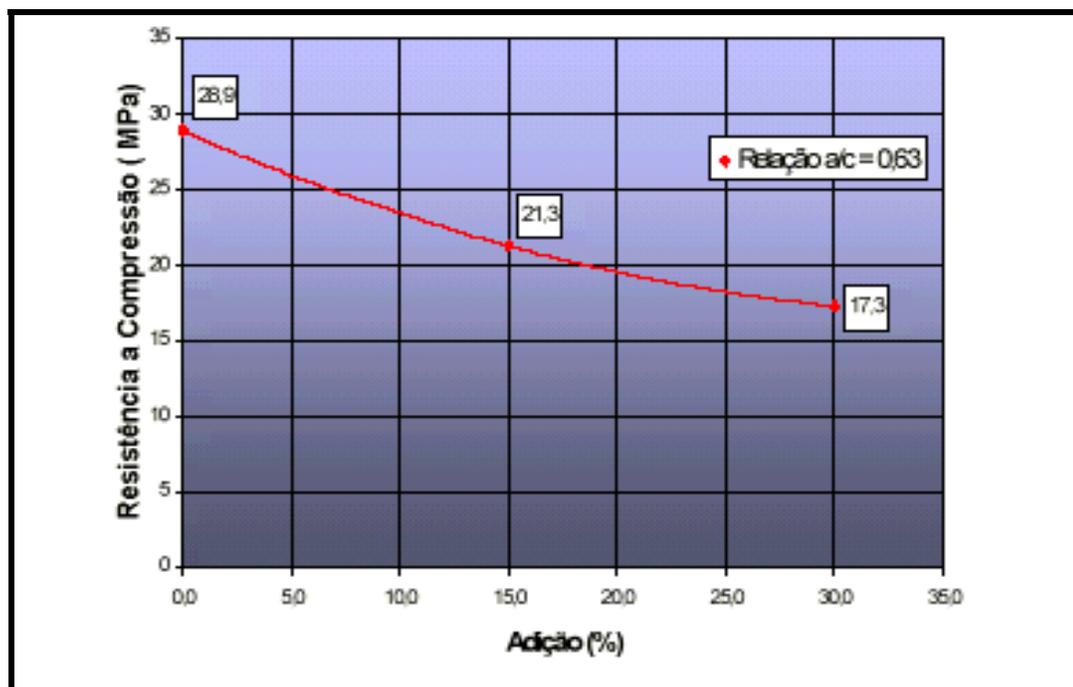


Figura 2.20 – Resistência à compressão do concreto aos 28 dias de idade. Falcão Bauer et al (2001)

Concluíram também, que a adição de aparas nas argamassas de até 40%, não prejudica seu uso na construção civil, na aplicação de contra-pisos, regularizações e enchimentos de lajes, mas não recomendam seu uso para o tráfego pesado.

No estado fresco, nas argamassas com adição de aparas, observaram menor exsudação devido o fato de que as argamassas com adição absorvem menos água para obtenção da mesma consistência.

Verificaram perdas consideráveis na resistência à compressão do concreto, indicando seu uso no envelopamento de dutos enterrados em valas.

Recentemente, Albuquerque et al (2002), comparando diversos trabalhos de concretos com borracha de pneu, concluíram, principalmente, que quanto ao tamanho da borracha, percebeu-se que partículas com dimensão superiores a 4 mm atuam negativamente nas propriedades mecânicas do concreto, sendo inviável seu uso e que o maior problema encontrado pelos autores foi a aderência entre a borracha e a matriz de cimento, amenizado pelo tratamento da borracha. Entretanto, anteriormente, Segre (2000 e 1999) realizou trabalhos com tratamento da borracha, obtendo resultados satisfatórios.

Fionti et al (2002) avaliando blocos de concreto com função estrutural utilizáveis em alvenaria, com adição de resíduos de borracha provenientes do processo mecânico de recauchutagem de pneus, prepararam cinco diferentes dosagens de concreto contendo as partículas de borracha para a confecção dos blocos, e aos 28 dias de idade, os blocos produzidos foram submetidos aos ensaios de resistência mecânica à compressão simples e capacidade de absorção de água.

As figuras 2.21 e 2.22 a seguir apresentam os ensaios de granulometria, massa específica e as dosagens dos materiais.

Material	Diâmetro Máximo (mm)	Módulo de Finura	Massa Esp. Absoluta (g/cm ³)	Massa Esp. Aparente (g/cm ³)
Resíduos	4,76	2,07	1,35	0,27
Areia	2,38	2,04	2,62	1,48
Pedrisco	6,30	5,29	2,57	1,37

Figura 2.21 – Ensaios de granulometria e massa específica dos materiais. Fonte: Fionti et al (2002)

Relação das Dosagens dos Materiais em Volume (%)					
Dosagens	Cimento	Areia	Pedrisco	Resíduos	Água
Dosagem 1	12,21	42,76	28,13	10,00	6,90
Dosagem 2	11,15	41,58	27,97	13,00	6,30
Dosagem 3	11,99	40,83	27,39	13,00	6,78
Dosagem 4	10,89	43,35	24,61	15,00	6,15
Dosagem 5	11,69	39,95	26,75	15,00	6,61

Figura 2.22 – Dosagens dos materiais utilizados na moldagem dos blocos. Fonte: Fionti et al (2002)

Os autores concluíram que para o bloco estrutural, a quantidade considerada ideal de resíduos de borracha na composição do concreto, sem que o mesmo venha diminuir a resistência dos blocos e ao mesmo tempo consumir o limite máximo de cimento adotado, é de 13% em volume, com aproximadamente 245 kg/m³ de cimento, conforme a dosagem 2. Concluíram, também que as dosagens 4 e 5 com 15% em volume de resíduos, apresentaram os resultados de absorção de água mais elevados, segundo a figura 2.23, à seguir, fato ocasionado, segundo os autores, por conterem a maior quantidade de resíduos em suas composições, o que teria dificultado o processo de compactação e vibração dos blocos na vibro-prensa semi-automática.

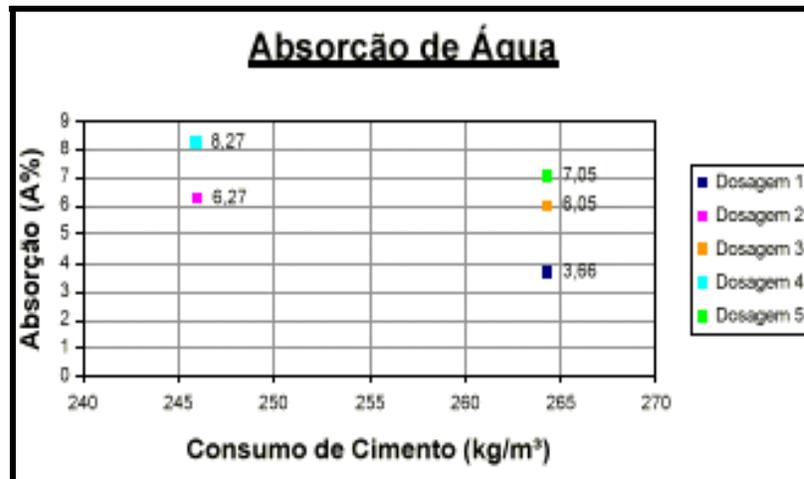


Figura 2.23 – Ensaio de absorção de água. Fonte: Fionti et al (2002)

Este trabalho nos mostra que uma grande quantidade de borracha no concreto ou argamassa inviabiliza seu uso, não somente quanto à perda de resistência mecânica, mas quanto à sua durabilidade, quanto ao aumento da absorção de água, levando-a a crer que o uso da borracha nos concretos e argamassas, seja como adição e não como agregado.

Nirschl et al (2002) estudando o comportamento mecânico de concretos acrescidos de fibras de borracha vulcanizada, de duas faixas granulométricas diferentes, provenientes do processo de recauchutagem de pneus, elaboraram composições de concreto adicionado de resíduos de borracha de pneus em substituição parcial dos agregados. Foram realizados aos 7, 28 e 56 dias, ensaios de resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade, além de ensaio de absorção d'água dos corpos de prova. Utilizaram fibras de borracha vulcanizada passadas na peneira nº 8 – abertura 2,38mm – e retiradas na peneira nº 20 – abertura 0,8mm – e fibras passadas na peneira nº 20 – abertura de 0,8mm. Constataram que o uso na construção civil é perfeitamente viável e que a adição das fibras maiores no concreto aumentariam as propriedades mecânicas do concreto e diminuiriam a sua trabalhabilidade.

Os autores traçaram uma curva do módulo de elasticidade com relação à idade, em dias, do concreto para o traço A (fibras maiores) e traço B (fibra menores), demonstrando a tenacidade nos dois traços. A figura 2.24, a seguir, nos mostra os resultados do módulo de elasticidade.

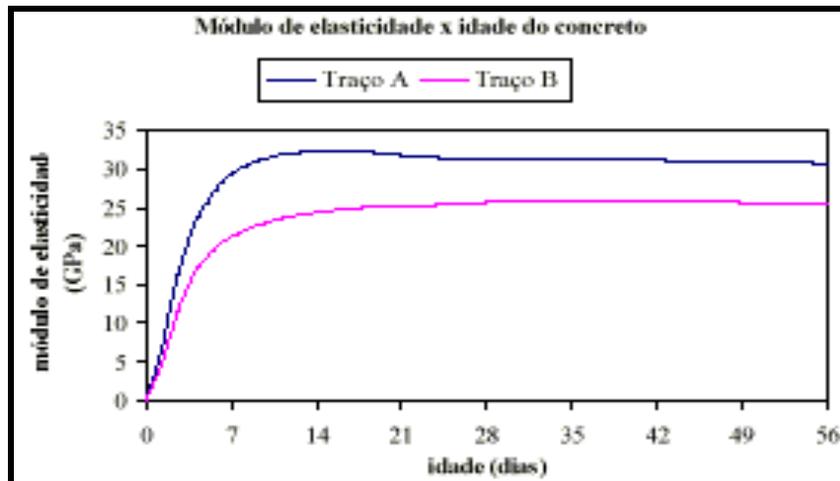


Figura 2.24 – Curva do módulo de elasticidade x idade dos concretos ensaiados. Fonte: Nirschl et al (2002)

Notamos na figura acima, que como o módulo de elasticidade é uma medida da resistência à deformação elástica do material, embora o concreto não seja verdadeiramente um material elástico, o gráfico de tensão-deformação nos apresenta, normalmente, uma linha com uma suave curvatura. Estes resultados dos ensaios nos mostram boa tenacidade nos concretos com fibras de borracha vulcanizada.

Ribeiro et al (2002) estudaram o comportamento do concreto com adição de borracha de pneus. Utilizaram pneu picado em dimensões aproximadas a brita zero e pneu em fibras na proporção de 10% em volume seco. Os corpos de prova foram confeccionados em ambiente de laboratório e ensaiados aos 7 e 28 dias de idade. Avaliaram o módulo de deformação longitudinal e a resistência à compressão. Para a realização dos ensaios, comparativamente, executaram três diferentes séries:

Série 1 = 8 corpos de prova sem adição de borracha de pneus.

Série 2 = 8 corpos de prova confeccionados com 10% de borracha de pneus com graduação aproximada à brita zero.

Série 3 = 8 corpos de prova confeccionados com 10% de borracha de pneus em forma de fibra.

Todas as séries foram ensaiadas aos 7 e 28 dias de idade, sendo utilizados 4 corpos de prova para cada etapa. Nas três séries utilizaram o aditivo Mastermix 390N, sendo que na série 3

utilizaram também o Rheobuild 1000 para que fosse mantida o mesmo abatimento do tronco de cone.

A figura 2.25 nos mostra o diagrama tensão-deformação para as 3 séries, aos 28 dias de idade.

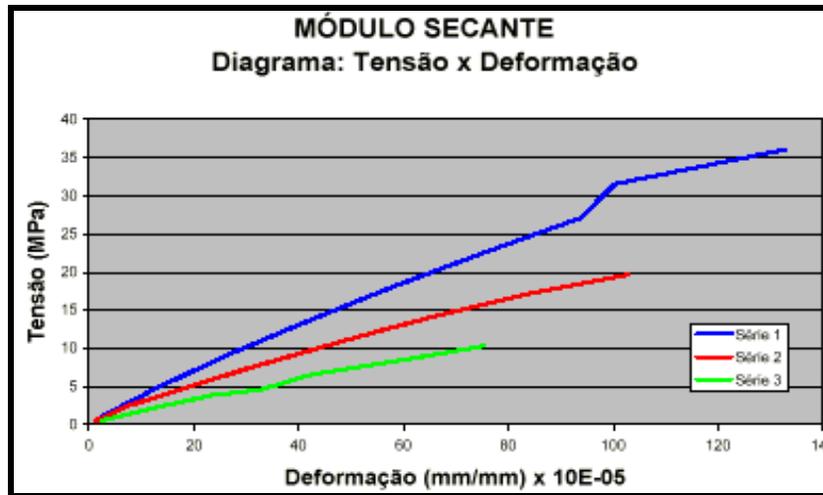


Figura 2.25 – Diagramas tensão x deformação. Fonte: Ribeiro et al (2002)

Os autores verificaram um aumento de 48% no valor da deformação da Série 2 em relação à Série 1 e de 147% quando comparados à Série 3 com a Série 1, concluindo que mesmo com a perda de resistência devida à utilização da borracha, verificado tanto nos corpos de prova da Série 2 e 3, observaram que o concreto onde adicionaram 10% da borracha picada, os valores obtidos para a resistência à compressão ficaram em patamares aceitáveis para utilização estrutural.

Concluíram, ainda, que no concreto onde foi adicionado 10% de borracha em fibras, poderia ser aplicado, com vantagens, em elementos onde a resistência elevada não seja um fator essencial e onde o baixo peso específico ou a alta deformabilidade possam ser fatores colaborantes, como por exemplo, a confecção de placas para divisórias internas ou muros de divisa, bem como para placas para pavimentação de praças ou escolas públicas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Considerações Iniciais

Este capítulo tem o objetivo de descrever os ensaios realizados para analisar o comportamento do emprego de pó de borracha de pneus nas argamassas de cimento e areia, obtendo-se desta forma, as propriedades principais, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Portanto, foram realizados ensaios, tendo como referência, as normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Primeiramente, com o objetivo de caracterizar o pó de borracha utilizado nesta pesquisa como substituição, na argamassa em relação as suas propriedades físicas e mecânicas, foram realizados os ensaios de granulometria, massa específica aparente e unitária.

Posteriormente, foram confeccionados corpos de prova de argamassa com 3 tipos de dosagens, para determinar suas principais propriedades no estado fresco e endurecido. Para tanto, foram realizados ensaios de consistência normal (flow-table), resistência à compressão axial e diametral, o módulo de elasticidade, resistência à abrasão e a absorção de água por capilaridade.

Para caracterizar os outros materiais da argamassa, foi realizado ensaio de granulometria e massa específica aparente na areia utilizada nesta pesquisa.

3.2 Pó de borracha

Toda a borracha utilizada como substituição na argamassa foi obtida através da moagem de pneus velhos de caminhão pela empresa Borcol Indústria de Borracha Ltda., localizada em Sorocaba – São Paulo.

Segundo dados fornecidos pela indústria Borcol, a borracha utilizada nesta pesquisa era composta pelos seguintes materiais:

- óleo plastificante (20%);
- cinzas (carga mineral máxima de 10%);
- negro de fumo (mínimo de 28%);
- borracha natural (45%)

Após a coleta dos pneus de caminhão usados na Indústria Borcol, os mesmos foram moídos em moedores cilíndricos, obtendo assim o pó de borracha. O pó de borracha foi submetido a um tratamento de lavagem em uma solução saturada de hidróxido de sódio comercial (contém impurezas - soda cáustica), para poder ser utilizado como adição em argamassas. A solução utilizada era saturada (figura 3.2.1), isto é, tinha solubilidade do NaOH em água a 20° C de 109 g / 100 g de água (referência 12). Este processo também eliminou matérias orgânicas presentes neste material (óleos, graxas, etc.), pois este pó de borracha foi proveniente de pneus velhos sem utilização comercial.



Figura 3.2.1 – Solução saturada de NaOH

O pó de borracha ficou imerso na solução de hidróxido de sódio durante 1 hora, sendo agitado periodicamente, e depois foi lavado com água corrente para retirada total do hidróxido de sódio (figura 3.2.2). A água com hidróxido de sódio comercial foi neutralizada para posterior descarte.



Figura 3.2.2 – Lavagem do pó de borracha

Para garantir que todo NaOH tinha sido eliminado do pó de borracha, verificou-se o pH inicial da água (antes do tratamento) e a borracha foi lavada até que o pH da água residual voltasse a ser o pH inicial. Isto foi obtido através de um papel indicador de pH (figura 3.2.3).

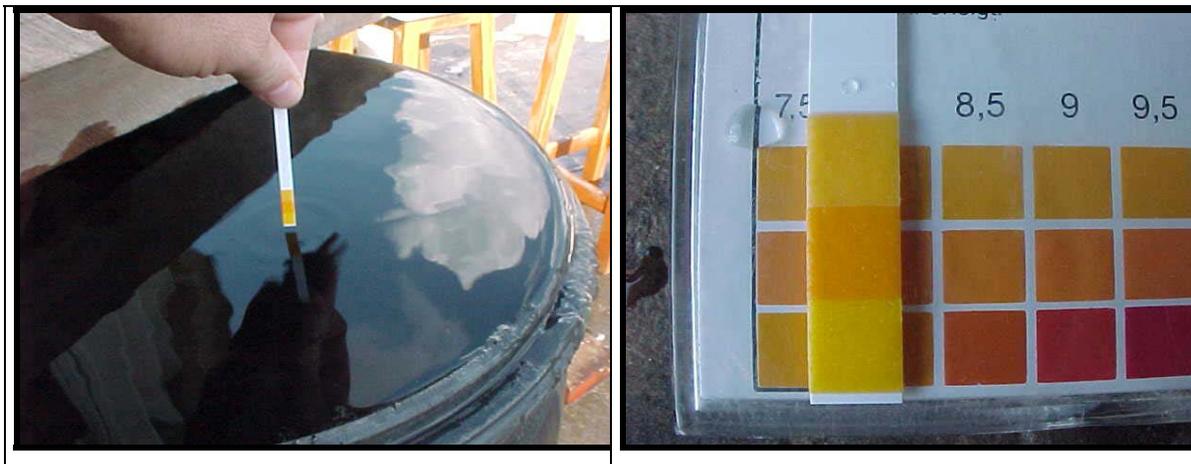


Figura 3.2.3 – Papel indicador de pH em contato com a água do pó de borracha após lavagem

Terminada esta etapa, a borracha foi colocada para secar no ambiente do Laboratório de Materiais até estabilização da sua massa.

3.2.1 Ensaio de Granulometria

Após a secagem do pó de borracha foi determinada a sua curva granulométrica através do ensaio de peneiramento que consiste em um jogo de peneiras com abertura determinada pela norma brasileira NBR 7211. Deste material seco foi retirada uma amostra de 1000 g (figura 3.2.1.1). Neste ensaio, também foi determinada a dimensão máxima característica do pó de borracha e seu módulo de finura.



Figura 3.2.1.1 – Pó de borracha após a secagem

Devemos ressaltar que as partículas do pó de borracha são bastante irregulares em relação a areia convencional utilizada na Construção Civil.

3.2.2 Massa específica aparente e unitária

Para determinar a massa específica aparente do pó de borracha foi realizado o ensaio do frasco de Chapman (NBR 9776). Este ensaio consiste em colocar água dentro de um frasco chamado Chapman aferido até a marca de 200 cm³ e depois colocar 500 g de pó de borracha seco em estufa (100°C a 110°C) até constância de massa. Depois foi anotado o deslocamento do nível da água no tubo graduado do frasco. Com estes dados foi determinada a massa específica aparente deste material através da relação entre a massa do mesmo seco em estufa e o volume igual do sólido.

A massa unitária do pó de borracha foi determinada colocando-o em um recipiente de volume conhecido e depois foi determinada a massa deste material. Assim, com a relação peso/volume foi obtido a massa unitária deste material.

3.3 Agregado

A escolha da areia foi determinada em função da facilidade de obtenção e de uma granulometria usual para este tipo de argamassa. Portanto, a areia utilizada foi obtida da região de Campinas, interior do Estado de São Paulo.

Esta areia também foi ensaiada para determinar a massa específica aparente, massa unitária e granulometria.

A massa específica aparente da areia foi determinada pelo ensaio do frasco de Chapman descrito anteriormente (item 3.2.2). O frasco de Chapman utilizado neste ensaio e está representado pela figura 3.3.1.



Figura 3.3.1 – Ensaio do frasco de Chapman

3.4 Cimento

O cimento utilizado no desenvolvimento desta pesquisa foi o CP II-E 32 (Cimento Portland composto com escória – classe 32), da marca Ciminas, pois este é o cimento normalmente empregado em argamassas de revestimento no estado de São Paulo, pela sua facilidade na obtenção. Suas principais características estão apresentadas na tabela 3.4.1, com os dados fornecidos pelo fabricante:

Tabela 3.4.1 – Caracterização do cimento utilizado na argamassa

Propriedades Físicas do CP - II E – classe 32			
Propriedade		Resultados	Método de ensaio
Massa específica (kg/dm ³)		3,13	NBR - 6474
Tempo de pega (min.)	início	190	NBR - 11581
	fim	290	
Consistência normal (%)		27,20	NBR – 7215/82
Blaine (m ² /kg)		389	NBR – 7224
Finura (%)	# 200	1,00	NBR – 11579
	# 325	5,11	
Expansibilidade a quente		0,50	NBR – 11582
Resistência à compressão (Mpa)	3 dias	21,20	NBR - 7215
	7 dias	32,40	
	28 dias	42,60	

Todo o cimento utilizado foi retirado de um mesmo lote e o seu armazenamento ocorreu em local seco, cujos sacos de 50 kg foram revestidos com sacos plásticos para garantir que não houvesse contato com umidade.

3.5 Tratamento do pó de borracha

Como comparação, foram executados corpos de prova com adição de pó de borracha tratada e sem adição de pó de borracha nas argamassas, sendo realizados os mesmos ensaios nos dois tipos de corpos de prova. Todo o pó de borracha tratado de pneus usados, após a secagem, foram guardados em ambiente seco, em embalagem apropriada.

Nos traços com o uso de pó de borracha, o agregado miúdo foi substituído pela borracha em 10 % em relação à massa de cimento. O pó de borracha apresentou a forma de um pó, tendo um formato bastante irregular.

3.6 Confeção dos corpos de prova

Foram escolhidos 03 traços experimentais, 1 : 3 : 0.33; 1 : 5 : 0.45 e 1 : 7 : 0.60, que foram ensaiados para determinar a resistência à compressão axial e diametral, absorção de água por capilaridade, ensaio de desgaste por abrasão e determinação do módulo de elasticidade. Todos os ensaios foram realizados com as idades de 3, 7 e 28 dias, exceto o ensaio de abrasão que foi realizado aos 28 dias.

Nos traços com adição de pó de borracha o agregado miúdo foi substituído em 10 % em relação à massa de cimento. Optou-se em reduzir a areia para não alterar a quantidade de cimento nas misturas.

A moldagem foi feita baseando-se na NBR 7215, usando moldes para corpos de prova de argamassa 5 x 10 cm, nas quantidades exigidas pela norma, isto é, para cada idade (3, 7 e 28 dias) foram moldados 4 corpos de prova para ensaio de compressão axial, 4 corpos de prova para ensaio de compressão diametral, 4 corpos de prova para ensaio de absorção por capilaridade e 4 corpos de prova para ensaio de módulo de elasticidade, o que resultou em 288 corpos de prova confeccionados e ensaiados. Conforme a norma, os materiais componentes da argamassa foram misturados em uma argamassadeira de marca Perfecta Curitiba, com capacidade de 5 kg (figura 3.6.1).



Figura 3.6.1 - Argamassadeira

Primeiramente, numa velocidade baixa, foi colocada a água, depois durante os próximos 30 segundos foram colocados o cimento, nos 30 segundos seguintes foram colocados a areia e a borracha . Logo em seguida, a argamassa foi misturada em alta velocidade durante 30 segundos, houve um descanso de 1 minuto e 30 segundos e, logo em seguida a argamassadeira foi ligada em alta velocidade durante 60 segundos (figura 3.6.2).



Figura 3.6.2 – Material seco da argamassa sendo misturado na argamassadeira

3.6.1 Ensaio de Consistência da Argamassa

Este ensaio é descrito pela norma NBR 7215/96, também conhecido como flow table, foi executado para determinação da trabalhabilidade da argamassa com adição de pó de borracha nos 3 traços testados nesta pesquisa e também no traço sem adição de pó de borracha.

Este ensaio consiste em colocar uma porção de argamassa dentro de um cone centralizado em uma mesa em 3 camadas, sendo a 1ª camada com 15 golpes, a 2ª camada com 10 golpes e a 3ª camada com 5 golpes. Depois é retirado o cone e são dados 30 golpes de queda da mesa em 30 segundos (figura 3.6.1.1). Em seguida foi feita a medida do espalhamento da argamassa sobre a mesa em duas direções perpendiculares. Com a média destas medidas foi determinada a trabalhabilidade dos tipos de argamassa executados neste trabalho.



Figura 3.6.1.1 – Argamassa após a retirada do cone

3.7 Resistência à Compressão Axial

Os materiais da argamassa foram misturados na mesma argamassadeira citada no item 4.3 antes de serem confeccionados os corpos de prova (figura 3.7.1). Os moldes foram untados anteriormente com uma camada de óleo desmoldante para facilitar a desmoldagem dos corpos de prova.



Figura 3.7.1 – Moldagem dos corpos de prova

Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados conforme a norma NBR 7215. Os corpos de prova foram capeados com enxofre para regularização da superfície dos mesmos e melhor distribuição da carga aplicada e depois ensaiados em prensa hidráulica Dinateste para determinação de carga de ruptura (figura 3.7.2). Os resultados foram submetidos a uma análise estatística prevista em norma para determinar o desvio relativo máximo (DRM).



Figura 3.7.2 – Prensa hidráulica Dinateste

3.8 Resistência a Tração por Compressão Diametral

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 7222/94, que consiste em aplicar uma carga na direção transversal do corpo de prova (geratriz), distribuindo a carga por meio de uma talisca de madeira com 1 cm de seção transversal e comprimento do corpo de prova, neste caso, 10 cm. Foi utilizada uma madeira macia (pinus) porque as taliscas deviam ter uma resistência menor que os corpos de prova ensaiados (figura 3.8.1).

Esta carga produz uma ruptura diametral do corpo de prova o que caracteriza como uma ruptura por tração.



Figura 3.8.1 – Corpos de prova preparados para ensaio de compressão diametral

3.9 Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade

Este ensaio estabelece a absorção de água por ascensão capilar dos corpos de prova. O resultado é obtido através do aumento de massa dos corpos de prova que estão parcialmente imersos em água por um determinado tempo.

Antes do ensaio, os corpos de prova foram impermeabilizados em toda superfície lateral com 2 camadas de resina acrílica, marca Hydronorth, para que não houvesse absorção de umidade lateral nos corpos de prova, mas somente por ascensão (figura 3.9.1).



Figura 3.9.1 – corpos de prova impermeabilizados

O nível da água foi mantido constante em 5 mm (+/- 1mm) durante todo o ensaio (figura 3.9.2). Os corpos de prova foram pesados antes e depois de serem colocados na água. Assim, por diferença de massa foram determinados a absorção de água da argamassa com 24 h.



Figura 3.9.2 – Corpos de prova durante o ensaio de absorção

3.10 Determinação do Módulo de Elasticidade

Este ensaio foi realizado para determinar o módulo de elasticidade da argamassa para uma análise comparativa entre as argamassas com e sem adição de pó de borracha testadas neste trabalho.

No ensaio foram utilizados extensômetros elétricos (strain gages) da marca Kyowa, com de 67 mm de comprimento e fator de 2,11. Os corpos de prova foram preparados para a instrumentação, passando por um processo de eliminação das impurezas e imperfeições superficiais, causadas na sua moldagem. Em cada corpo de prova foram colados dois extensômetros para determinar a deformação média da argamassa durante a aplicação de carga até a ruptura (figura 3.10.1).



Figura 3.10.1 – Extensômetro colado do corpo de prova

Estes extensômetros foram soldados em cabos elétricos (figura 3.10.2) que estavam conectados a um aquisitor de dados que forneceu a carga em kgf e a deformação em milímetros por mil (‰) durante o ensaio para posteriormente serem traçados os gráficos tensão x deformação e o módulo de elasticidade. A aplicação de carga foi constante até a

ruptura dos corpos de prova ensaiados, realizada na mesma prensa hidráulica dos ensaios de compressão axial e diametral.



Figura 3.10.2 – Corpos de prova soldados aos cabos elétricos

3.11 Determinação do Desgaste por Abrasão

Este ensaio foi realizado no Laboratório Falcão Bauer, para determinar o desgaste por abrasão, segundo a NBR 12042 de 1992, de materiais inorgânicos. O desgaste do corpo de prova deve se dar através do atrito entre sua superfície de uso e a superfície de um anel de ferro fundido, que é continuamente abastecido com um material abrasivo, onde o desgaste por abrasão é determinado pela perda de espessura do corpo de prova. O material abrasivo, neste caso, é a areia seca número 50 (0,3mm), conforme NBR 7214. O equipamento é provido de contador automático do número de voltas da pista de desgaste. O equipamento utilizado neste ensaio está apresentado nas figuras 3.11.1 e 3.11.2.



Figura 3.11.1 – Equipamento utilizado no ensaio de abrasão



Figura 3.11.2 – Detalhe do equipamento de abrasão

Os ensaios foram realizados no Laboratório Falcão Bauer S.A., da seguinte maneira: os corpos de prova tinham a forma de um prisma com lado de 70 mm e com altura de 30 mm (figura 3.11.3). Foram realizados ensaios com corpos de prova de argamassa com adição de pó de borracha tratada e de argamassa convencional. Estes ensaios nos forneceram resultados comparativos com os dois tipos de argamassas. Os traços usados foram os seguintes: 1:3 com relação a/c de 0,33, 1:5 com relação a/c de 0,45 e 1:7 com relação a/c de 0,60. O preparo das argamassas foi executado de acordo com a norma NBR 12042/1992.



Figura 3.11.3 – Formas dos corpos-de-prova realizados no ensaio de abrasão

Após a colocação do equipamento em funcionamento, deve-se medir 250 voltas, que equivalem a um percurso dos corpos-de-prova em relação ao anel de aproximadamente 500m. Logo em seguida, deve-se retirar os corpos-de-prova do equipamento, remover a poeira aderente a eles com escova macia e repetir a operação para obter a leitura intermediária (média das leituras efetuadas nos quatro pontos, de acordo com a Norma).

Terminado o novo percurso de aproximadamente 500 m, retirar os corpos-de-prova do equipamento, refazer os mesmos procedimentos de limpeza, para se obter a leitura final.

Os resultados relativos a 500m e 1000m de percurso, são obtidos respectivamente pela diferença entre a leitura final e a intermediária, e pela diferença entre a leitura final e a leitura inicial. A figura 3.11.4 exemplifica o dispositivo de medida da perda de espessura de cada etapa do ensaio de abrasão.

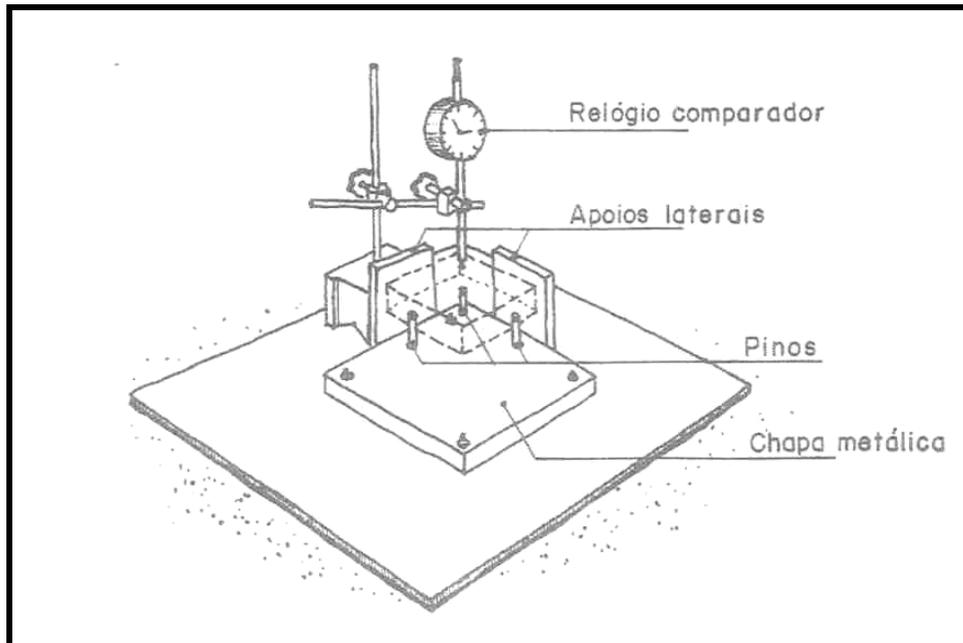


Figura 3.11.4 – Dispositivo de medida de perda de espessura

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização do pó de borracha

Para caracterizar o pó de borracha foram realizados ensaios de granulometria, massa específica aparente e massa unitária. O pó de borracha apresentou forma irregular.

A tabela 4.1.1 apresenta os resultados do ensaio de granulometria do pó de borracha e da determinação da massa específica e massa unitária deste material. A figura 4.1.1 apresenta a curva granulométrica do pó de borracha utilizado como substituição em argamassa nesta pesquisa.

Tabela 4.1.1- Resultados do ensaio de granulometria do pó de borracha

ENSAIOS	CARACTERÍSTICAS DO PÓ DE BORRACHA
Módulo de finura - NBR 7217	2,51
Massa específica (Kg/dm ³) – NBR9776	0,548
Massa unitária (Kg/dm ³) - NBR7251	0,395.
Dimensão máxima (mm) - NBR7217	1,20

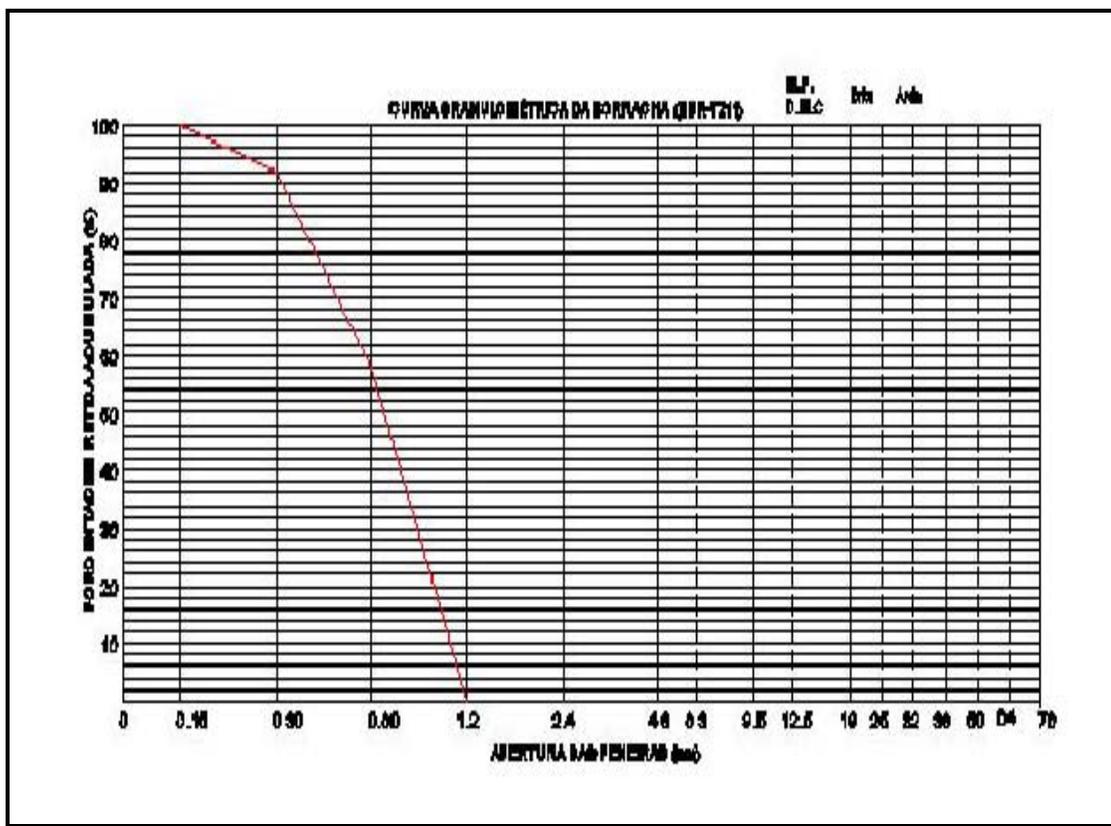


Figura 4.1.1 – Curva granulométrica do pó de borracha

4.2 Caracterização da areia

Para caracterizar a areia utilizada na argamassa foram realizados os mesmos ensaios do pó de borracha (granulometria, massa específica aparente e massa unitária).

A tabela 4.2.1 apresenta os resultados do ensaio de granulometria da areia e da determinação da massa específica e massa unitária deste material. A figura 4.2.1 apresenta a curva granulométrica da areia utilizada nos traços de argamassa estudados neste trabalho.

Tabela 4.2.1- Resultados do ensaio de granulometria da areia

ENSAIOS	CARACTERÍSTICAS DA AREIA
Módulo de finura (mm) - NBR 7217	2,32
Massa específica (g/cm ³) – NBR9776	3,92
Massa unitária (g/cm ³) - NBR7251	1,39
Dimensão máxima (mm) - NBR7217	2,40

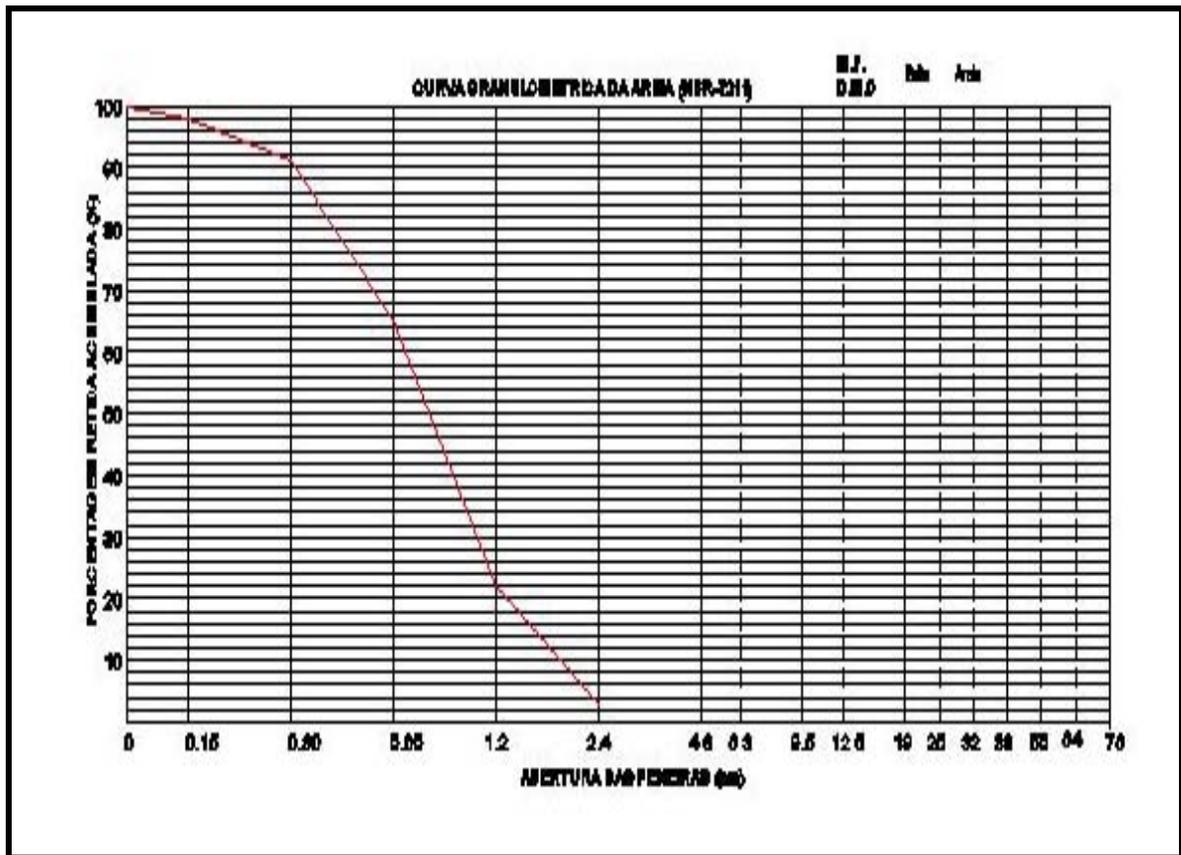


Figura 4.2.1 – Curva granulométrica da areia utilizada na argamassa

4.3 Caracterização da argamassa no estado fresco

Neste trabalho foram realizados 6 traços de argamassa, sendo 3 deles com o uso de pó de borracha e 3 deles sem o uso. Os traços foram fixados nas proporções descritas na tabela 4.3.1. A quantidade de material descrita nesta tabela para cada traço foi referente ao material necessário para moldar 36 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 5 cm e altura de 10 cm.

Tabela 4.3.1 – Materiais utilizados nos traços de argamassa

MATERIAL	TRAÇO (gramas)		
	COM ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA		
	1 : 3 (0,33)	1 : 5 (0,45)	1 : 7 (0,60)
Areia	5800	6370	6900
Água	660	585	600
Cimento	2000	1300	1000
Pó de borracha	200	130	100
TESTEMUNHO			
Areia	6000	6500	7000
Água	660	585	600
Cimento	2000	1300	1000

4.3.1 Ensaio de Índice de consistência normal (Flow-table)

Para determinar o índice de consistência dos traços de argamassa no estado fresco foram realizados ensaios de flow table. No gráfico 4.3.1.1 estão representados os valores dos índices de consistência dos traços executados.

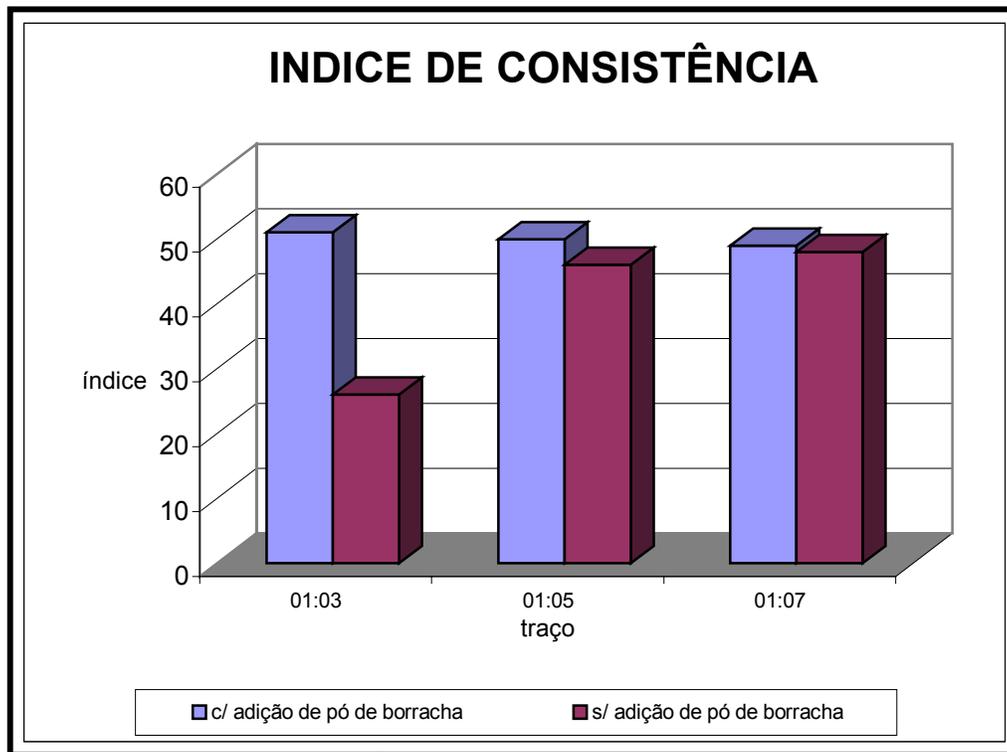


Gráfico 4.3.1.1 – Índice de consistência dos traços da argamassa

4.4 Caracterização das argamassas no estado endurecido

Para determinar as propriedades no estado endurecido dos traços das argamassas testadas nesta pesquisa, foram realizados ensaios de absorção de água por capilaridade, compressão axial, compressão diametral, determinação do módulo de elasticidade e ensaio de desgaste por abrasão. Foram confeccionados corpos de prova para serem ensaiados nas idades de 3, 7 e 28 dias, exceto para o ensaio de abrasão, que foram realizados aos 28 dias. Também foram determinadas as propriedades das argamassas sem o uso de pó de borracha para comparação de resultados.

4.4.1 Ensaio de absorção por capilaridade

Os ensaios de absorção de água por capilaridade estão apresentados nos gráficos 4.4.1.1 a 4.4.1.3 a seguir, onde “s” representa a estimativa do Desvio Padrão das amostras.

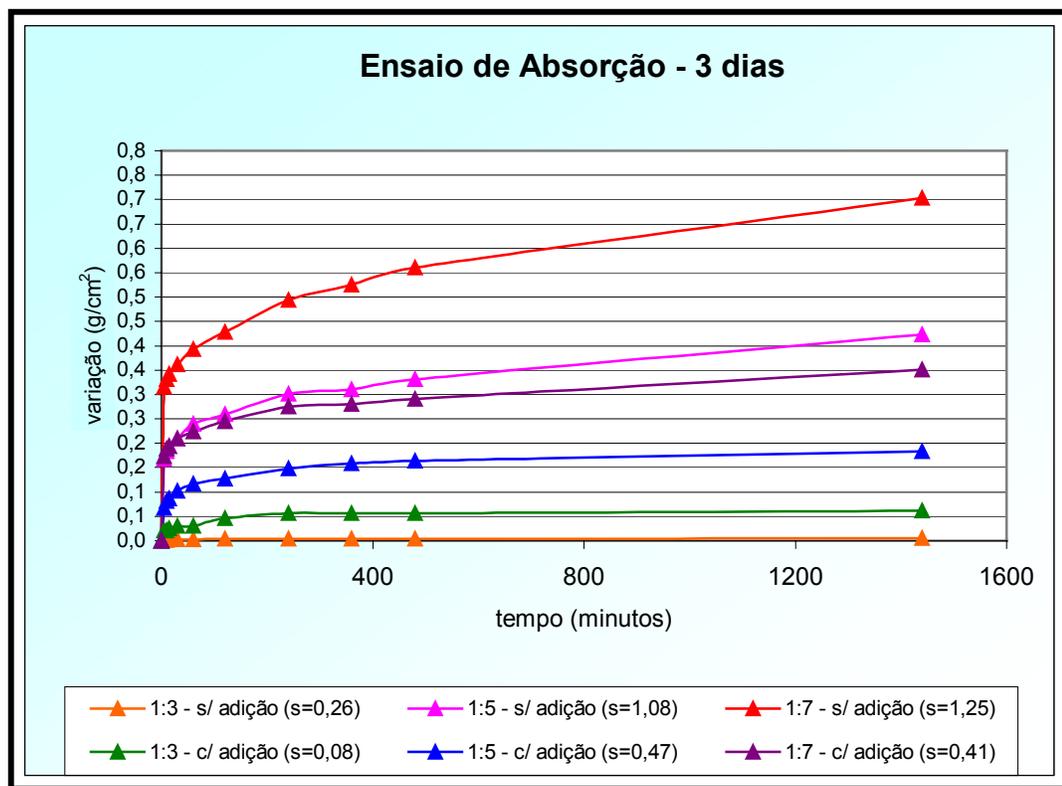


Gráfico 4.4.1.1 – Absorção por capilaridade em corpos-de-prova com 3 dias de idade

Podemos notar que com adição do pó de borracha, aos 3 dias de idade, a absorção de água é sensivelmente menor, se comparados com as argamassas sem adição de pó de borracha.

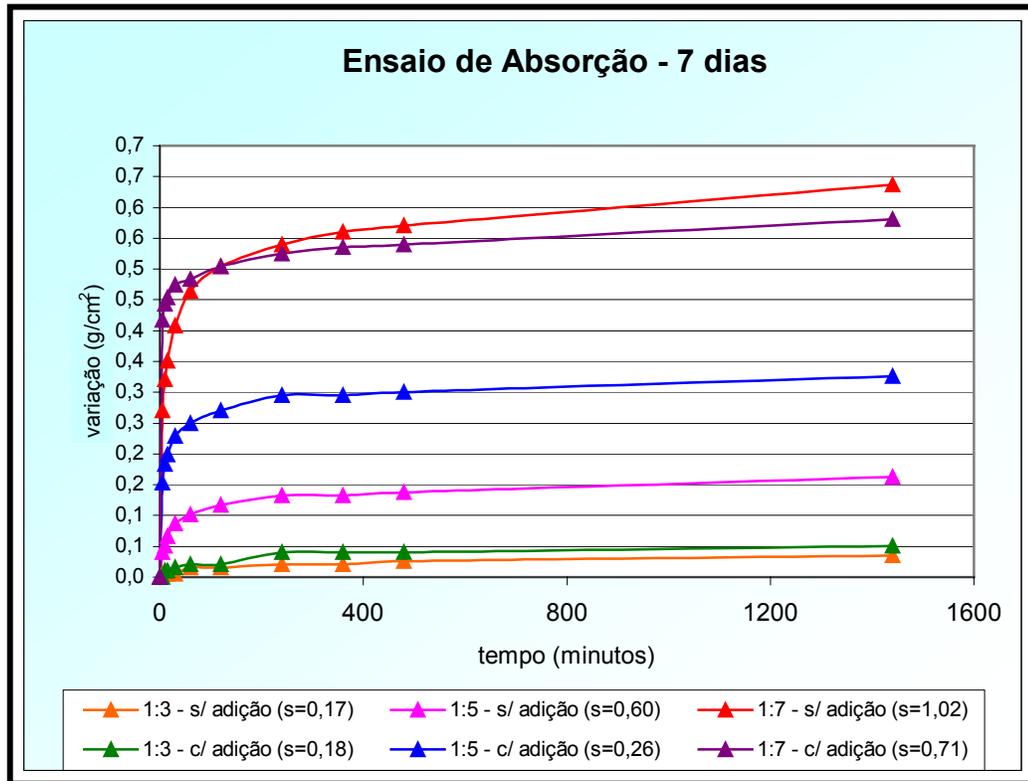


Gráfico 4.4.1.2 - Absorção por capilaridade em corpos-de-prova com 7 dias de idade

Para os ensaios de absorção de água por capilaridade aos 7 dias, notamos que o comportamento das argamassas, com e sem adição foram praticamente os mesmos, exceto no traço 1:5, que apresentou uma pequena melhora da argamassa sem o pó de borracha.

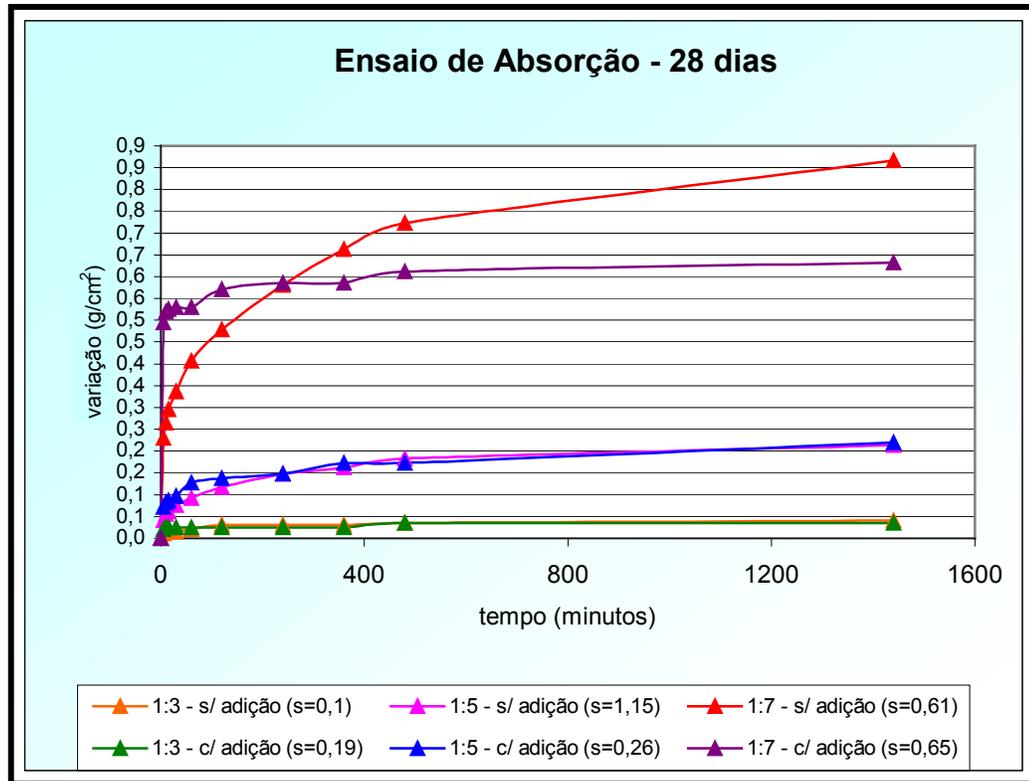


Gráfico 4.4.1.3 - Absorção por capilaridade em corpos-de-prova com 28 dias de idade

Aos 28 dias de idade, que é o traço que mais interessa para o uso na construção civil, o uso do pó de borracha na argamassa, para o traço 1:7,proporcionalmente, foi o traço que absorveu menos água, quando comparados com a argamassa sem adição de pó de borracha.

4.4.2 Ensaio de compressão axial

Neste trabalho, como foi esperado, a resistência à compressão das argamassas com adição de pó de borracha tratada, foram menores que as resistências das argamassas sem adição do pó de borracha. Este ensaio foi necessário, para uma avaliação da aplicabilidade deste material em certos tipos de estruturas ou peças, sem o comprometimento da construção. Este tipo de argamassa, com adição do pó de borracha, mesmo tendo uma resistência menor, pode ser

aplicada com êxito, para outros fins, como revestimento ou enchimento de vazios, em que a resistência mecânica não seja o fator determinante.

Na tabela 4.4.2.1 estão os resultados dos ensaios de compressão axial dos corpos-de-prova para os traços 1:3, 1:5 e 1:7. Os gráficos 4.4.2.1 a 4.4.2.3 mostram o comportamento da argamassa com e sem o uso de pó de borracha nos traços citados acima aos 3, 7 e 28 dias de idade.

Tabela 4.4.2.1 – Resultados do ensaio de compressão axial

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL (MPa)			
Traços	Idades		
	03 dias	07 dias	28 dias
1:3 – s/ adição	22,0	26,20	27,50
1:3 – c/ adição	13,90	14,70	19,10
1:5 – s/ adição	9,30	12,00	15,50
1:5 – c/ adição	7,60	9,00	15,40
1:7 – s/ adição	5,20	5,90	7,90
1:7 – c/ adição	4,40	5,90	7,90

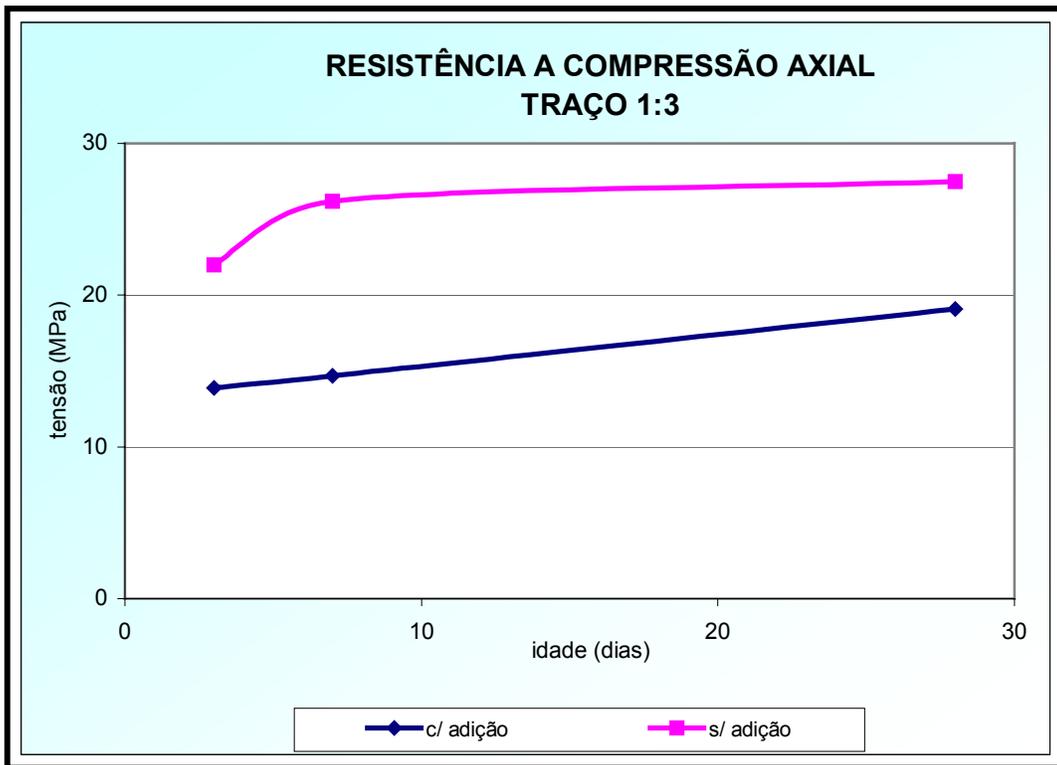


Gráfico 4.4.2.1 - Resistência à compressão axial – traço 1:3

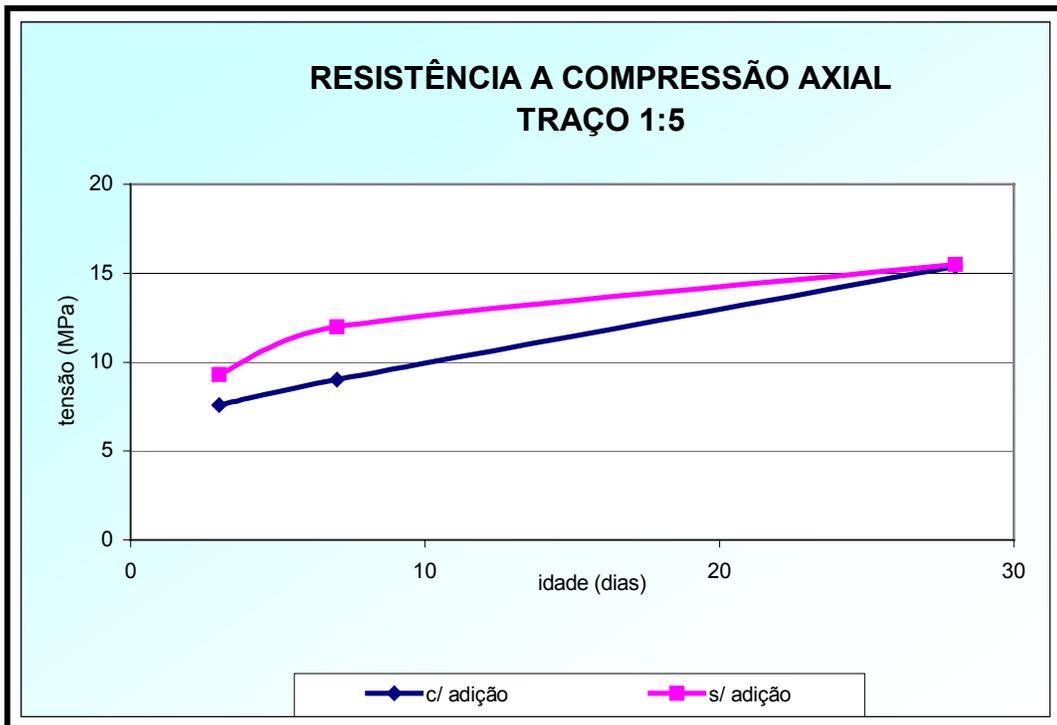


Gráfico 4.4.2.2 – Resistência à compressão axial – traço 1:5

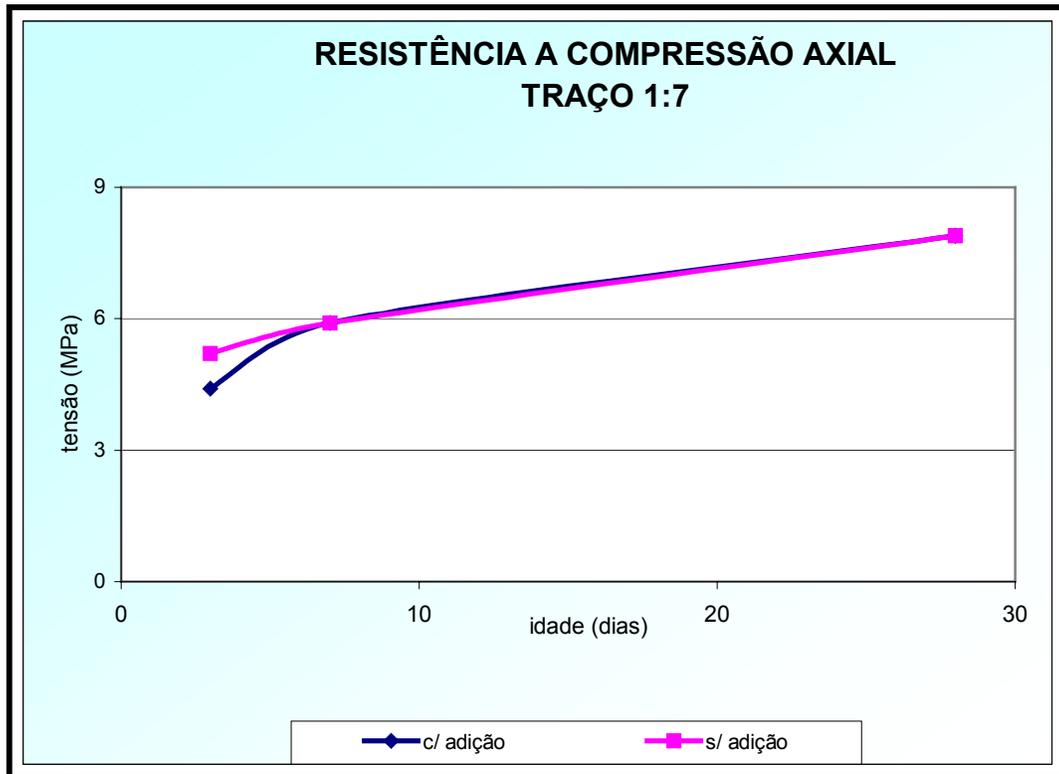


Gráfico 4.4.2.3 – Resistência à compressão axial – traço 1:7

Podemos constatar que a adição de maior quantidade de pó de borracha na argamassa, no caso do traço 1:3, fez com que a resistência à compressão diminuísse consideravelmente, mas nos traços 1:5 e 1:7, a resistência à compressão foi praticamente a mesma aos 28 dias de idade.

A resistência das argamassas com pó de borracha, quanto à compressão diametral, tiveram uma menor diminuição de resistência quando comparadas às argamassas de controle, comparando aos valores encontrados na perda de resistência à compressão axial. As argamassas com pó de borracha, tiveram comportamento similar à tese de Segre (1999). Isto ocorreu devido a maior aderência na interface entre os agregados e a borracha, notados na tração, na realização destes ensaios. A tabela 4.4.3.1 mostra os resultados obtidos neste ensaio para os traços testados e os gráficos 4.4.3.1 a 4.4.3.3 mostram o comportamento das argamassas, da resistência à compressão diametral com a idade.

Tabela 4.4.3.1 – Resultados do ensaio de compressão diametral

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAMETRAL (MPa)			
Traços	Idades		
	03 dias	07 dias	28 dias
1:3 – s/ adição	3,43	3,68	4,10
1:3 – c/ adição	2,18	2,35	3,60
1:5 – s/ adição	1,78	2,10	2,58
1:5 – c/ adição	1,63	1,65	2,35
1:7 – s/ adição	0,93	0,98	1,63
1:7 – c/ adição	0,83	1,05	1,58

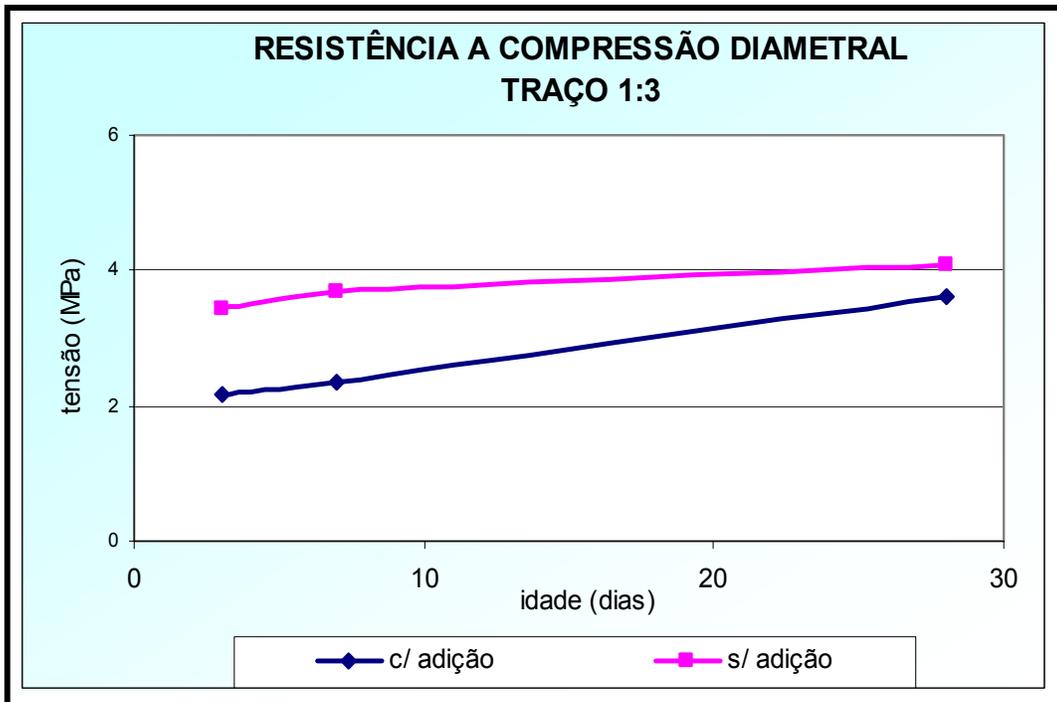


Gráfico 4.4.3.1 – Resultados do ensaio de compressão diametral – traço 1:3

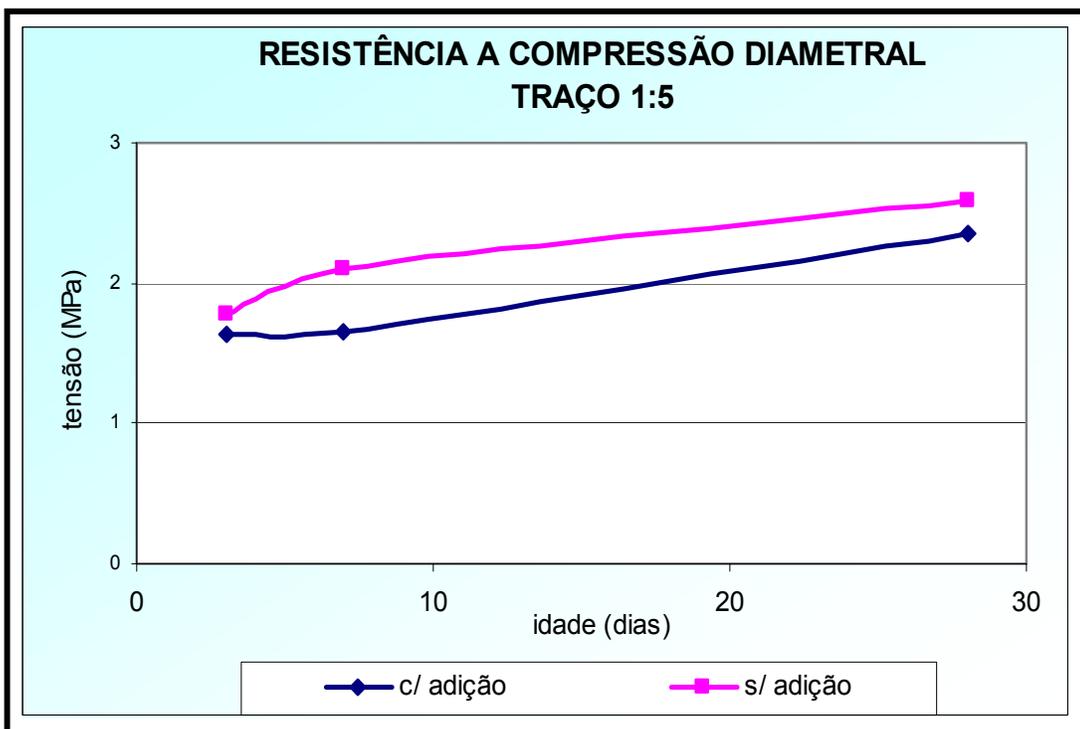


Gráfico 4.4.3.2 – Resultados do ensaio de compressão diametral – traço 1:5

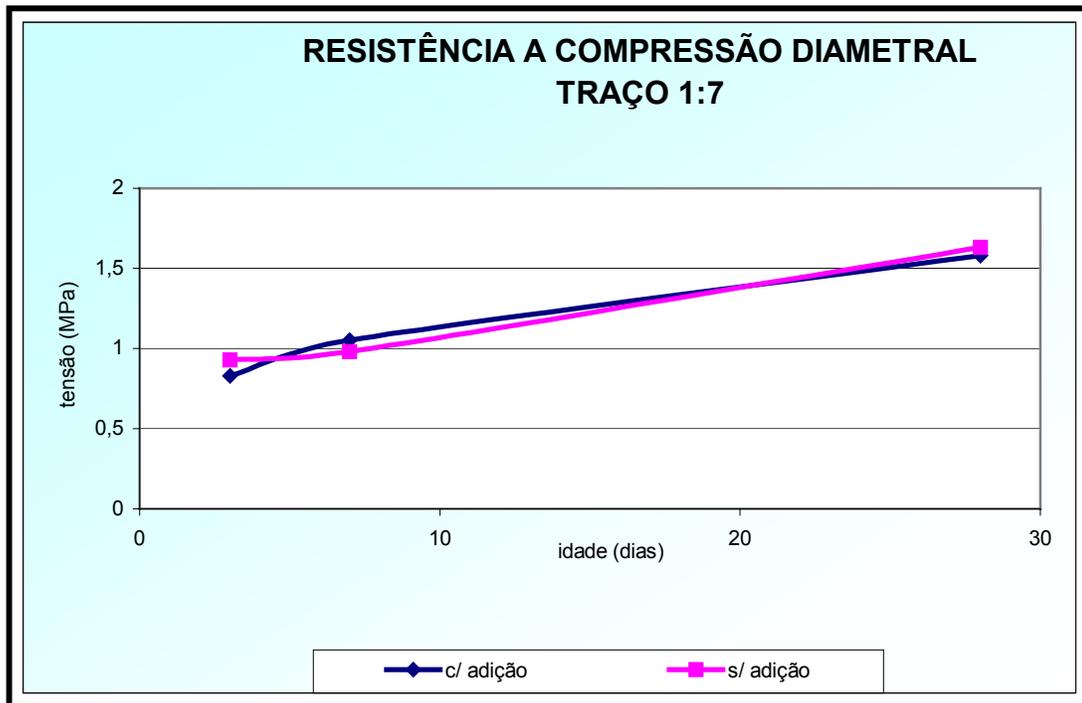


Gráfico 4.4.3.3 – Resultados do ensaio de compressão diametral – traço 1:7

4.4.4 Ensaio de Módulo de elasticidade das argamassas

Para algumas aplicações, como revestimento, as características de baixo módulo de elasticidade e alta tenacidade são desejadas para as argamassas. Um dos propósitos deste trabalho foi otimizar estas características citadas anteriormente, para argamassas com adição de pó de borracha, devido à sua melhor capacidade de deformação. A tabela 4.4.4.1 dispõe os resultados do módulo de elasticidade da argamassa com e sem adição de pó de borracha. Através dos gráficos 4.4.4.1 a 4.4.4.3 pode-se observar uma sensível diminuição do módulo de elasticidade das argamassas com a adição do pó de borracha. Portanto, a argamassa com pó de borracha, tendo menor módulo de elasticidade, permite maior deformação sob carga, dando à argamassa maior mobilidade, sendo um material ideal para absorver impactos.

Tabela 4.4.4.1 – Resultados do módulo de elasticidade

TRAÇOS	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)		
	03 dias	07 dias	28 dias
1:3 - Sem adição	21,63	27,54	26,21
1:3 - Com adição	13,37	22,25	27,78
1:5 - Sem adição	10,87	19,16	20,1
1:5 - Com adição	8,37	15,18	17,53
1:7 - Sem adição	5,97	10,12	5,92
1:7 - Com adição	3,45	12,10	8,57

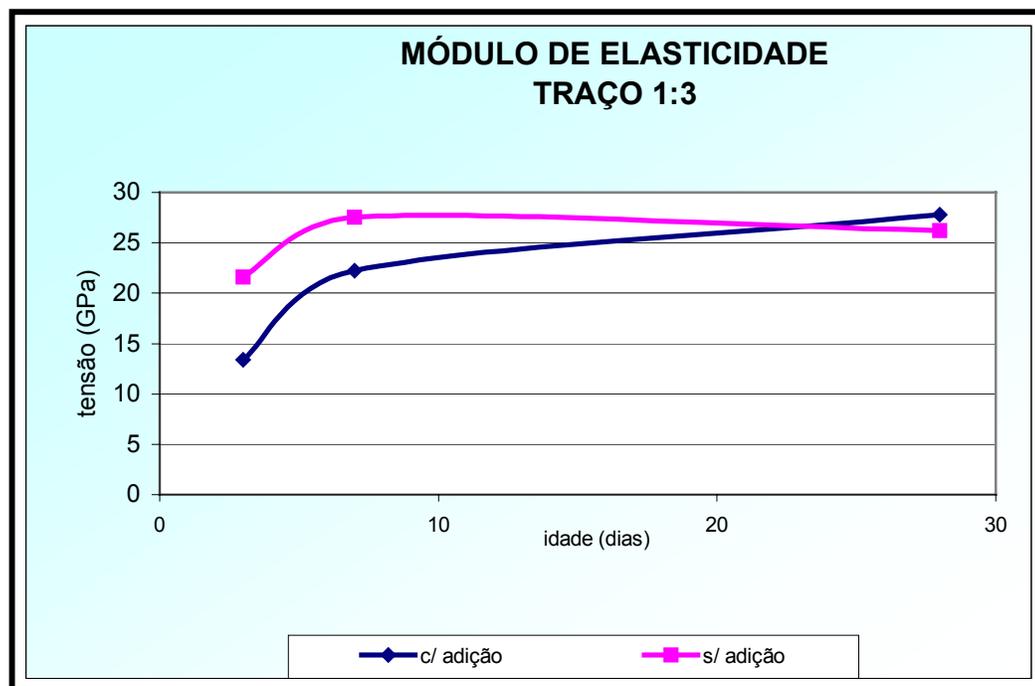


Gráfico 4.4.4.1 – Módulo de elasticidade da argamassa – traço 1:3

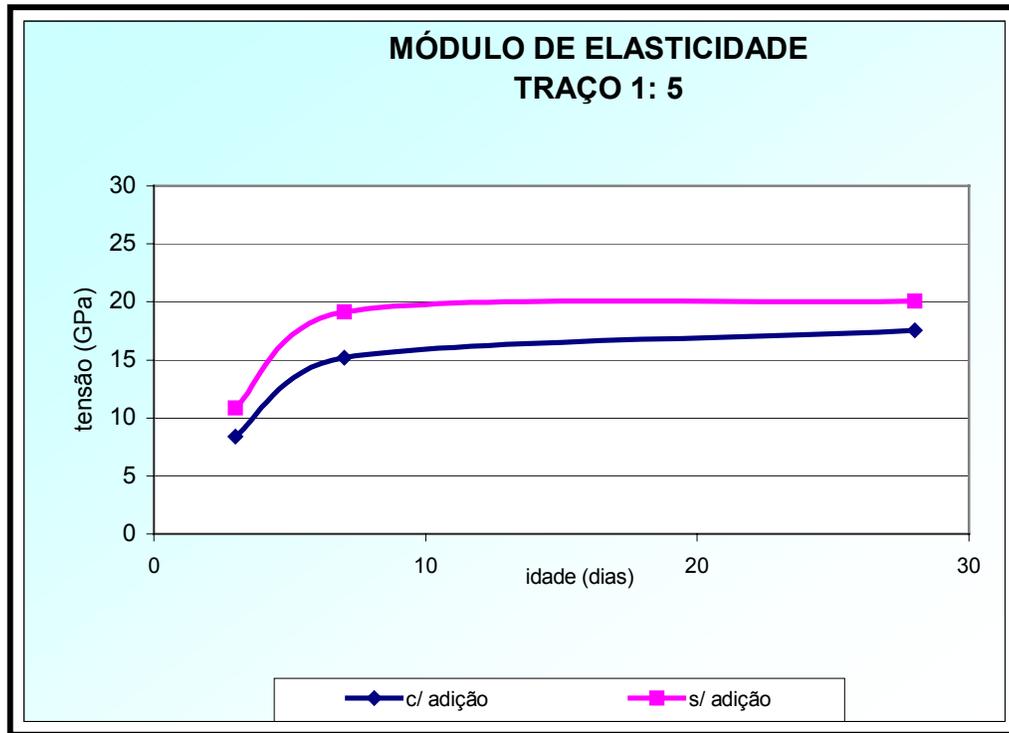


Figura 4.4.4.2 – Módulo de elasticidade da argamassa – traço 1:5

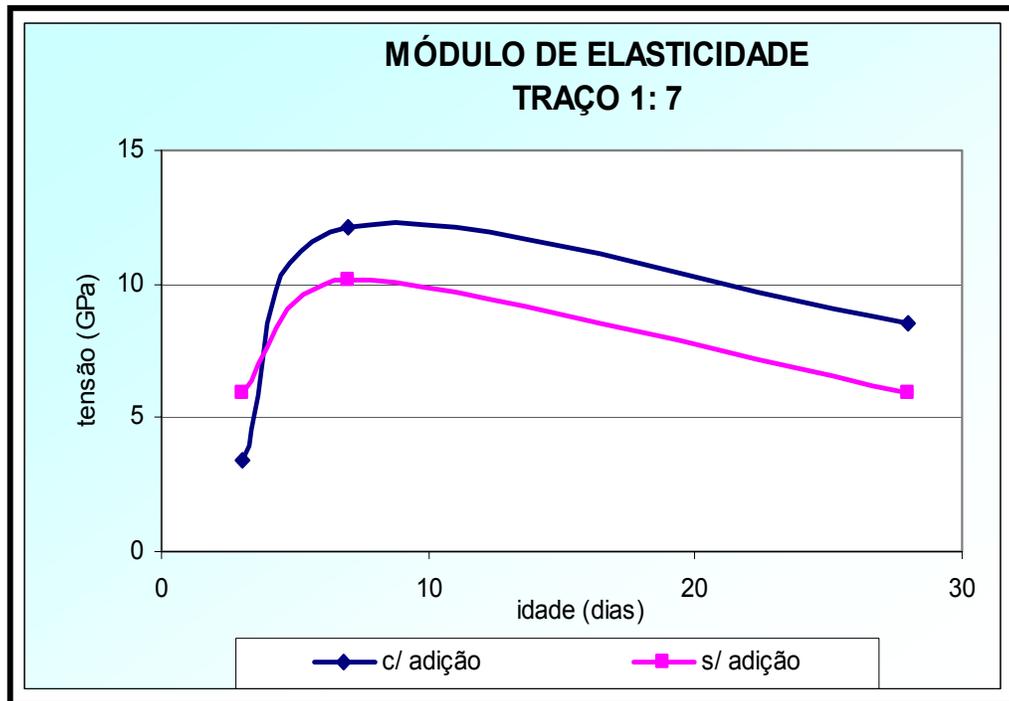


Gráfico 4.4.4.3 – Módulo de elasticidade da argamassa – traço 1:7

4.4.5 Ensaio de Desgaste por abrasão

Neste ensaio observou-se visualmente, uma quantidade maior de agregado graúdo em um dos corpos-de-prova no traço 1:5 sem adição de borracha. Isto também ocorreu no mesmo traço com adição de borracha, havendo um desprendimento de parte do corpo-de-prova ao final das 500 voltas.

Na tabela 4.4.5.1 e no gráfico 4.4.5.1, estão apresentados os resultados do ensaio de desgaste por abrasão dos traços de argamassa com e sem o uso de pó de borracha. Os valores são apresentados para um percurso de 500 m e 1000 m.

Tabela 4.4.5.1 – Resultados do ensaio de abrasão das argamassas

ENSAIO DE DESGASTE POR ABRASÃO			
TRAÇO	DESGASTE (mm)		DENSIDADE APARENTE (g/cm³)
	500 M	1000 M	
1:3 c/ adição	3	4,5	1,62
1:3 s/ adição	4,5	8,3	1,79
1:5 c/ adição	1,8	3,7	1,53
1:5 s/ adição	2,5	5	1,74
1:7 c/ adição	4	7	1,46
1:7 s/ adição	3	7,5	1,73

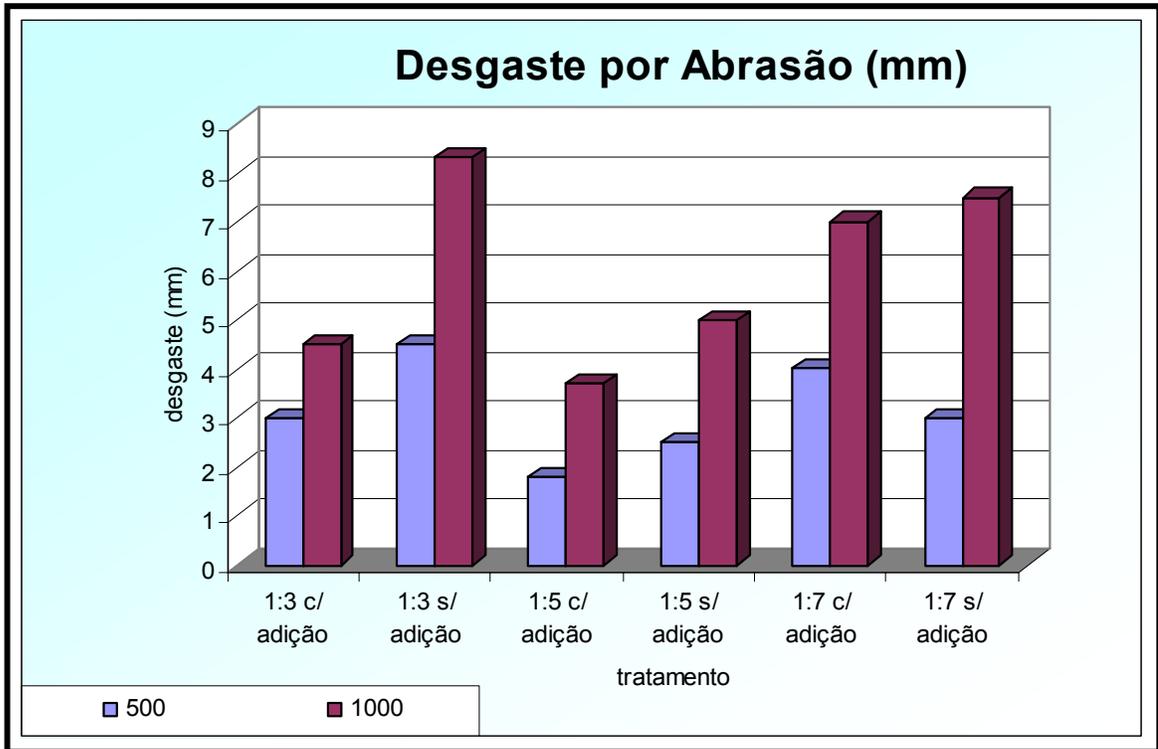


Gráfico 4.4.5.1 – Ensaio de abrasão nas argamassas

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Análise do pó de borracha

O uso do pó de borracha de pneus usados, que foram utilizados neste trabalho, devido à sua finura, proporcionaram uma argamassa mais coesa, fazendo com que o pacote granulométrico fechasse ainda mais, quando misturados à areia e ao cimento, devido à grande variação da granulometria dos componentes da argamassa. Na literatura apresentada, Topçu (1995) nos demonstra que uma granulometria menor melhora as propriedades mecânicas das argamassas, provavelmente devido ao fechamento do pacote granulométrico. Esta observação pôde ser constatada visualmente.

Albuquerque et al (2002) num trabalho de revisão bibliográfica, também chegou à mesma conclusão, comparando diversos trabalhos de concretos com borracha de pneu, concluía, principalmente, que quanto ao tamanho da borracha, percebeu-se que partículas com dimensões superiores a 4mm atuam negativamente nas propriedades mecânicas do concreto, sendo inviável seu uso e que o maior problema encontrado pelos autores foi a aderência entre a borracha e a matriz de cimento, amenizando por algum tipo de tratamento da borracha.

Nos trabalhos apresentados, contendo borrachas nos concretos, constatou-se que a grande falha em algumas pesquisas apresentadas, é que a borracha foi utilizada como agregado e não como “substituição de parte da areia”, procurando obter alguma propriedade no concreto como vantagem. Eldin e Senouci (1992); Rostami et al (1993) e Toutanji (1996) em seus trabalhos nos demonstram a evidente perda de resistência mecânica dos concretos, com o aumento da quantidade de borracha adicionada.

Comparando este trabalho com Lee et al (1993) que realizaram ensaios com pasta de cimento com borracha, trataram superficialmente a borracha com ácido nítrico diluído, notaram também que com a adição de borracha, a resistência à tração do material diminui independentemente do tamanho das partículas de borracha, mas, com o tratamento superficial da borracha, a resistência à tração do material foi praticamente a mesma com 5 e 15% de adição.

Com o tratamento superficial com hidróxido de sódio comercial, utilizado no pó de borracha, é esperado um aumento da adesão na interface, entre a argamassa de cimento e areia e o pó de borracha. A tese de doutorado de Segre (1999) trabalhando com pastas de cimento e pó de borracha de pneus tratados com hidróxido de sódio, aumentou significativamente a aderência entre as partículas de borracha e a matriz de cimento. Convém ressaltar, ainda, que este trabalho visa a continuidade do trabalho de Segre, agora utilizando-se argamassa de cimento e areia e pó de borracha, agora tratado com hidróxido de sódio comercial.

A curva granulométrica apresentada no capítulo 4 demonstra a menor granulometria do pó de borracha, quando comparados com a areia. O pó de borracha utilizado tem dimensão máxima de 1,2 mm.

Podemos concluir, então, que a quantidade de pó de borracha utilizada neste trabalho, visa desenvolver um material para a construção civil, de custo compatível, fácil aplicação e principalmente com uma adição suficiente e necessária, sem comprometer demasiadamente sua resistência mecânica, mas aplicada com vantagens para outros fins.

Na literatura, os autores sugerem a diminuição das partículas de borracha, que nos levariam à melhoria do comportamento dos materiais, conforme citado anteriormente, que seria a granulometria utilizada neste trabalho, a indicada para as argamassas.

5.2 Análise da areia

A areia empregada nestas amostras, é uma areia utilizada usualmente nas argamassas na construção civil. De acordo com a curva granulométrica, podemos notar que trata-se de uma areia média à grossa, com comportamento que poderia ser considerado como um material bom para execução de microconcreto, por tratar-se de um experimento pouco comum, optamos por esta granulometria, da areia, que pode ser usada, também, em revestimentos.

5.3 Análise da argamassa no estado fresco

Neste trabalho foram realizados 6 traços de argamassa, sendo 3 deles com adição de pó de borracha e 3 deles sem adição de pó de borracha. Os traços foram fixados nas proporções descritas na tabela 4.3.1, apresentadas anteriormente. Na literatura, vários trabalhos apresentaram ensaios, sempre comparando uma argamassa com e sem o uso da borracha, tendo-se uma argamassa de controle, como referência.

5.3.1 Análise do Ensaio de Índice de consistência normal (NBR 7215/anexo B)

Para determinar o índice de consistência normal dos traços de argamassa no estado fresco foram realizados ensaios para os dois tipos de argamassa. No gráfico 4.3.1.1 foram apresentados os valores dos índices de consistência dos traços executados. Podemos constatar que o traço 1:3, de cimento e areia, que tem maior quantidade de pó de borracha adicionada, apresentou maior índice de consistência, quando comparados ao controle, ou seja, com a adição de 200 g de pó de borracha de pneus, no traço 1:3, o índice de consistência, aumentou em 94%. Houve pequena melhora do índice de consistência nos traços 1:5 e 1:7, com quantidade de borracha da ordem de 130 g e 100 g, respectivamente, quando comparados ao controle. Estes traços em grama, referem-se à adição do pó de borracha, substituindo a areia, para a execução dos 36 corpos de prova, supra mencionados.

Raghavan et al (1998) avaliaram as propriedades de argamassas a base de cimento e borracha de pneu, e constataram que a argamassa contendo fibras menores de borracha, apresentaram trabalhabilidade melhores que com a argamassa sem adições, de acordo com a revisão bibliográfica. Os autores utilizaram partículas de borracha de 2 mm de diâmetro, sem nenhum tratamento. Desta forma, neste trabalho, utilizando-se borracha com granulometria similar ao dos autores, a melhora da trabalhabilidade da argamassa com adição do pó de borracha, já era esperada.

Também, na literatura, Nirschl et al (2002), estudando o comportamento mecânico de concretos acrescidos de fibras de borracha vulcanizada, de duas faixas granulométricas diferentes, provenientes do processo de recauchutagem de pneus, constataram que o uso na construção civil é perfeitamente viável e que a adição das fibras maiores no concreto diminuiriam a sua trabalhabilidade.

Portanto, a adição do pó de borracha de pneus usados, tratados com hidróxido de sódio comercial, poderia ser utilizada como substituição da areia, com a finalidade de se melhorar a trabalhabilidade de argamassas, para execução de determinados trabalhos de construção civil. Talvez, num outro trabalho, poderíamos propor o estudo da adição de pó de borracha nos concretos, visando a sua trabalhabilidade, substituindo-se, em alguns casos, o uso de aditivos.

5.4 Análise da caracterização das argamassas no estado endurecido:

Para determinar as propriedades no estado endurecido dos traços de argamassa testados nesta pesquisa foram realizados ensaios de absorção de água por capilaridade, compressão axial e diametral, determinação do módulo de elasticidade e ensaio de abrasão. Também foram determinadas as propriedades das argamassas sem adição de pó de borracha para comparação dos resultados.

5.4.1 Análise do ensaio de absorção de água por capilaridade (NBR 9779)

O ensaio de absorção de água por capilaridade, foi realizado através de ensaio normalizado, aos 3, 7 e 28 dias, como citado anteriormente, utilizando-se argamassas com pó de borracha tratadas com hidróxido de sódio comercial e argamassas de controle sem adição de borracha.

Analisando-se os gráficos 4.4.1.1 a 4.4.1.3 dos ensaios das argamassas aos 3, 7 e 28 dias de idade, notamos que com adição do pó de borracha, houve uma menor variação na massa dos corpos de prova, quanto à absorção de água por capilaridade, quando comparados ao controle, principalmente nas primeiras idades; notando – se que com a adição na argamassa do pó de borracha tratado com hidróxido de sódio comercial aos 28 dias de idade, para o traço 1:7 a absorção de água foi menor, proporcionalmente, quando comparados ao controle e para os traços 1:3 e 1:5, os resultados foram praticamente os mesmos. Segre (1999), constatou que haveria uma melhor adesão entre a matriz e as partículas de borracha, tratadas com NaOH, evitando-se assim, a absorção de água por capilaridade. Segre constatou , por microscopia eletrônica de varredura que cerca de 2/3 das partículas de borracha tratadas estavam aderidas, em relação às partículas sem tratamento. Estes resultados nos induz a acreditar que esta adesão ocorra também com as argamassas, pela modificação, com o tratamento, das superfícies das borrachas. Devemos ressaltar, que na literatura, o trabalho de Segre refere-se às pastas de cimento e não às argamassas.

Por outro lado, o excesso de borracha, parece inviabilizar o uso de argamassas e concretos, como constatou Fioriti, C.F. et al (2002), avaliando blocos de concreto com função estrutural utilizáveis em alvenaria, com adição de resíduos de borracha com tamanho de até 3 mm. Este trabalho nos mostra que uma grande quantidade de borracha no concreto ou argamassa inviabiliza seu uso, não somente quanto à perda de resistência mecânica, mas quanto à sua durabilidade e quanto ao aumento da absorção de água. Ao analisarmos o gráfico 4.4.1.3, podemos observar que o aumento do pó de borracha na argamassa, não causou maior absorção de água nos corpos de prova, pois no traço 1:7, aos 28 dias de idade, onde a substituição de borracha é menor, a argamassa comportou-se melhor , quando comparados ao controle.

A absorção de água foi menor em quase todos os corpos de prova que receberam adição de pó de borracha tratada com hidróxido de sódio, quando comparados ao controle, principalmente aos 3 e 7 dias de idade, mas para efeitos práticos e quanto à durabilidade, o comportamento da argamassa aos 28 dias de idade, é o de maior interesse.

Concluimos, nestas condições, que o aumento da quantidade de pó de borracha, tratada com hidróxido de sódio comercial nas argamassas, não compromete a absorção de água por capilaridade. Devemos definir a quantidade ideal de borracha, como no traço 1:7, em que a adição nos proporcionou uma melhora significativa na absorção de água por capilaridade quando comparados ao controle.

5.4.2 Análise do ensaio de compressão axial (NBR 7215)

O ensaio de compressão axial, foi realizado através de ensaio normalizado, aos 3, 7 e 28 dias, utilizando-se argamassas com pó de borracha tratadas com hidróxido de sódio comercial e argamassas de controle sem adição de borracha.

Analisando-se os gráficos da figura 4.4.2.1 a 4.4.2.3 constatamos que aumentando a quantidade de pó de borracha adicionada à argamassa, diminui a sua resistência à compressão axial. Notamos que no ensaio dos corpos de prova com o traço 1:3, em que a quantidade de pó de borracha é maior, proporcionalmente que os outros traços, a resistência à compressão axial diminui consideravelmente, quando comparados ao controle. No traço 1:3, aos 28 dias de idade, o f_{ck} da argamassa sem adição do pó de borracha foi de 27,50 MPa e enquanto que com adição de borracha, obtivemos o valor de 19,10 MPa, obtendo-se assim, uma perda de 30,54 % de resistência à compressão.

Os resultados mais animadores foram obtidos com os traços 1:5 e 1:7, aos 28 dias de idade, pois, comparando-se os valores das resistências à compressão axial, dos corpos de prova com e sem adição de borracha, constatamos que os valores foram praticamente os mesmos. Para o traço 1:5, os valores foram de 15,50 MPa e 15,40 MPa, para argamassas sem adição e com

adição, respectivamente; e, para o traço 1:7, os valores foram de 7,90 MPa para os traços com e sem adição.

Na literatura, vários autores, como Toutanji (1996); Rostami (2000) e Topçu(1995), entre outros, constataram que com o aumento do pó de borracha nos concretos, a resistência à compressão diminuía, mas Eldin e Senouci (1992) também substituíram a borracha de pneu por agregado no concreto e constataram uma diminuição da resistência à compressão, verificando que quando a borracha foi substituída por agregados finos, houve uma menor perda de resistência à compressão, comparados com a substituição da borracha por agregados graúdos, como utilizado neste trabalho, pois com o uso de argamassas com areia e cimento, nos proporcionou uma substituição de agregados finos, não comprometendo os resultados de resistência.

Verificando, também, na literatura, notamos que Segre (1999) e Rostami et al (2000) obtiveram melhores resultados com borrachas tratadas, como neste trabalho.

Estes resultados demonstram que para uma certa quantidade de pó de borracha adicionada à argamassa, os resultados à compressão não diminuíram, devendo ser adicionado a quantidade suficiente e necessária, para se obter resultados que com sua adição, melhorem o desempenho da argamassa para determinados fins, verificando até que ponto o comprometimento da estrutura seja aceitável.

5.4.3 Análise do ensaio a compressão diametral (NBR 7272)

O ensaio de compressão diametral, foi realizado através de ensaio normalizado, aos 3, 7 e 28 dias, utilizando-se argamassas com pó de borracha tratadas com hidróxido de sódio comercial e argamassas de controle sem adição de borracha.

Ao analisarmos os gráficos 4.4.3.1 a 4.4.3.3, constatou-se que uma maior quantidade de pó de borracha adicionada à argamassa, também diminui a sua resistência à compressão

diametral. Notamos que no ensaio dos corpos de prova com o traço 1:3 e 1:5, em que a quantidade de pó de borracha é maior, a resistência à compressão diametral diminuiu quando comparados ao controle. No traço 1:3, aos 28 dias de idade, o f_{ck_t} da argamassa sem adição do pó de borracha foi de 4,10 MPa e enquanto que com adição de borracha, obtivemos o valor de 3,60 MPa, obteve-se assim, uma perda de 12,19 % de resistência à compressão diametral. Estes valores são bem menores que as perdas, proporcionalmente, das resistências à compressão axial, apresentadas no item anterior. Para o traço 1:5, as perdas de resistências foram de 8,91 %, quando comparamos os resultados dos ensaios e, para o traço 1:7, as perdas foram de 3 %.

Segre (1999) obteve bons resultados em ensaios à flexão, com pasta de cimento, utilizando pó de borracha de pneus tratados com hidróxido de sódio, quando comparados com outras dosagens. A autora demonstrou em seu trabalho, que o tratamento superficial do pó de borracha de pneus, aumenta a aderência entre a borracha e a matriz, diminuindo sua porosidade.

Estes resultados nos levam à conclusão de que quanto maior a quantidade de pó de borracha adicionada à argamassa, a resistência à compressão diametral diminui, mas, esta diminuição é bem menor que quando comparados à resistência à compressão axial, notando-se que com a adição de borracha tratada com hidróxido de sódio comercial, esta diminuição é menor, proporcionalmente aos concretos e argamassas convencionais, devido ao tratamento superficial do pó de borracha de pneus, que aumenta a aderência entre a borracha e a matriz, diminuindo sua porosidade. Este material poderia ser usado como regularização de contra pisos ou mesmo como pisos, onde a resistência à tração é necessária.

5.4.4 Análise do ensaio de módulo de elasticidade (NBR 8522)

Os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade, apresentados no capítulo anterior são contraditórios, pois para o traço 1:3, com a adição de pó de borracha, o módulo de elasticidade aumentou em 5,99 %, quando comparados ao controle; e, para o traço 1:7, o módulo de elasticidade aumentou em 44,76 % quando adicionado pó de borracha na argamassa

Contraditoriamente, para o traço 1:5, o módulo de elasticidade diminuiu em 12,78 %, quando adicionamos pó de borracha na mistura.

Como o módulo de elasticidade é uma medida da resistência à deformação elástica do material, esperávamos uma diminuição do módulo de elasticidade da argamassa com a adição do pó de borracha de pneus em todos os traços, mas o resultado esperado somente ocorreu com o traço 1:5.

Na literatura, Nirschl et al (2002), estudando o comportamento mecânico de concretos acrescidos de fibras de borracha vulcanizada, de duas faixas granulométricas diferentes, provenientes do processo de recauchutagem de pneus, elaboraram composições de concreto adicionado de resíduos de borracha de pneus em substituição parcial dos agregados e constataram tenacidade nos dois traços, quando traçaram a curva tensão–deformação do concreto.

O gráfico de tensão deformação nos apresenta, normalmente, uma linha com uma suave curvatura, mas os resultados dos ensaios realizados na literatura, como Nirschl, citado acima; Topçu (1995) e Chung Wu e colaboradores (1996), nos mostraram boa tenacidade nos concretos com fibras de borracha vulcanizada. Estes resultados parecem ser obtidos em função do formato das fibras de borracha, pois as partículas de borracha, parecem aumentar a ductilidade dos concretos, aumentando, assim a sua tenacidade, quando traçamos o gráfico tensão–deformação do concreto.

Analisando os resultados obtidos nos gráficos tensão-deformação das argamassas, neste trabalho, podemos notar que a curva obtida , com as misturas com adição ou sem adição de borracha , têm o mesmo comportamento , ou seja, uma linha, com uma suave curvatura. Portanto, a adição de pó de borracha de pneus, nestas condições, não influencia na tenacidade das argamassas, mas sim no módulo de elasticidade.

5.4.5 Análise do ensaio de desgaste por abrasão (NBR 12042)

Os ensaios para determinação do desgaste por abrasão, foram realizados no Laboratório da Empresa Falcão Bauer, através de ensaio normalizado, aos 28 dias, utilizando argamassas com pó de borracha tratadas com hidróxido de sódio comercial e argamassas de controle sem adição de borracha.

Para tanto, foi também determinada a densidade aparente dos corpos de prova das argamassas com e sem adição do pó de borracha ver tabela 4.4.5.1. Para o traço 1:3, quando adicionamos pó de borracha na mistura, a perda de densidade foi de 9,49 %; enquanto que para os traços 1:5 e 1:7, as perdas foram de 12,06 % e 15,31%.

Analisando o gráfico 4.4.5.1 constatamos que no ensaio dos corpos de prova com o traço 1:3, a resistência à abrasão aumenta, quando comparados ao controle. No traço 1:3, a argamassa sem adição do pó de borracha, teve desgaste 8,25 mm, em média, aos 1000 m de percurso e, enquanto que com adição de borracha, obtivemos o valor de 4,75 mm de desgaste, aos 1000 m, obtendo-se assim, um aumento de 45,78 % da resistência de desgaste à abrasão. Para os traços 1:5 e 1:7, aos 1000m de percurso, o aumento da resistência ao desgaste foi de 26,0% e 6,66%, respectivamente.

Para o percurso de 500m, os resultados do ensaio de desgaste foram proporcionais aos resultados do percurso de 1000m, exceto para o traço 1:7, tanto para a mistura com adição, quanto para a mistura sem adição de borracha, pois constatamos desagregação e grande quantidade de vazios dos corpos de prova aos 250 m de percurso. Este fato ocorreu porque a quantidade de cimento na mistura é menor, quando comparados às outras dosagens.

Segre (1999), em sua tese de doutorado, constatou que a pasta de cimento, geralmente não apresenta boa resistência à abrasão, pois o desempenho em relação à abrasão depende da dureza do agregado utilizado. A autora afirma, ainda que como a borracha é um agregado mole, um bom desempenho já não era esperado. Então, o ensaio de desgaste por abrasão, realizado por Segre,

teve apenas o objetivo de avaliar o efeito do tratamento superficial nas propriedades de adesão da borracha com o cimento. Os resultados apresentados por Segre, mostraram que a preparação onde se utilizou borracha tratada com hidróxido de sódio perdeu massa equivalente ao controle e menos massa que a preparação com borracha sem tratamento, comprovando assim que o tratamento superficial aplicado melhorou a aderência das partículas de borracha à matriz de cimento. Neste, trabalho, devido ao uso de agregados finos, as argamassas com adição de pó de borracha tratada apresentaram melhores resultados do que o controle.

Concluimos, portanto, que a adição do pó de borracha de pneus tratados com hidróxido de sódio comercial, na argamassa, aumenta a resistência ao desgaste por abrasão. Para um traço rico em cimento e pó de borracha, na argamassa, o aumento da resistência ao desgaste por abrasão foi considerável.

A adição do pó de borracha de pneus na argamassa, como já era esperado, diminui a densidade aparente da argamassa. No traço 1:3, em que a adição do pó de borracha foi maior, a diminuição da densidade aparente do corpo de prova, quando comparados ao controle foi de 9,49 %, enquanto que para os outros traços, a perda de densidade foi maior, proporcionalmente, devido ao aumento de porosidade na argamassa, pelo fato de que as dosagens são mais pobres, se comparadas ao traço 1:3. Visualmente, pudemos observar um maior fechamento do pacote granulométrico, no traço 1;3, que contém maior adição de cimento e pó de borracha, vindo a aumentar a resistência à abrasão.

Este material poderia ser usado na aplicação de fachadas, regularização e acabamentos de pisos, ou até mesmo para revestimento de calhas onde a resistência à abrasão seja um fator determinante.

6 CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho estão descritas à seguir:

- O uso do pó de borracha de pneus usados, que foram utilizados neste trabalho, devido à sua finura, proporcionaram uma argamassa mais coesa, fazendo com que o pacote granulométrico se apresente mais fechado.
- Com o tratamento superficial com hidróxido de sódio comercial, utilizado no pó de borracha, houve um aumento da adesão, entre a argamassa e o pó de borracha, notados nos ensaios de absorção de água por capilaridade e no ensaio de desgaste por abrasão.
- A diminuição do tamanho das partículas de borracha, nos leva ao melhor desempenho do comportamento dos materiais, conforme citado na literatura e comprovado por este estudo.
- O uso do pó de borracha de pneus usados, tratados com hidróxido de sódio comercial, melhora a trabalhabilidade de argamassas, talvez até substituindo, em alguns casos, o uso de aditivos.
- O aumento da quantidade de pó de borracha, tratada com hidróxido de sódio comercial nas argamassas, não compromete a absorção de água por capilaridade, mas devemos definir a quantidade ideal de borracha como no traço 1:7, em que o uso nos proporcionou uma melhora significativa na absorção de água quando comparados com os testemunhos.

- Com o uso de certa quantidade de pó de borracha na argamassa, a resistência à compressão não diminui, devendo-se de certa forma, adicionar a quantidade suficiente e necessária para se obter resultados que com sua adição, melhorem o desempenho da argamassa para determinados fins, verificando-se até que ponto o comprometimento da estrutura seja aceitável.
- Para os ensaios realizados com o traço 1:3, a resistência à compressão diametral diminui, mas, esta diminuição é bem menor, que quando comparados à resistência à compressão axial, notando-se que com o uso de borracha tratada com hidróxido de sódio comercial, esta diminuição é menor, proporcionalmente aos concretos e argamassas convencionais, devido ao tratamento superficial do pó de borracha de pneus, que aumenta a aderência entre a borracha e a matriz, diminuindo sua porosidade.
- Os gráficos de tensão-deformação das argamassas nos apresentam uma curva, tanto nas misturas com adição ou sem adição de borracha, tendo praticamente o mesmo comportamento. Portanto, a adição de pó de borracha de pneus, não influencia na tenacidade das argamassas, mas sim, somente no módulo de elasticidade.
- O uso do pó de borracha de pneus tratados com hidróxido de sódio comercial na argamassa, aumenta a resistência ao desgaste por abrasão. Para um traço rico em cimento e pó de borracha, na argamassa, o aumento da resistência ao desgaste por abrasão foi considerável.
- O uso do pó de borracha de pneus na argamassa, como já era esperado, diminui a densidade aparente da argamassa, proporcionando economia para certas aplicações.
- O pó de borracha de pneus usados, tratados com hidróxido de sódio comercial, poderia ser utilizado na construção civil como material inerte, com as vantagens inerentes ao fechamento do pacote granulométrico.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBUQUERQUE, A. C; ANDRADE M. A. S.; NETO, MOMS; CORREA M.I.F.; CARDOSO C.G.; MACEDO D.C.B.; CALMON J L. **“Concreto com borracha de pneu: uma revisão bibliográfica”**; 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte, 2002.
2. AKASAKI J.L., FIORITI C.F., NIRSCHL G.C. **“Análise experimental da resistência à compressão do concreto com adição de fibras de borracha vulcanizada”**, 43º IBRACON, 2001.
3. LEE B.I., BURNETT L., MILLER T., POSTAGE B. E CUNEO J. **“Tyre Rubber/Cement Matrix Composites”**. Journal of Materials Science Letters, 1993, 12(13), 967-968.
4. RAGHAVAN D.. **“Study of Rubber- Filled Cementitious Composites”**. Journal of Applied Polymer Science, 2000, Vol. 77, 934-942.
5. RAGHAVAN D., HUYNH H. E FERRARIS C. F.. **“ Workability, Mechanical Properties and Chemical Stability of a recycled Tyre Rubber-Filled Cementitious Composite”**. Journal of Materials Science, 1998, 33, 1745-1752.

6. FALCÃO BAUER R.J.; TOKUDOME S.; GADRETA. D. “**Estudo de concreto com pneu moído**”, 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Foz do Iguaçu, 2001.
7. FIONTI, C.F.; AKASAKI J.L.; NIRSCHL G.C.; “**Estudo da viabilidade de produção dos blocos estruturais de concreto com adição de resíduos de borracha**”; 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte, 2002.
8. FIORITO J.S.I. A. “**Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**”, Editora Pini, 1994, 1ª Edição.
9. TOUTANJI H. A.. “ **The Use of Rubber Tire Particles in Concrete to Replace Mineral Aggregates**”; Cement & Concrete Composites, 1996, 18, 135-139.
10. WU H.C., LIM Y.M. E LI V.C.. “ **Aplication of Recycled Tyre Cord in Concrete for Shirinkage Crack Control**”. Journal Of Materials Science Lettters, 1996. 15, 1828-1831.
11. ROSTAMI H., LEPORE J., SILVERSTRIM T. E ZANDI I.. “**Use of Recycled Rubber Tyres in Concrete**”. Concrete 2000 – Economic and Durable Construction through Excellence, Proceedings of the International Conference, University of Dundee, Scotland, UK, 7-9 September, 1993, Vol 2, 391-399.
12. “**LANGE’ S HANDBOOK OF CHEMISTRY**”; Mc Graw- Hill, NY, 1979.
13. TOPÇU I.B.. “ **The Properties of Rubberized Concretes**”; Cement and Concrete Research, 1995 25(2), 304-310.
14. LIMA I. S.,ROCHA F. S., FERREIRA J.B. “**Um estudo da argamassa de cimento com adição de fibras de borracha vulcanizada para a construção civil**”,42º IBRACON, 2000.

15. BIGNOZZI M. C., SACCANI A., SANDROLINI F.. “**New Polymer mortars containing polymeric wastes**, Part 1- Microstructure and mechanical properties”. Composites,2000, Part A, 31, 97 – 106.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. **N.B.R 7215** – Cimento Portland – Determinação da Resistência à Compressão - dezembro de 1996.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. **NBR 6474** – Cimento Portland e outros Materiais em pó – Determinação da Massa Específica – outubro de 1984
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. **NBR 11579** – Cimento Portland – Determinação da Finura por meio da Peneira nº 200 – julho de 1991.
19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. **NBR 12042** – Materiais inorgânicos – Determinação do desgaste por abrasão – dez. de 1990.
20. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. **NBR 7217** – Agregados - Determinação da Composição Granulométrica – agosto de 1997.
21. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. **NBR 9776** – Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por meio de Frasco Chapman – março de 1987.
22. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. **NBR 7271** – Agregado em Estado Solto – Determinação da Massa Unitária – abril de 1982.
23. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. **NBR 7272** – Argamassa e Concreto – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos – março de 1994.

24. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. **NBR 8522** – Concreto – Determinação do Módulo de Deformação Estatística e Diagrama Tensão - Deformação – maio de 1984.
25. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. **NBR 9779** – Argamassa e Concreto Endurecido – Determinação da Absorção de Água por Capilaridade – Método de ensaio – março de 1987.
26. . ELDIN N.N E PIEKARSKI J.A.. “**Scrap Tires: Management and economics**”. Journal of Environmental Engineering, 1993, 119(6), 1217-1232.
27. . ELDIN N.N E SENOUCI A.B.. “ **Use of Scrap Tires in Road Construction** “, Journal of Construction Engineering and Management, 1992, 118(3), 561-576.
28. ELDIN N.N. E. SENOUCI A .B.. “**Rubber – Tire Particles as concrete Aggregate**”. Journal of Materials in Civil Engineering, 1993, 5(4), 478-496.
29. . ALI N. A., AMOS A. D E ROBERTS M. “ **Use of Ground Rubber Tyres in Portland Cement Concrete**”; Concrete 2000 – Economic and Durable Construction thorough Excellence, Proceedings of the International Conference, University of Dundee, Scotland, UK, 7-9 September, 1993, Vol 2, 379-390.
30. ELDIN N.N. E. SENOUCI A . B. “ **Observations on Rubberized Concrete Behavior** “. Cement, Concrete and Aggregates, 1993, 15(1), 74-84.
31. NIRSCHL, G.C.; AKASAKI, J.L.; FIORITI C.F.; “**Influência da granulometria das fibras de borracha vulcanizada em dosagens de concreto**”; 44º Congresso Brasileiro de Concreto, Belo Horizonte, 2002.
32. SEGRE N.. “**Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento**”. Tese de Doutorado, Unicamp, 1999.

33. SEGRE N. , JOEKES I.; **“Use of tire rubber particles as addition to cement paste”**.
Cement and Concrete Research 30 , 2000, 1421-1425.

34. RIBEIRO F.C.V.; BOLORINO H; FERNANDES S.A. ; **“Análise da Influência da
adição de pneu na deformabilidade do concreto”**; 44^o Congresso Brasileiro do
Concreto, Belo Horizonte, 2002.

35. LI Z., LI F. e LI J. S. L.. **“Properties of Concrete Incorporating Rubber Tyre
Particles”**. Magazine of Concrete Research, 1998, 50(4), 297-304.