



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
ÁREA DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA**

**FÁBIO REMY DE ASSUNÇÃO RIOS**

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CALÇADOS (SBR) NA PRODUÇÃO DE  
COMPÓSITOS LEVES**

**Campina Grande – PB**

**FÁBIO REMY DE ASSUNÇÃO RIOS**

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CALÇADOS (SBR) NA PRODUÇÃO DE  
COMPÓSITOS LEVES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

**Orientador: Prof. Dr. ANTONIO FARIAS LEAL**

**Campina Grande - PB  
2008**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

R479i

2008 Rios, Fábio Remy de Assunção.

Incorporação de resíduos de calçados (SBR) na produção de compósitos leves / Fábio Remy de Assunção Rios. — Campina Grande, 2008.  
71 f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Farias Leal.

*3. misturas de materiais macromoleculares*

1. Compósitos, borracha (SBR), placas – Construções. 2. Compósitos, borracha (SBR) – Características Tecnológicas. I. Título.

CDU – 678-19(043)

UFCG - BIBLIOTECA - CAMPUS I	
427	24-02.011
1	

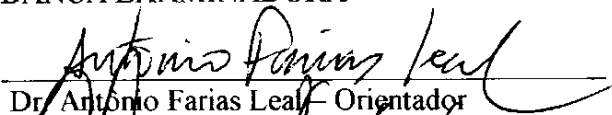



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

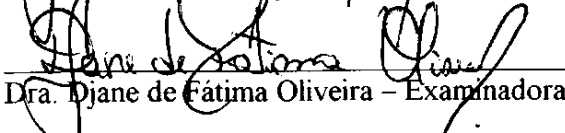
FÁBIO REMY DE ASSUNÇÃO RIOS

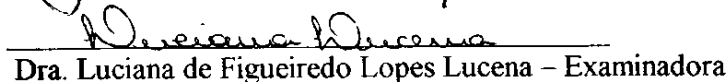
INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CALÇADOS (SBR) NA PRODUÇÃO DE  
COMPÓSITOS LEVES

BANCA EXAMINADORA

  
Dr. Antonio Farias Leal – Orientador

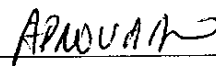
  
Dr. Gelmires de Araújo Neves – Examinador

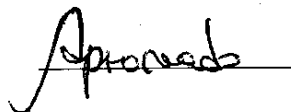
  
Dra. Djane de Fátima Oliveira – Examinadora

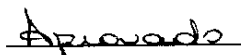
  
Dra. Luciana de Figueiredo Lopes Lucena – Examinadora

PARECER









JULHO - 2008

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, por estar sempre ao meu lado e por me ter concedido o dom da paciência e da persistência em busca deste objetivo;

Ao professor Dr. Antonio Farias Leal, pela orientação;

Aos professores Dr.<sup>a</sup> Djane de Fátima Oliveira, Dr.<sup>a</sup> Luciana de Figueiredo Lopes Lucena, Dr. Gelmires de Araujo Neves;

Ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola

À Unidade de Engenharia de Matérias/UFCG.

Aos amigos do curso de pós-graduação, pela amizade construída;

A todos os funcionários e laboratoristas da área do LACRA/UFCG, pelo zelo e amizade com que sempre me trataram;

À FIEP/IEL por me ter liberado para fazer este estudo, aqui representado pela Superintendente, Kênia Samara;

A Pesquisadora Maria José da Silva e Luz da Embrapa Algodão, pela ajuda prestada na revisão ortográfica desse trabalho.

Enfim, aos meus familiares, que mesmo à distância, sempre transmitiram sentimentos de união fraterna e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse sonho.

## RESUMO

O acréscimo nos indicadores de produção do segmento industrial é fator importante para o desenvolvimento de uma região. Em contrapartida, a geração de resíduo, é consequência desse crescimento, resultando em elevadas taxas de passivos ambientais, em muitos casos de difícil solução. A disposição final dos resíduos industriais no meio ambiente ou sua incineração não são soluções ideais. Sabe-se que os resíduos resultantes do processo produtivo calçadista como (EVA, PU, PVC, borracha não vulcanizada, borracha termoplástica, borracha natural e poliuretano termoplástico) têm boas possibilidades de serem empregados na construção civil, como agregado sintético em substituição aos agregados naturais na composição de compósitos cimentícios leves. Na Paraíba, pode-se observar que a geração de resíduos do segmento calçadista tem aumentado bastante e isso é proporcional ao crescimento econômico do setor, contribuindo, assim, para o acréscimo nos indicadores. O aproveitamento desses resíduos através da confecção de placas, de matriz cimentícia e reforço polimérico, para aplicação como divisória, testeiras, beirais, isolamento térmico e acústico, dentre outras tem-se configurado como uma alternativa em potencial para os pesquisadores no âmbito da inovação tecnológica e tem sido objeto de pesquisas recentes. Portanto, este trabalho teve como objetivo, aprofundar os conhecimentos desenvolvidos na confecção de placas, a partir de pesquisas, análises, ensaios físicos e mecânicos, referências e resultados anteriores que indiquem a sua viabilidade técnica como material construtivo não convencional. Os produtos em disponibilidade no mercado serviram de comparação para o produto alternativo obtido, placas de concreto leve de base cimentícia (Useplac, Useploc, Brasiplac, Isoplac), placas confeccionadas com isopor e gesso, entre outros. Constatou-se através das análises, ensaios físicos e mecânicos, que o material compósito de matriz cimentícia e reforço polimérico (SBR) é viável tecnicamente. Os módulos de ruptura (MOR) e de compressão desse material foram coerentes com as resistências mínimas estabelecidas e validadas no mercado de produtos similares, para uso como elemento construtivo não estrutural, incombustível, resistente a temperaturas entre 200 e 800 ° C e com alta capacidade de absorção de água. Quando submetido à baixa energia de pressão, o compósito mostrou excelente grau de empacotamento, menor porosidade e melhores ductilidade e resistividade.

Palavras-chave: Compósitos, borracha SBR, placas

## ABSTRACT

The increase in production indicators of the industrial sector is an important factor for the development of a region. In contrast, the generation of waste, is a consequence of that growth, resulting in high rates of environmental liabilities, in many cases difficult to answer. The final disposal of industrial waste into the environment or to burning are not ideal solutions. It is known that the waste from the production process footwear as EVA, PU, PVC, not vulcanized rubber, thermoplastic rubber (TR), natural rubber and thermoplastic polyurethane have good chances of being employed in construction, such as synthetic aggregate in place for households membership of composites in natural light cementitious. In Paraíba, you can see that the generation of waste from the footwear segment has grown significantly and that is proportional to the economic growth of the sector, thus contributing to the increase in the indicators. The recovery of waste produced by the footwear industry through the manufacture of plates, and reinforcement of cementitious matrix polymer, for application as divisive, fascia, eaves, thermal and acoustic insulation, among others has been set up as a potential alternative to the researchers in framework of technological innovation and has been the subject of recent research. Therefore, this study aimed to, deepen the knowledge developed in the manufacture of wafers, from research, analysis, physical and mechanical tests, referrals and previous results showing the technique's viability as constructive unconventional material. The products available in the market served as a comparison to the alternative product produced, slabs of concrete light-based cementitious (Useplac, Useploc, Brasiplac, Isoplac), plates made with Styrofoam and plaster, among others. It was found through analysis, physical and mechanical tests, that the composite material and reinforcement of cementitious matrix polymer (SBR) is technically feasible. The modules of rupture (MOR) and the compression of such material was consistent with the established minimum resistance and validated in the market for similar products, for use as a constructive non-structural, fireproof, resistant to temperatures between 200 and 800 ° C and with high capacity water absorption. When subjected to pressure from low energy, the composite showed excellent degree of sealing, lower porosity and resistivity and better ductility.

Keywords: composites, rubber SBR, cards

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	Generalidades.....	1
1.2	Materiais compósitos.....	1
1.3	Objetivos.....	1
1.3.1	Objetivo Geral.....	1
	1.3.1.1 Objetivos Específicos.....	1
1.4	Justificativa.....	1
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>1</b>
2.1	Generalidades.....	1
2.2	Segmento produtivo calçadista da Paraíba.....	1
2.3	Segmento produtivo da construção civil.....	1
2.3.1	Consumo de recursos naturais e materiais convencionais na construção civil.....	1
2.3.2	Consumo de materiais não convencionais na construção civil.....	1
2.4	Resíduo dos processos industriais e a construção civil.....	1
2.4.1	Generalidades.....	1
2.4.2	Resíduo do processo produtivo da indústria de calçados.....	1
2.5	Concreto leve.....	2
2.5.1	Concreto com agregados leves.....	2
2.5.2	Elementos construtivos de concretos leves.....	2
2.6	Polímeros na construção.....	2
2.6.1	Composto Polímero de EVA na construção civil.....	2
2.6.2	Composto Polimérico Estireno Butadieno (SB).....	3
	2.6.2.1 Estireno Butadieno (SB) na Engenharia Civil.....	3
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>3</b>
3.1	Materiais.....	3
3.1.1	O resíduo de calçados a base de SBR.....	3
3.1.2	Cimento.....	3
3.2	Métodos.....	3
3.2.1	Caracterização do resíduo de calçados a base de SBR.....	3
3.2.2	Preparação dos Compósitos de matriz cimentícia.....	3
	3.2.2.1 Mistura.....	3
	3.2.2.3 Moldagem de Corpos-de-prova.....	3
	3.2.2.3 Moldagem de Corpos-de-prova prismáticos.....	3
3.2.3	Resistência à tração na flexão.....	3
3.2.4	Determinação da Absorção D'água (AB), Porosidade Aparente (PA) e Densidade Aparente (DA).....	4
3.2.5	Análise do desgaste térmico sob diferentes temperaturas.....	4
3.2.6	Ensaio de Flamabilidade.....	4



3.2.7	Resistência ao Impacto (RI).....	4
3.2.8	Condutividade elétrica.....	4
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	4
4.1	Composição granulométrica do agregado leve a base de SBR.....	4
4.2	Absorção do agregado leve a base de SBR.....	4
4.3	Resistência das misturas à compressão simples.....	4
4.4	Ensaio de flexão em três pontos.....	4
4.5	Absorção d'água (AB) das misturas.....	4
4.6	Porosidade aparente (PA) das misturas.....	4
4.7	Densidade aparente (DA) das misturas.....	4
4.8	Depreciação do compósito sob ação térmica.....	4
4.9	Ensaio de Flamabilidade.....	4
4.10	Ensaio de resistência ao impacto (RI).....	6
4.11	Ensaio de condutividade elétrica do compósito de matriz cimentícia e reforço polimérico tipo resíduo de calçados a base de SBR.....	6
5	<b>CONCLUSÕES.....</b>	6
6	<b>SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....</b>	6
7	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	6

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b>	Principais metais usados na indústria, suas fontes e riscos à saúde.	7
<b>Tabela 2.2</b>	Atividade industrial potencialmente poluidora	18
<b>Tabela 3.1</b>	Especificação do cimento	33
<b>Tabela 3.2</b>	Norma x Especificação	34
<b>Tabela 3.3</b>	Valores admissíveis para resistência à compressão e absorção de água	38
<b>Tabela 3.4</b>	Equações utilizadas para o cálculo das propriedades físicas	40
<b>Tabela 3.5</b>	Equações utilizadas para o cálculo das perdas de massa	42
<b>Tabela 3.6</b>	Equações utilizadas para o cálculo de RI	43
<b>Tabela 3.7</b>	Equações utilizadas para o cálculo da condutividade elétrica	44
<b>Tabela 4.1</b>	Distribuição do resíduo de calçados a base de SBR na série de peneiras	45
<b>Tabela 4.2</b>	Quadro resumo conclusivo dos ensaios e análises realizados	62

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1</b>	Borracha SBR	10
<b>FIGURA 2.2</b>	Placa tipo Forroterm	22
<b>FIGURA 2.3</b>	Placa tipo isolante	26
<b>FIGURA 2.4</b>	Chapa cimentícea USEPLAC	27
<b>FIGURA 2.5</b>	Placas DECORLIT em aplicações como divisórias.	27
<b>FIGURA 2.6</b>	Aplicação de placas de EPS entre o muro impermeabilizado(a), e o solo (b)	28
<b>FIGURA 2.7</b>	Copolímeros de poliadição	30
<b>FIGURA 3.1</b>	Resíduos do processo de fabricação de calçados em forma de aparas e placas a base de SBR em baias (a) sendo acondicionados para transporte (b) e em formas de retalhos, cortes e aparas de resíduos de calçados (c).	33
<b>FIGURA 3.2</b>	Moinho de facas rotativas utilizado no beneficiamento do resíduo de SBR.	34
<b>FIGURA 3.3</b>	Corpos de prova cilíndricos, com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura.	37
<b>FIGURA 3.4</b>	Prensa e molde metálico usados para produção dos compósitos prismáticos	38
<b>FIGURA 3.5</b>	Corpos de prova para ensaio	39
<b>FIGURA 3.6</b>	Esquema do ensaio de flexão em três pontos	40
<b>FIGURA 3.7</b>	Amostras no início do ensaio de flexão	40
<b>FIGURA 3.8</b>	Detalhes do ensaio de absorção: material imerso	41
<b>FIGURA 3.9</b>	Corpos de prova para análise térmica	42
<b>FIGURA 3.10</b>	Detalhe do encaixe do corpo de prova	44
<b>FIGURA 3.11</b>	Circuito fechado com multímetro Digital Minita ET 20202	45
<b>FIGURA 4.1</b>	Distribuição do agregado sintético com relação aos limites da Zona 4	46
<b>FIGURA 4.2</b>	Comparativo da Curva de absorção do SBR (a) e curva de absorção do EVA (b)	47
<b>FIGURA 4.3</b>	Gráfico do Ensaio de compressão corpos de provas	48
<b>FIGURA 4.4</b>	Resistência em 03 ensaios com 30 dias	49
<b>FIGURA 4.5</b>	Resistência em 04 ensaios com 60 dias	49
<b>FIGURA 4.6</b>	Resistência em 04 ensaios com 90 dias	50
<b>FIGURA 4.7</b>	Resistência em 04 ensaios com 120 dias	50
<b>FIGURA 4.8</b>	Absorção d'água (%) das misturas com e sem BEP em função do tempo (min)	51
<b>FIGURA 4.9</b>	Absorção d'água (AB) até saturação de cada mistura com pressão	52
<b>FIGURA 4.10</b>	Absorção d'água (AB) até saturação de cada mistura sem pressão	52
<b>FIGURA 4.11</b>	Taxa média (05 corpos de prova) da densidade aparente (DA) dos corpos de prova prismáticos.	53
<b>FIGURA 4.12</b>	Aparência do material após Ensaio de depreciação térmica	54
<b>FIGURA 4.13</b>	Comportamento de diferentes traços sob temperaturas 400°C	55
<b>FIGURA 4.14</b>	Aparência do material depois do Ensaio de depreciação térmica.	56
<b>FIGURA 4.15</b>	Comportamento do material compósito (traço 1:4) sob as diferentes temperaturas, 200°C, 400°C, 600°C e 800°C, relativo à perda de massa	57
<b>FIGURA 4.16</b>	Ensaio de flamabilidade	58
<b>FIGURA 4.17</b>	Somatório dos tempos (s) de queima t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> para as misturas no teste de flamabilidade.	58
<b>FIGURA 4.21</b>	Aspecto das amostras após o Ensaio de Flamabilidade	60
<b>FIGURA 4.19</b>	Energia de impacto Charpy em função das misturas	60

## LISTA DE SIGLAS

ABICALÇADOS	Associação Brasileira de Calçados
ATECEL	Associação Técnica Científica Ernesto Luiz de Oliveira Jr.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNH	Banco Nacional de Habitação
BEP	Baixa energia de pressão
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNPM	DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral
EVA	Estireno Acetato de Vinila
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GRS	Government Rubber Styrenne
ITECE	Instituto de Educação Tecnológica
ITQ	Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LACRA	Laboratório de Construções Rurais
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PET	Poli Tereftalato de Etileno
PC	Policarbonato
OS	Poliestireno
PVC	Poli Cloreto de Vinila
PIB	Produto Interno Bruto
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Generalidades

A inovação tecnológica, a análise do ciclo de vida dos materiais e o desenvolvimento de novas alternativas de produtos como os compósitos, utilizando materiais provenientes dos resíduos industriais para aplicação na construção civil, são desafios constantes para os pesquisadores; de maneira geral, as razões que os motivam são: redução do impacto ambiental, redução gradativa das áreas de depósito, esgotamento de matérias-primas não renováveis, redução de custos e de consumo de energia e melhoria na qualidade de vida da população. As atuais exigências de gerenciamento, o adequado manejo de resíduos impostos pela legislação e as tarifas ambientais, aliados aos elevados custos de reciclagem e reprocessamento, têm trazido grande preocupação aos empresários e levados-os a pesquisarem esses processos.

Em contrapartida, o mapeamento dos resíduos industriais para uso como materiais não convencionais aplicados a construção, de interesse social, tende a se ampliar gradativamente; isto deve-se ao alto déficit habitacional e em decorrência do aumento dos indicadores de produção registrados em vários segmentos produtivos, como o calçadista, o químico e o metalúrgico.

Paralelamente a este crescimento, estão sendo gerados altos índices de passivos ambientais, em alguns casos de difícil solução, como metais pesados, pneus, polímeros industriais, efluentes decorrentes dos banhos químicos e, em especial, o co-polímero Estireno Butadieno Rubber, mais conhecido como borracha de base SBR, que vem sendo largamente utilizado nos processo de fabricação de calçados.

Produzido inicialmente na Alemanha e depois utilizado nos Estados Unidos após a II Guerra Mundial, o SBR é hoje a borracha artificial mais utilizada, seja como bandagens de pneus, goma de mascar ou como insumo para o setor calçadista (<http://www.plastico.com.br/plastico.htm>), porém, com altíssimos indicadores de resíduos, resultantes da fabricação de solados, sandálias, etc., na forma de aparas, tiras e placas expandidas, que podem ser reaproveitados.

Neste contexto, é importante salientar a tendência atual, relativa à utilização de materiais reprocessados, como alumínio, minerais, madeira e os vários tipos de polímeros (pneus, PET, EVA, inclusive o SBR), sobretudo sua aplicação na construção civil, que detém uma alta capacidade de absorver materiais residuários nos seus processos produtivos.

Todavia, a fabricação de um produto com uso de material reciclado ou reprocessado deve prever uma fase inicial de convencimento do mercado da importância de sua utilização e, principalmente, da necessidade de investimentos nessa tecnologia alternativa.

É importante ressaltar que a valorização do alternativo como uma opção ao convencional, deve possibilitar a geração de um produto com qualidade, estética, bom desempenho, segurança, produtividade e, o mais importante no aspecto de reciclagem, com potencial para mitigar os impactos da poluição ambiental. Para isso, o estudo de viabilidade (técnica, econômica, social e ambiental) é tarefa de suma relevância na avaliação de cada caso (BEZERRA, 2002).

A reciclagem é importante no contexto do ciclo de vida do material, pois, concebe-se através deste mecanismo, a possibilidade da aplicação do material residual, que seria depositado, incinerado ou simplesmente colocado no meio ambiente. Sendo o segmento da construção civil, prioritário na aplicabilidade de materiais residuais provenientes da indústria (Base, Agroindústria, Bens de Produção, etc), podem-se citar várias possibilidades de confecção de material reciclado ou reprocessado (painéis, telhas, blocos e divisórias) e sua utilização em vedação e como isolante. As placas, são utilizados em vários tipos de edificações públicas, privadas, de serviço, comerciais e, mais recentemente, habitação devido ao caráter polivalente, à rapidez de aplicação, à facilidade de execução e à qualidade de acabamento. Apesar de ser um método utilizado na construção de edificações, ainda existem muitas dúvidas, com relação a resistência efetiva, desempenho, durabilidade, comportamento térmico, etc.

Na execução de painéis de parede, por exemplo, é notável o aumento da produtividade da mão-de-obra, utilizando elementos com dimensões maiores, confeccionados com compósitos leves de matriz cimentícia. Além disso, pode-se ter uma maior flexibilidade para a execução de paredes divisórias mais leves, apoiadas diretamente sobre lajes. Poder-se-á ter alívio de carga devido ao peso próprio da alvenaria sobre a estrutura de concreto armado dos edifícios (BEZERRA, 2002).

Destacam-se, ainda, as propriedades técnicas dos compósitos confeccionados com agregados leves sintéticos, aproveitados dos processos produtivos industriais, que demonstram melhoria no conforto térmico das edificações, o que é bem-vindo nas regiões de temperaturas altas. Há, também a contribuição para o aprimoramento e o aumento da credibilidade dos processos de transformação de resíduos estáveis em materiais de construção.

## 1.2 Materiais compósitos

Um compósito estrutural é um sistema material constituído de duas ou mais fases na escala macroscópica, cujos desempenho mecânico e propriedades são escolhidos para que os materiais constituintes atuem independentemente (BITTENCOURT, 2000). Uma destas fases, chamado, reforço, normalmente, é descontínua e rígida, sendo mais forte; a fase continua é mais fraca, é chamada matriz.

Algumas vezes, por causa da interação química ou de outros efeitos de processo, uma fase adicional, chamada interfase, existe entre o reforço e a matriz. As propriedades de um material compósito dependem das propriedades dos constituintes, da geometria e da distribuição das fases.

A distribuição do reforço determina a homogeneidade ou uniformidade do sistema material. Quanto menos uniforme é a distribuição do reforço mais heterogêneo é o material e mais alta é a probabilidade de falha nas áreas mais fracas.

A matriz, por outro lado, é o principal suporte constituinte que governa as propriedades mecânicas do material. A fase matriz propicia proteção e suporte para as fibras sensíveis e transferem de uma fibra para a outra as tensões locais. A interfase, apesar de pequena em tamanho, pode apresentar importante função no controle dos mecanismos de falhas, tenacidade à fratura e de todos os outros comportamentos do material sob tensão-deformação (BITTENCOURT, 2000).

Com relação à composição dos materiais compósitos a base de cimento, é importante ressaltar a importância dos itens: interface entre o reforço e a matriz, eficiência do reforço, mecânica dos compósitos a base de cimento, técnica de produção, propriedades no estado plástico, fissuração (devido à retração plástica), propriedades no estado endurecido, desempenho sob condições de serviços, condutividade térmica, condutividade elétrica e combustibilidade; pois, deles dependem a credibilidade do novo produto. As propriedades e características intrínsecas de cada componente determinam as propriedades gerais do compósito. Entretanto, a interação entre os componentes resultará em um novo grupo de propriedades, derivadas da combinação das propriedades individuais de cada componente.

A distribuição e a quantidade relativa de cada componente são fatores importantes que contribuem para o desempenho do compósito. Estas inúmeras variáveis dão aos materiais compósitos muito da sua versatilidade (HOLLAWAY, LEEMING, 1999).

A determinação e/ou o conhecimento das propriedades mecânicas é muito importante para a escolha do material visando a uma determinada aplicação, bem como, para o projeto e fabricação do componente. As propriedades mecânicas definem o comportamento do material quando sujeito a esforços mecânicos, pois, estas estão relacionadas à capacidade do material de resistir ou transmitir estes esforços aplicados sem romperem-se ou deformarem-se. Como exemplos de esforços mecânicos ou solicitações simples a que o corpo pode ser submetido citam-se: compressão, tração, flexão, torção e cisalhamento (BAUER, 1995).

Cada uma dessas propriedades está associada à habilidade do material em resistir às forças mecânicas e/ou de transmiti-las. Outras propriedades mecânicas importantes são: resistência ao impacto, fratura e fadiga.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Aproveitar os resíduos gerados nas atividades e processos da indústria de calçados a base de composto SBR na confecção de compósitos cimentícios leves destinados a componentes para construção civil.

#### **1.3.1.1 Objetivos específicos**

- Caracterização do agregado leve de resíduos de calçados (SBR);
- definir melhor fator água/cimento (fa/c) e traços entre o cimento e o novo agregado leve;
- determinar as propriedades físico-mecânicas do compósito de matriz cimentícia e agregado leve (SBR);
- estudar a viabilidade técnica da utilização do novo compósito a base de resíduos de calçados (SBR) na produção de elementos de vedação sem função estrutural na construção civil.



## 1.4 Justificativa

A necessidade crescente de estudos e análise dos passivos ambientais, para reprocessamento, reuso e adequação, sobretudo dos provenientes da indústria, é de vital importância para o futuro da humanidade, principalmente quando se projeta uma crise ambiental mundial, devido ao crescimento populacional e, conseqüentemente, do consumo e da geração de resíduos, sobretudo dos industriais. Portanto, este trabalho visa a apresentar diversos impactos previstos nos âmbitos científico, tecnológico, ambiental e social.

Com relação ao impacto científico, no caso específico dos polímeros resultantes dos processos produtivos industriais, esta pesquisa é importante, com o intuito de consolidar-se o seu aproveitamento, no desenvolvimento de compósitos de base cimentícia, tipo placas, para uso na construção civil, pois apresenta inúmeras vantagens tais como: isolamento acústica e térmica, menor custo, baixa densidade, bem como a diminuição de carga nas fundações, vigas e pilares. No âmbito tecnológico, a reciclagem de materiais poliméricos, traz grande economia de recursos naturais, fomenta e estimula a inovação tecnológica, possibilitando, ainda, o registro de patente e o desenvolvimento de novos produtos para um mercado crescente de consumidores conscientizados da importância do consumo de materiais reciclados.

No âmbito ambiental, este trabalho possibilita o reuso do resíduo industrial do composto SBR, tipo de borracha industrial, gerado na fabricação de calçados, incorporando-o ao concreto, como opção ao depósito direto no meio ambiente ou a incineração, pois, a queima da borracha pode liberar subprodutos tóxicos e cancerígenos monóxido e dióxido de carbono (CO e CO<sub>2</sub>) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), que são gases produzidos nas combustões (CANÇADO, 2006).

O uso de agregados sintéticos (residário dos processos industriais) no concreto leve permite a redução do uso de agregados convencionais e, conseqüentemente da energia gasta nas usinas de britagem, diminuindo assim o impacto ambiental gerado na extração e beneficiamento desse material natural extraído em grandes quantidades do meio ambiente, para suprir as demandas do setor construtivo, para este tipo de concreto.

Com relação ao impacto social, placas de matriz cimentícia e reforço com resíduos provenientes da indústria, como a borracha SBR, constituem solução para detalhes construtivos mais baratos para habitações de interesse social, instalações rurais e obras de infra-estrutura (barragens subterrâneas), em comparação a diversos sistemas disponíveis no país.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Generalidades

Atualmente, existe uma grande preocupação com as questões ambientais, em decorrência dos altos indicadores de resíduos gerados pelos processos industriais, na composição sólida, líquida (efluente) ou gasosa.

O segmento industrial brasileiro, em decorrência do crescimento dos seus indicadores de produção, tem gerado, nos seus processos, altas taxas de resíduos das mais variadas composições, porém a sociedade desenvolvida precisa da indústria para produzir energia e bens que mantenham seu estilo de vida. A ABRELPE (2007) cita que o Brasil, em 2007, produziu cerca de 86 milhões de t/ano de resíduos, dos quais 95,7 % são considerados resíduos não perigosos.

As atividades industriais abrangem processamento de alimentos, mineração, produção petroquímica e de plástico, metais e produtos químicos, papel e celulose, assim como a manufatura de bens de consumo. Por sua vez, a indústria necessita de matéria-prima, como o ferro, a água e a madeira, para a produção desses bens.

Esses processos de produção industrial produzem lixo, que pode ser inofensivo ou tóxico e que varia de acordo com a indústria. Assim, indústrias metalúrgicas, alimentícias e químicas têm um lixo bem diferente, requerendo um tratamento especial.

O *site* <http://www.conhecimentosgerais.com.br> cita alguns exemplos de reaproveitamento dos resíduos; as indústrias metalúrgicas e de plástico vendem seu refugo para ser reciclado por outras empresas, enquanto, as indústrias químicas precisam tratar seus rejeitos, o que muitas vezes requer altos investimentos.

Os metais pesados são muito usados na indústria e estão em vários produtos. Na Tabela 1, apresentam-se os principais metais usados, suas fontes e riscos à saúde.

**Tabela 1** - Principais metais usados na indústria, suas fontes e riscos à saúde

<b>METAIS</b>	<b>DE ONDE VÊM</b>	<b>EFEITOS</b>
Alumínio	Produção de artefatos de alumínio; serralheria; soldagem de medicamentos (antiácidos) e tratamento convencional de água.	Anemia por deficiência de ferro; intoxicação crônica.
Arsênio	Metalurgia; manufatura de vidros e fundição.	Câncer (seios paranasais)
Cádmio	Soldas; tabaco; baterias e pilhas.	Câncer de pulmão e próstata; lesão nos rins.
Chumbo	Fabricação e reciclagem de baterias de autos; indústria de tintas; pintura em cerâmica; soldagem.	Saturnismo (cólicas abdominais, tremores, fraqueza muscular, lesão renal e cerebral)
Cobalto	Preparo de ferramentas de corte e furadoras.	Fibrose pulmonar (endurecimento do pulmão) que pode levar à morte
Mercúrio	Moldes industriais; certas indústrias de cloro-soda; garimpo de ouro; lâmpadas fluorescentes.	Intoxicação do sistema nervoso central
Níquel	Baterias; aramados; fundição e niquelagem de metais; refinarias.	Câncer de pulmão e seios paranasais
Cromo	Indústrias de corantes, esmaltes, tintas, ligas com aço e níquel; cromagem de metais.	Asma (bronquite); câncer.

Fonte: <<http://www.ambientebrasil.com.br/>>

Desde os anos 50, os resíduos químicos e tóxicos têm causado desastres cada vez mais frequentes e sérios. Atualmente, há mais de 7 milhões de produtos químicos conhecidos e, a cada ano, outros milhares são descobertos. Isso dificulta, cada vez mais, o tratamento efetivo do resíduo. As indústrias tradicionalmente responsáveis pela maior produção de resíduos perigosos são as metalúrgicas, as de equipamentos eletro-eletrônicos, as fundições, a química e a de couro e borracha. Predomina, em muitas áreas urbanas, a disposição final inadequada de resíduos industriais, como, o lançamento dos resíduos industriais perigosos em lixões, nas margens das estradas ou em terrenos baldios, o que compromete a qualidade ambiental e de vida da população.

Para tratar a questão dos resíduos industriais, o Brasil possui legislação e normas específicas. Podem-se citar a Constituição Brasileira em seu Artigo 225, que dispõe sobre a proteção ao meio ambiente; a Lei 6.938/81, que estabelece a Política Nacional de Meio

Ambiente; a Lei 6.803/80, que dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial em áreas críticas de poluição; as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 257/263 e 258, que dispõem respectivamente sobre pilhas, baterias e pneumáticos, esta questão é amplamente tratada também nos Capítulos 19, 20 e 21 da Agenda 21 (Rio-92). Em síntese, o governo federal, através do Ministério do Meio Ambiente – MMA, e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, está desenvolvendo projetos para caracterizar os resíduos industriais, através de um inventário nacional, para traçar e desenvolver uma política de atuação, visando reduzir a produção e a destinação inadequada de resíduos perigosos.

Com a aprovação da Lei de Crimes Ambientais, no início de 1998, a qual estabelece pesadas sanções para os responsáveis pela disposição inadequada de resíduos, as empresas que prestam serviços na área de resíduos sentiram certo aquecimento do mercado, mas, tal movimento foi, de certa forma, arrefecido com a emissão da Medida Provisória, que ampliou o prazo para que as empresas se adequem à nova legislação.

Comparando as legislações francesa e brasileira, GROSZEK (1998) declara que não há grandes diferenças entre elas. Tanto a legislação brasileira quanto a europeia tem os princípios da responsabilidade, que é do gerador de resíduos. Na França e no Brasil, o gerador tem a responsabilidade, por exemplo, de escolher um centro de tratamento que seja ambientalmente adequado e legal, ficando essa escolha, e a de um transportador que seja credenciado, sob a sua responsabilidade.

O operador, por sua vez, tem a responsabilidade de cumprir as obrigações legais, em geral, e aquelas decorrentes da licença que ele possui, em particular. A legislação francesa estabelece que a empresa deve, em primeiro lugar, evitar que haja a geração de resíduo; mas se houver, deve-se, primeiramente, tentar o reaproveitamento do resíduo, recuperando a matéria-prima. No caso do tratamento fora da usina, deve-se buscar primeiramente um tratamento que possibilite uma valorização térmica e, como último recurso, utilizar o aterro.

As empresas que investiram em tecnologia e instalações para tratamento e disposição de resíduos industriais esperam a disseminação da ISO 14000 (pois, as demais empresas que aderirem à norma terão que gerenciar adequadamente seus resíduos) e uma maior atuação fiscalizadora, por parte dos órgãos de controle ambiental.

Muitas vezes, de acordo com TONDOWSKI (1998), uma empresa geradora de resíduos está consciente de que deve tratar os seus resíduos, mas, qualquer tratamento, representa um custo. A própria reciclagem gera um custo. Isso significa que, se uma determinada empresa fizer o tratamento e o seu vizinho ou competidor não o fizer, ela ficará numa posição de menor competitividade no mercado.

Logo, no Brasil, só procura esse serviço, de gerenciamento ou de destinação de resíduos, aquele gerador que compete em termos globais e precisa apresentar uma política clara de meio ambiente, porque ele estará competindo a partir de um produto feito aqui com um produto feito em outro país, onde o seu competidor estará fiscalizando a forma como o produto é fabricado.

Um resíduo não é, por princípio, algo nocivo, pois muitos resíduos podem ser transformados em subprodutos ou em matérias-primas para outras linhas de produção. O problema é a sua manipulação, porque dela depende o risco que ele representa. Um resíduo relativamente inofensivo, em mãos inexperientes, pode transformar-se em um risco ambiental bem mais grave.

## **2.2 Segmento Produtivo Calçadista da Paraíba**

Atualmente, este segmento gera cerca de 15 mil empregos diretos no estado da Paraíba representando 18% do total de empregos, e exporta para 100 países; Estados Unidos, Canadá, Japão, Austrália, França, Itália, Espanha, Inglaterra, Alemanha, Argentina e China (SINDICALÇADOS, 2007).

As empresas paraibanas figuram em quarto lugar no “ranking” nacional de exportações do setor, ficando atrás do Rio Grande do Sul, São Paulo e Ceará (ABICALÇADOS, 2007). A produção de calçados na Paraíba deu um salto qualitativo muito grande nos últimos dez anos. Calçados fabricados até o ano 2000 usavam solados em PVC e hoje, com novos “designers” e uma qualidade superior, utilizam poliuretano (PU), estireno acetato de vinila (EVA) e borracha estireno-butadieno (SBR), tornando-se, assim, mais competitivos no mercado.

Na Figura 2.1, mostra-se a borracha SBR, utilizada nos processos de fabricação de calçados.



**FIGURA 2.1** Borracha SBR.

A construção civil é o setor com maior potencial para aproveitamento de vários tipos de resíduos industriais. A intenção é explorar as várias possibilidades que já existem, realizando, assim, uma interação e/ou integração entre segmentos e cadeias produtivos, no sentido de aproveitamento e reuso desses materiais.

Na Paraíba, como em vários outros Estados da Federação, a disposição desse material vem sendo realizada de forma desordenada, causando danos ambientais que necessitam ser mitigados ou eliminados, quer seja pela racionalização dos métodos de exploração e armazenamento, quer seja apresentação de soluções, como o co-processamento nas indústrias cimentícias do Estado.

Numa indústria de sandálias instalada no estado da Paraíba, por exemplo, a produção média estimada de resíduo polimérico calçadista é de 200 ton/mês. Considerando-se o alto volume gerado, em virtude de sua baixa massa unitária, e de ser biodegradável, armazenar esse resíduo torna-se um desafio (BEZERRA, 2002).

### **2.3 Segmento Produtivo da Construção Civil**

A indústria da construção civil teve início no Brasil com a colonização e caracterizou-se por ser um sistema artesanal. O desenvolvimento tecnológico começou no período entre 1850 e 1930, com a construção de usinas e ferrovias (GRANDI, 1988); mas, foi na década de

70, que houve um grande estímulo à adoção de inovações tecnológicas, com a construção de grandes conjuntos habitacionais, através do antigo BNH.

Segundo FABRICIO (2000), a primeira das transformações, na construção civil, foi devido à crise econômica dos anos 80 e ao esfacelamento do Sistema Financeiro da Habitação, causando um forte desaquecimento no mercado habitacional e de edificações. Em decorrência disto, este setor tornou-se mais seletivo e exigente, obrigando as incorporadoras a estabelecerem mecanismos próprios de financiamento e a diminuir os preços das novas obras, como forma de viabilizar a entrada de seus empreendimentos no mercado.

Por outro lado, o aumento da exigência dos clientes, em relação à qualidade, o que vem ocorrendo em todos os setores da economia, começa a afetar o setor de edificações, pressionando as empresas rumo à adoção de alternativas organizacionais e construtivas que privilegiem as aspirações de qualidade dos clientes.

Quanto a esse aspecto, destacam-se o papel do Código de Defesa do Consumidor, de 1991, e a maior conscientização da sociedade, com a conseqüente ampliação das exigências em relação à qualidade dos produtos. Com isso, pode-se verificar que, na construção de edifícios, a qualidade começa a ser valorizada como um elemento importante de competitividade.

Uma das principais tendências de modernização adotadas pelas empresas da indústria da construção brasileira tem sido a implantação de programas de gestão e de certificação da qualidade, a partir de 1991, por intermédio do PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat), que têm como focos, a padronização, o controle e a melhoria dos processos produtivos, através da formalização, do controle e da avaliação dos procedimentos de execução.

No ano de 1996, iniciou-se uma pesquisa realizada por dezesseis universidades, com o apoio da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), do ITQ (Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade na Construção) e do SENAI-NE, em canteiros de obras de edifícios, em doze Estados. Este estudo teve como intuito avaliar as perdas de material e mostrou que a relação de desperdício é de cinco edifícios construídos para um edifício desperdiçado (AGOPYAN et al, 1998).

A pesquisa, que ocorreu durante três anos em mais de cem canteiros de obras, contou com a coordenação do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Desejava-se identificar quanto e porque ocorriam

as perdas, a fim de se determinarem as oportunidades de melhoria. Para tanto, foi preciso uma análise detalhada da perda de cada material dentro de cada serviço prestado.

Em 2006, a construção civil respondia por 5,5 % do PIB nacional (CBIC, 2006) e, de acordo com Ministério do Trabalho e Emprego, o setor empregou formalmente 1,49 milhão de trabalhadores, o que correspondia a 7,2 % do mercado de trabalho com carteira assinada. Sua cadeia é diversificada e complexa, englobando desde o beneficiamento de recursos naturais, como a indústria do cimento e da cerâmica, até a prestação de serviços altamente especializados. Porém, ainda existe uma grande deficiência no tocante à gestão, ao controle dos desperdícios, à inovação nos processos construtivos e ao uso de materiais não convencionais.

A cadeia da construção civil é uma poderosa alavanca para o desenvolvimento sustentável do Brasil, com impacto no emprego, na produção, nos investimentos, na inflação e na balança comercial. Além disso, é o setor que gera mais imposto indireto, devido à complexidade de seus elos principais, secundários e auxiliares (CBIC, 2006).

Apesar dos avanços, a construção civil não conseguiu evoluir como outros setores produtivos do país porque, pelo seu caráter artesanal e nômade, possui muitas limitações; uma, muito discutida, é a dificuldade de introdução de novas tecnologias, produtos e inovação gerencial.

### **2.3.1 Consumo de recursos naturais e materiais convencionais na construção civil**

Os principais recursos naturais utilizados na construção são cimento, cal, gesso, areia, pedra britada, ferro, argila, madeira e, mais recentemente, o granito. Este último, durante o processo de extração, gera um impacto de extrema relevância social e ambiental. No Brasil, o consumo de agregados naturais para a produção de concretos e argamassas é de 220 milhões de t/ano (RODRIGUES, 2000).

A indústria da construção civil é a responsável por 14 a 50% do consumo dos recursos naturais pela sociedade em todo o planeta (SILVA FILHO et al., 2002). Os Estados Unidos consomem anualmente 7,5 toneladas de agregado por habitante para uso na construção civil; a União Européia, de 5 a 8 t/hab/ano, enquanto no Brasil, o consumo está pouco acima de 2 t/hab/ano. O consumo do Estado de São Paulo, o mais desenvolvido do país, chega a 4,5 t/hab/ano, enquanto em regiões metropolitanas nordestinas não chega a 2 t/hab/ano (VALVERDE, 2001).



Dos materiais de consumo utilizado pelo homem, mais de 70% são constituídos por agregados, o que torna relevante a preocupação com a extração de agregados naturais, que são considerados produtos básicos para a indústria da construção. Existem outras matérias-primas tradicionais da construção civil, como o cobre e o zinco, cujas reservas poderão se esgotar nos próximos 60 anos e conseqüentemente, os custos serão mais altos, invalidando a sua utilização (ZORDAN, 1997).

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizado pelo homem (SILVA FILHO et al. 2002), A principal razão do uso dos agregados, areia ou pedra, na fabricação do concreto é de natureza econômica, tendo-se em vista tratarem-se de materiais de baixo custo unitário, inferior ao do cimento. No entanto, os agregados possibilitam que algumas outras propriedades da rocha artificial a ser formada apresentem melhor desempenho, tais como: redução da retração da pasta de cimento, aumento da resistência ao desgaste, melhor trabalhabilidade e aumento da resistência ao fogo (RODRIGUES, 2000).

Quanto às estruturas convencionais, os principais produtos (fundações, piso, contrapiso, pilares, vigas, paredes, lajes e coberturas) são executados nos canteiro de obras, utilizando-se técnicas e materiais construtivos convencionais, tais como: tijolos, concreto, concreto usinado, pastilhas, aditivos, impermeabilizantes, madeira e cerâmicas, telhas, além de agregados, como pedras britadas, areia, vermiculita, argila expandida, e aglomerantes, como cimento, cal, gesso, betume, asfalto, etc.

### **2.3.2 Consumo de materiais não convencionais na construção civil**

Compósitos a base de cimento têm sido estudados, há mais de 20 anos, por pesquisadores do Departamento de Engenharia da Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e, mais recentemente, da Área de Construções Rurais e Ambiente da Faculdade de Zootecnia e Engenharia da USP. Propriedades físicas, mecânicas e macroestruturais de fibrocimento com reforços de fibras vegetais, tanto no curto como no longo prazo, são indicativos de sua adequação para uso em construções de interesse social (SAVASTRANO, 2003).

Estão sendo realizadas pesquisas para aplicação de materiais não convencionais nos processos construtivos, nas quais se discutem: troca de agregados naturais por agregados sintéticos, caracterização e disponibilização das fibras de madeira e polímero, estudos da fibra

natural e sintética, bem como desempenho e avaliação de “design” de produtos não convencionais (ROCHA, 2003).

Atualmente, há estudos que já direcionaram a utilização de alguns materiais não convencionais como pneus recicláveis, resíduo do caulim, isopor (EPS – poliestireno expandido), poliuretano (PU), poli cloreto de vinila (PVC), contrafortes termoplásticos provenientes da indústria couro-calçadista e cinzas de fundo do carvão, para a fabricação de componentes da construção civil.

## **2.4 Resíduos dos Processos Industriais e a Construção Civil.**

### **2.4.1 Generalidades**

O aproveitamento de resíduos industriais, através de seu uso em materiais destinados à construção civil, tem sido uma alternativa, com grande potencial, para a solucionar a produção dos resíduos industriais, pela viabilidade que apresenta de incorporar esses resíduos aos materiais de construção, possibilitando, ainda, redução dos custos dos produtos da construção (ROCHA, 2003).

Os fatores que exercem pressão, para isto, são à necessidade de melhoria da ambiência, a diminuição de custos, o reuso e a praticidade das técnicas construtivas que tendem cada vez mais para um sistema que inclui o encaixe, seja estrutural ou de vedação, como alternativa para os procedimentos construtivos, além da grande quantidade de matéria-prima e a diversidade de materiais empregados na produção, ampliando as opções de uso de resíduos com diferentes funções na edificação (CINCOTTO, 1988).

Várias pesquisas estudam a reciclagem dos mais diversos resíduos originados dos setores industriais; devido à complexidade com que estas pesquisas se desenvolvem, há necessidade de integrarem-se conhecimentos característicos de diferentes especificações, e de um envolvimento de profissionais de várias áreas, como engenharia, química, biologia, saneamento, “marketing”, economistas, etc.

Esses profissionais estão cada vez mais envolvidos e fazem relevantes descobertas, quanto ao potencial que certos resíduos industriais possuem como material de construção civil. São trabalhos que enriquecem e contribuem de forma significativa os “workshops”, congressos e seminários sobre reciclagem.

Como exemplo de aplicação, GRANDI (1998), cita ainda o aproveitamento do pó de serra, tipo de resíduo industrial, como material alternativo para a construção civil, especialmente na produção de placas pré-moldadas, em mistura com pasta de cimento, para utilização em forros e paredes.

Ele relata que, embora os resultados físico-mecânico, aos quais os corpos de prova e as placas são submetidos possam indicar um bom desempenho do material compósito, novas pesquisas devem ser realizadas, a fim de que muitas variáveis ainda não estudadas possam ser esclarecidas e outros aspectos técnico-econômicos possam ser avaliados.

Segundo BERTINI (2002), a utilização de placas com estas características nas obras de edificações, ocorre, sobretudo, como painéis de fechamento, portantes ou não, existindo um potencial a ser explorado ainda em obras de infra-estruturas, tais como: muros de arrimos, canais, galerias, cisternas, barragens subterrâneas, etc.

No beneficiamento do caulim, ocorre a produção de resíduos líquidos (que são lançados nos rios) e sólidos (geralmente aterrados), os quais, quando secos, devido à sua baixa granulometria, espalham-se pela ação dos ventos nas ruas e avenidas, poluindo o ar e comprometendo o aspecto visual do local onde a empresa atua. Sob o ponto de vista ambiental, devem ser levadas também em consideração as águas residuais resultantes de todo o processo de beneficiamento, pois, no alvejamento são utilizados produtos que podem conter alto grau de toxicidade.

RESENDE (2007), em sua pesquisa, estudou a utilização do resíduo do caulim para a confecção de blocos, utilizando vários traços (em volume) com incorporação de 40, 70 e 100% de resíduo caulínico, na confecção dos blocos sem função estrutural. O traço 1:6 foi escolhido, pelo fato de ser o mais utilizado pelas empresas que fabricam bloco para uso na construção civil.

Ainda, segundo REZENDE (2007), a produção artesanal de blocos de vedação, utilizando resíduo de caulim, além de ser uma alternativa viável para a construção de habitações de interesse social devido à redução de custo, utiliza tecnologia simples, de fácil execução, podendo ser aplicada em regime de mutirão. Ela acrescenta que o resíduo estudado apresentou grande percentual de quartzo em sua composição, indicando grande possibilidade de uso na composição de argamassas para blocos de vedação.

Outra fonte de resíduos que também pode ser utilizada no segmento da construção civil, é o entulho gerado nas próprias construções, chamado resíduos da construção e da demolição ou RCD.

Os resíduos de construção e demolição são partes dos resíduos sólidos urbanos (RSU) que incluem, também, os resíduos domiciliares. Porém, para os resíduos do RCD há agravantes: o profundo desconhecimento dos volumes gerados, dos impactos que eles causam, dos custos sociais envolvidos e, inclusive, das possibilidades de seu reaproveitamento faz com que os gestores dos resíduos se apercebam da gravidade da situação unicamente nos momentos em que são responsabilizados pela sua geração, o que a demonstra a ineficácia de suas ações corretivas (PINTO, 1999).

O RCD é hoje um grave problema nas principais cidades brasileiras. De acordo com PINTO (1999), até o final da década de 1990, a produção média de entulho no Brasil era estimada como sendo da ordem de 0,50 toneladas por habitante por ano, chegando a corresponder a 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos e pode, atualmente, apresentar valores superiores a essa estimativa.

Uma mentalidade voltada para o desenvolvimento sustentável na construção civil não permite a concepção de que os recursos naturais e os locais de deposição de resíduos sejam abundantes. O crescente aumento da geração de resíduos leva a um aumento da extinção de recursos naturais (ÂNGULO, 2005).

Dessa forma, o desperdício de materiais nas construções não se baseia somente na geração de resíduos sólidos, mas, também, na não reutilização de seus resíduos no processo de construção, desperdiçando, assim, as potencialidades desses materiais.

Logo, uma construção sustentável baseia-se na prevenção e na redução dos resíduos, pelo desenvolvimento de tecnologias limpas, no uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis, no uso de resíduos como materiais secundários e na coleta e deposição inerte. Assim, devem ser tomadas medidas para se transformarem resíduos em recursos reutilizáveis (VÁZQUEZ, 2001).

De acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA (2002), os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção. Assim, devem se responsabilizar pelas suas reciclagem e reutilização, pois, além da conscientização dos aspectos relativos à questão ambiental, os geradores de resíduos estarão sujeitos a sanções judiciais no caso do não cumprimento da lei.

No entanto, sempre existirá uma parcela de resíduos impossíveis de serem reutilizados e, em se tratando de um resíduo pós-consumo, a sua reutilização torna-se mais complicada, devendo-se criar destinos adequados para eles.

Dessa forma, a reciclagem e o reaproveitamento dos materiais desperdiçados nos canteiros de obras podem apresentar diminuição do custo final das construções, da quantidade de resíduos destinados para as áreas urbanas (ZORDAN, 2003). O que é um aspecto desejável, pois, faz com que os depósitos de resíduos se tornem cada vez mais escassos.

Entretanto, embora as técnicas de reciclagem desses resíduos tenham evoluído muito atualmente, não se pode afirmar que a reciclagem tenha se tornado uma idéia amplamente difundida, no setor construtivo, sendo ainda, um dos principais desafios que deverá enfrentar nos próximos anos.

O sucesso da implementação de uma gestão ambiental eficiente e eficaz, em empresas construtoras, dependerá sempre da conciliação entre benefícios ambientais, legislação ambiental e benefícios para empresa, como unidade de negócio.

Assim, devem ser adotados ao longo de toda a cadeia produtiva os aspectos gerenciais, englobando desde planejamento prévio, controle da produção, logística, gerenciamento do canteiro de obra e suprimentos, até capacitação de mão de obra.

Podem-se, neste contexto, aplicar os conceitos da análise do ciclo de vida dos materiais (ACV) destinados aos processos construtivos, método utilizado para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços.

A análise do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade é uma avaliação sistemática que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto (SETAC, 1993) e que permite racionalização e melhor aproveitamento dos resíduos construtivos gerados nos processos da construção civil. Quando aplicado em outros setores industriais, serve como parâmetros para avaliar, analisar e quantificar o ciclo de vida de uma matéria-prima utilizada num processo.

Na Tabela 2.2, listam-se algumas atividades industriais potencialmente poluidoras.

**TABELA 2.2** Atividades industriais potencialmente poluidoras

<b>CÓD.</b>	<b>RESÍDUOS</b>	<b>CATEGORIA INDUSTRIAL</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
01	Refugo cerâmico; raspa de esmaltação.	Produtos Minerais Não Metálicos	Beneficiamento de minerais não metálicos e elaboração de produtos minerais não metálicos; produção de material cerâmico, cimento, gesso, vidros.
02	Limalhas, refugo metálicos	Mecânica	Fabricação de máquina, aparelhos, peça, utensílios e acessórios com e sem tratamento térmico ou de superfície.
03	Polpa celulósica; aparas, fibras	Papel e Celulose.	Fabricação de celulose e pasta mecânica, fabricação de papel e papelão; fabricação de artefatos de papel, papelão, cartolina e fibras prensadas.
04	Raspas; pó têxtil, fibras, aparas	Borracha	Beneficiamento de borracha natural, fabricação de câmara de ar, fabricação e acondicionamento de pneumáticos, fabricação de laminados e fios de borracha; fabricação de espuma de borracha e de artefatos de espuma de borracha, inclusive látex.
05	Lodo têxtil; aparas de couro	Têxtil, de Vestuário, Calçados e Artefatos Tecidos	Beneficiamento de fibras têxteis, vegetais, de origem e sintéticos: fabricação e acabamento de fios e tecidos; tingimentos; fabricação de calçados e componentes para calçados.
06	Fragmentos de rochas; estéril; lodo de extração AL filler	Extração e tratamento de minerais	Lavra a céu aberto e lavra subterrânea, com ou sem beneficiamento; lavra garimpeira

Fonte: Programa Habitare FINEP

#### **2.4.2. Resíduos do processo produtivo da indústria de calçados**

Durante a fabricação do calçado, geram-se resíduos de retalhos (sobras) inevitáveis das placas expandidas, oriundos do processo de obtenção dos formatos dos calçados (corte) e de possíveis refugos de solado, entressola ou palmilha do calçados, e os resíduos em forma de pó, oriundos do lixamento do calçado na fase de acabamento.

Os primeiros são os de maior volume e o mecanismo de reaproveitamento exige alguns cuidados especiais, tais como: não usar recuperado de diferentes níveis de reticulação, pois, irão gerar oscilação de qualidade nas placas expandidas; evitar retalhos que tenham excesso de silicone e eliminar todo o gás existente no material a ser recuperado; este processo de reciclagem é lento e existe limitação técnica, quanto à quantidade de resíduos que podem ser incorporados ao processo, sem comprometer a qualidade do produto. Portanto, o volume de resíduo reaproveitado na própria indústria é bem menor (não mais que 40%) do que o volume por ela gerado (GARLET, 1998). Assim, esse grande volume de resíduos gerados constituem-se num sério problema, devido à geração de passivos ambientais, os quais têm demandado alternativas para um tratamento mais adequado e nobre, que não seja simplesmente depositá-los em aterros ou encaminhá-los para a queima nos fornos das cimenteiras, pois, podem provocar a emissão de gases danosos ao meio ambiente.

A deposição desses resíduos sintéticos em aterros sanitários representa sérias implicações, causadas pela baixa velocidade de degradação (não é biodegradável) e pela possibilidade de provocar severas contaminações ao meio ambiente. Um dos agravantes do depósito desses resíduos em aterros é que eles são cumulativos e, se não houver aproveitamento, não se podem precisar os efeitos futuros, pois, para cada lote beneficiado, o dobro do volume deste é gerado em resíduo (SUDEMA, 2004).

GARLET (1998) afirma que muitas indústrias os depositam em áreas a céu aberto, o que causa vários problemas ambientais, como poluição visual, proliferação de insetos e pequenos animais, além de existir uma ameaça constante de combustão do material. Segundo este mesmo autor, algumas indústrias vêm jogando esses resíduos em depósitos clandestinos, escondidos em locais de difícil acesso, sem tomar nenhum tipo de cuidado, para fugirem das fiscalizações dos órgãos competentes. Outras, estocam seus resíduos em galpões; no momento em que o volume de resíduo ultrapassa a capacidade de armazenamento, e passa a ser colocado nos pátios, que também têm área limitada.

Várias empresas da indústria de calçados estão negociando seus resíduos com as indústrias de cimento, na tentativa de livrarem-se de seus passivos ambientais, por intermédio do co-processamento. As cimenteiras aproveitam o potencial combustível deste resíduo para alimentar os fornos rotativos na fabricação do clínquer.

Porém, a colocação desse tipo de resíduo e de outros tipos de resíduos combustíveis ricos em enxofre no forno rotativo nas indústrias cimenteiras, que vem ocorrendo desde 1980, tem aumentado de forma despercebida o teor de sulfatos na produção do clínquer dos

cimentos Portland, bem como no acréscimo da produção de gases nocivos ao meio ambiente. Porque, na sua incineração, a queima da borracha gera enormes quantidades de material particulado e de gases tóxicos (óxidos nítricos (NOx), óxidos nitrosos (N<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metais pesados, dioxinas, furanos, compostos aromáticos, partículas, gases ácidos, monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), sulfatos), necessitando de um sistema de tratamento desses gases, altamente eficiente e extremamente caro.

A deterioração dos concretos estruturais tem crescido nos últimos tempos e uma das causas é a formação retardada de produtos expansivos (etringita secundária) no concreto endurecido, que está diretamente relacionada a esse aumento do teor de sulfato nos aglomerantes e na microestrutura dos concretos de cimento Portland (COLLEPARDI, 1999). Esse tipo de deterioração também está associado à exposição ao ambiente úmido e ao aumento da micro fissuração das estruturas de concreto, situações muito comuns de ocorrerem nas obras.

Portanto, essa alternativa de aproveitamento do resíduo da indústria de calçado como combustível pelas indústrias que produzem cimento Portland, deve ser repensada, para se evitar que os problemas gerados por eles sejam apenas transferidos de um local para outro.

É pertinente estudar mais opções de reciclagem para os resíduos da indústria de calçados, principalmente para aqueles do tipo retalho ou refugos (devido ao maior volume gerado e por ser mais o complicado de ser reaproveitado no processo industrial). Para isso, é importante que se façam sempre avaliações responsáveis dos impactos causados em todo processo.

Concretos produzidos com agregados poliméricos apresentam consumo de cimento maior, se comparado ao concreto convencional, justificando, mesmo assim, sua aplicabilidade, quando se pretende tirar proveito de suas propriedades (GARLET; GREVEN, 1997). Este tipo de concreto, embora possua maior índice de porosidade, necessitando de maior quantidade de cimento para preenchimento dos vazios, resulta num concreto mais leve e flexível.

## **2.5 Concreto Leve**

Em artigo publicado pela revista técnica “Scientific American” em abril de 1946, os cientistas S. Brunauer e L. E. Copeland escreveram: “O material mais largamente usado em construção civil é o concreto, normalmente feito com a mistura de cimento Portland com



areia, pedra e água”. Os principais ingredientes para a execução do concreto de cimento Portland, os agregados, são relativamente de baixo custo e, comumente, disponíveis na maior parte do mundo. Comparada à da maioria dos outros materiais de engenharia, a produção de concreto requer, consideravelmente, menor consumo de energia (MACAMBIRA, 2001); pois é basicamente o resultado da mistura de cimento, água, pedra e areia. Ao ser hidratado pela água, o cimento num processo exotérmico, forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados naturais (pedra e areia), formando um bloco monolítico.

A proporção entre todos os materiais que fazem parte do concreto é também conhecida por dosagem ou traço. Podem-se obter concretos com características especiais, ao acrescentarem-se à mistura, aditivos, argila expandida, isopor, vermiculita, agregados sintéticos, pigmentos, fibras ou outros tipos de adições. Cada material a ser utilizado na dosagem deve ser analisado previamente em laboratório (ABNT, 1991), a fim de se verificar a qualidade e para se obterem os dados necessários à elaboração do traço (massa específica, granulometria, etc.).

O concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água. Na sua composição, 75% do volume da mistura são ocupados pelos agregados, porque, devido ao elevado custo do cimento, sua quantidade deve ser reduzida a um mínimo compatível com a resistência e as qualidades exigidas do concreto.

Esta quantidade mínima é obtida pela graduação do agregado, convenientemente realizada, de modo que as partículas pequenas possam encher os vazios existentes entre as partículas maiores. Cada partícula de agregado deve ficar completamente envolvida pela pasta de cimento e água, e não pelos vazios e pelo ar incorporado ao concreto.

A massa específica do concreto endurecido é de 2.250 kg/m<sup>3</sup>, com exceção dos concretos leves e dos especialmente pesados. Os concretos são dosados para que em 28 dias, apresentem uma resistência mínima à compressão ( $f_c$ ) que varia de 15 MPa (150 Kgf/cm<sup>2</sup>) a 45 MPa (450 Kgf/cm<sup>2</sup>). A resistência à tração ( $f_t$ ) do concreto é baixa, mas é proporcional à resistência à compressão. O módulo de elasticidade (MOE) do concreto é aproximadamente igual a 1.000 vezes seu limite de resistência à compressão, embora a deformação dos concretos não seja proporcional à tensão (BEZERRA, 2002).

Enquanto os concretos normais têm sua densidade variando entre 2.300 e 2.500 kg/m<sup>3</sup>, os leves chegam a atingir densidades próximas a 500 kg/m<sup>3</sup> e são reconhecidos pelo seu reduzido peso específico e pela elevada capacidade de isolamento térmico e acústico.

Cabe lembrar que a diminuição da densidade afeta diretamente a resistência do concreto (BEZERRA, 2002).

Os concretos leves mais utilizados são os celulares, os produzidos com agregados leves, como isopor, vermiculita e argila expandida. Sua aplicação está voltada para procurar atender as exigências específicas de algumas obras e também para enchimento de lajes, fabricação de blocos, regularização de superfícies, envelopamento de tubulações, bem como, isolantes térmicos e acústicos, conforme Figura 2.2.



**FIGURA 2.2.** Placa tipo Forroterm®

Fonte: <<http://www.knauf-isopor.com.br>>

São inúmeras as vantagens no uso de concreto leve nas edificações, por possuir massa unitária significativamente inferior à dos concretos convencionais, como por exemplo:

- Alívio de carga nas fundações - como as fundações irão receber menos carga, podem-se obter fundações com menores dimensões; assim pode-se viabilizar a execução de uma dada edificação em solo que apresente baixa tensão admissível (CAUSE; MONTENS, 1992 APUD NEVILLE, 1997);
- alívio de carga na estrutura - isto resulta em elementos estruturais com menor seção transversal, redução na quantidade de pilares e ganho de espaço útil tanto dentro como fora dos compartimentos da edificação.

Porém é importante relatar que existem algumas limitações no uso de concretos leves:

- A absorção de água é elevada - devido a sua alta porosidade, há uma elevada absorção de água e, por isso, em geral, possui resistência menor que os concretos convencionais;
- utiliza-se maior teor de cimento, se comparado aos concretos normais - isto representa um custo maior no valor do concreto (SOBRAL, 1996; NEVILLE, 1997); porém, deve se analisar o projeto como um todo e não apenas se limitar a análise do custo dos materiais (NEVILLE, 1997).

Nas peças de concreto leve, consideram-se os índices físicos, densidade aparente (DA), absorção d'água (AB) e porosidade aparente (PA), que definem relações básicas entre a massa, a resistência e o volume das amostras de um determinado tipo de compósito. O termo "aparente", utilizado para a massa específica (densidade) e a porosidade, indica que o volume medido para as determinações é relativo ao volume de sólidos mais o volume de poros (espaços vazios). A DA é expressa em  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$  ou  $\text{t/m}^3$  a PA (% total de espaços vazios em um volume) e a AB (teor de espaços vazios intercomunicantes nesse mesmo volume) são expressas em %. Um compósito com alta porosidade não tem, necessariamente, alta AB, pois, seus poros e cavidades podem não ser comunicantes (BAËTA, 2004).

A DA e a PA fornecem indicações sobre a resistência físico-mecânica do compósito, mediante esforços compressivos e de flexão. O índice de absorção d'água, por sua vez, indica a capacidade do compósito ser saturado por líquidos. Quanto maior o volume de espaços vazios, maior será a porosidade aparente. Tanto maior a porosidade, que traduz a existência de poros e/ou cavidades intercomunicantes, tanto maior será a AB esperada e, provavelmente, menor a resistência físico-mecânica (ABIROCHAS, 2008).

Em suma, a PA mostra relação direta com a resistência físico-mecânica, a AB, com a possibilidade de infiltração de líquidos, e a DA, com os aspectos de resistência físico-mecânica, além de permitir calcular o peso individual das placas especificadas no projeto arquitetônico de uma edificação.

O American Concrete Institute (ACI, 1997c), no *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*, divide os tipos de concreto leve de acordo com sua aplicação, através da massa específica (NEVILLE, 1997), em :

- Concreto leve estrutural: possui massa unitária entre  $1.350 \text{ kg/m}^3$  e  $1.900 \text{ kg/m}^3$  e é usado para fins estruturais, desde que tenha resistência mínima à compressão de 17 MPa (em corpos cilíndros);

- concreto de resistência média: possui massa unitária entre  $800 \text{ kg/m}^3$  e  $1.350 \text{ kg/m}^3$ , é usado em situações em que não seja submetido a grandes esforços, tenha moderada característica de isolamento térmica e apresente resistência à compressão entre 7 MPa e 17 MPa (em corpos cilindros);
- concreto de baixa massa unitária: possui massa unitária entre  $300 \text{ kg/m}^3$  e  $800 \text{ kg/m}^3$ , é usado para fins não estruturais, geralmente como isolamento térmica, e possui baixa resistência, com valores menores que 7 MPa (em corpos cilindros).

### 2.5.1 Concreto com agregados leves

O agregado desempenha função econômica da máxima importância, pois, geralmente é o elemento de custo mais baixo por unidade de volume no concreto. Atua de maneira decisiva no incremento de certas propriedades, tais como, a redução da retração e o aumento da resistência ao desgaste (MACAMBIRA, 2001).

Com relação à natureza, agregados utilizados na confecção do concreto, freqüentemente são considerados inertes, pois, não sofrem transformação química; entretanto, possuem características físicas (modificação do volume por variação de umidade) e químicas (reação com os álcalis agregados do cimento), que intervêm no comportamento do concreto e na alcalinidade. Segundo BAUER (1995), as propriedades físicas dos agregados são:

- Densidade ( $\text{g/cm}^3$ );
- porosidade;
- compactidade;
- índice de vazios;
- granulometria.

Quanto à origem, os agregados leves podem ser:

- Naturais: são aqueles que se encontram na natureza sob a forma de: areia de mina, areia de rios, seixos rolados e pedregulhos;
- artificiais: são aqueles que necessitam ser trabalhados para poderem chegar às condições necessária e apropriada para seu uso: areia artificial, brita, etc.

Quanto às dimensões podem ser:

- Miúdos: é a areia natural, quartzosa ou artificial, resultante do britamento de rochas estáveis com tamanho de partículas com 5% de material retido na peneira 4,8 mm;
- graúdos: é o pedregulho natural ou a pedra britada, proveniente do britamento de rochas estáveis de diâmetro mínimo superior a 4,8 mm. Os mais utilizados são os seixo rolado e pedregulho ou brita.

Quanto ao peso específico podem ser:

- Leves: menor de  $1\text{t/m}^3$ ;
- normais: de 1 a  $2\text{ t/ m}^3$ ;
- pesados: acima de  $2\text{ t/ m}^3$ .

A massa unitária do concreto com agregados leves é função da granulometria do agregado, do teor de umidade, do traço e do grau de compactação do concreto (SPRATT, 1960 apud GARLET, 1998). Portanto, conforme seu valor têm-se as seguintes utilizações desse tipo de concreto, em função da sua massa unitária:

- entre  $300\text{ e }800\text{ kg/m}^3$ : utilizado geralmente para fins de isolamento térmico;
- entre  $800\text{ e }1350\text{ kg/m}^3$ : utilizado principalmente como elemento de vedação;
- acima de  $1350\text{ kg/m}^3$ : utilizado para fins estruturais.

### **2.5.2 Elementos construtivos de concreto leve**

No mercado brasileiro, encontram-se vários tipos de placas de concreto leve. As placas de isopor Forroterm® (<http://www.knauf-isopor.com.br>), são usadas como massa acrílica. São um material impermeável, apresentam bom acabamento e são de fácil limpeza e conservação. Proporcionam, também, economia pela diminuição de consumo de energia do condicionador de ar, quando usadas como isolante térmico do frio e do calor, permitindo instalar aparelhos

de menor potência. As Forroterm® têm boa resistência mecânica, baixo peso específico, e são seguras contra incêndios, pois, não propagam chamas, conforme Figura 2.3.



**FIGURA 2.3:** Placa tipo Isolante

Fonte: <<http://www.forroterm.com.br>>

As placas isolantes a base de vermiculita (<http://www.eucatex.com.br>), caracterizam-se por serem material isolante termo-acústico, moldado, de baixa densidade, a base de vermiculita expandida e ligante inorgânico, incombustível. Apresentam superfícies lisas e uniformes, com boa resistência mecânica e elevado poder isolante, operando sob temperaturas de até 1.150 °C. São utilizadas, devido às suas propriedades, no isolamento de estufas, fornos cerâmicos, cubas de alumínio, cimenteiras, etc.

As placas de cimento USEPLAC (<http://www.useplac.com.br>), são do tipo de concreto delgado, reforçado nas faces por telas de fibra de vidro (Figura 2.4). Essas placas cimentícias de concreto leve são utilizadas como fechamento e base para revestimentos, diminuindo os custos de fundações, estruturas e transporte, pois, pesam menos de 18 kg/m<sup>2</sup>. Também minimizam as despesas de manutenção, são resistentes às intempéries, maleáveis, dimensionalmente estáveis e têm absorção controlada de água.

Essas placas permitem fechar superfícies curvas e os mais diversos tipos de revestimentos e acabamentos. Possuem resistência ao arrancamento de parafusos pela cabeça, que resulta em maior segurança da obra, e classificam-se como incombustíveis. Permitem fazer paredes leves (de 50 kg/m<sup>2</sup>), 1/3 do que pesaria uma parede convencional. A massa específica aparente (densidade) da USEPLAC está compreendida no intervalo  $1.100 \text{ kg/m}^3 \leq \text{MEA} \leq 1.400 \text{ kg/m}^3$ .



**FIGURA 2.4** Chapa cimentícea USEPLAC  
Fonte: <http://www.useplac.com.br>

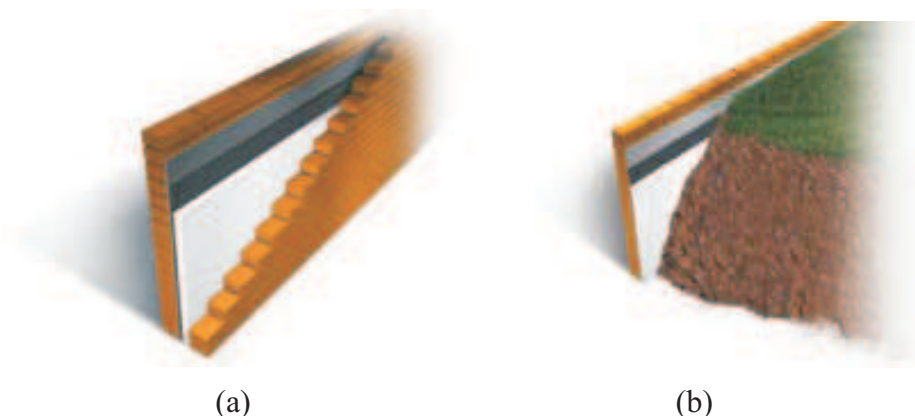
A placa cimentícia Decorlit (<http://www.decorlit.com.br>) é um produto industrializado, composto por uma mistura homogênea de cimento Portland, celulose, fio sintético e aditivo. Pode ser utilizado em mezaninos, passarelas, forros, paredes, divisórias, sanitários e lages, bem como em sistema construtivo a seco, em obras como: casas, escolas, prédios comerciais, hospitais, postos de saúde e indústrias (Figura 2.5).



**FIGURA 2.5** Placas DECORLIT em aplicações como divisórias  
Fonte: <<http://www.decorlit.com.br>>

As placas de EPS (<http://www.termotecnica.com.br>) são utilizadas em ambientes internos de uma construção, quando as paredes constituem-se em muros de arrimo, ocorrendo

um desconforto térmico, gerado pela parede que está em contato com o solo. A aplicação de placas de EPS, entre o muro impermeabilizado e o solo, soluciona esse problema, conforme Figura 2.6.



**FIGURAS 2.6.** Aplicação de placas de EPS entre o muro impermeabilizado (a) e o solo (b).

Fonte: <<http://www.termotecnica.com.br>>

## 2.6 Polímeros na construção civil

Segundo BAUER (1995), os polímeros mais utilizados na construção civil são: PVC - Cloreto de Polivinila, obtido a partir do acetileno ( $C_2H_2$ ), e do cloreto de hidrogênio (HCL), cujo maior uso é na fabricação de tubulações de água, de esgoto e de eletricidade e poliestireno, (dá superfície brilhantes e polidas, resiste pouco ao calor, é quebradiço), devido à sua pouca flexibilidade, porém, material de largo emprego em aparelhos de iluminação mais econômicos.

Outros bastante utilizados, são os poliestireno de alto impacto, com qual são feitas algumas conexões de material sanitário, poliestireno expandido (EPS - isopor); o polietileno, (um dos materiais mais utilizados, pelo seu baixo custo e facilidade de ser trabalhado); nylon, (um dos plásticos mais nobres, é usado como reforços nas telhas plásticas de fibra de vidro); e a fiberglass (constituído, por uma combinação de fibras de vidros com resina poliéster), para usos não estruturais, painéis de vedação, paredes, divisórias ou equipamentos.

Ainda, podem ser citados, os acrílicos, plásticos nobres, de qualidade ópticas e semelhantes aos mais finos vidros, usados em decoração como parede divisória, em portas para box, domos plásticos para iluminação zenital (BAUER, 1995).



### **2.6.1 Composto polímero de EVA na construção civil**

As propriedades técnicas dos componentes produzidos com agregados sintéticos leves do polímero EVA mostram que há melhoria do conforto térmico nas edificações, que é algo bem vindo nas regiões de temperaturas altas. Além disso, por serem componentes mais leves, garantem alívio de carga na estrutura dos edifícios e podem representar uma maior produtividade no fechamento de painéis de paredes, considerando que poderão ser utilizados elementos (blocos de vedação) com maiores dimensões.

O emprego de polímeros para modificação de argamassas a base de cimento Portland é uma prática antiga e largamente utilizada no exterior (GODOY, 2000). Segundo o American Concrete Institute (ACI, 1997c), em 1933 na Alemanha, pela primeira vez foi feito o uso de látex com essa finalidade, empregando-se, inclusive látex de poli-acetato de Vinila (GODOY, 2000). Este tipo de material residual do processo produtivo calçadista possui baixa massa específica, bom comportamento como isolante térmico, não é susceptível a fungos e pode ser aproveitado como agregado sintético na elaboração de compósitos leves, utilizados na construção civil (POLARI FILHO et al., 2003).

No Brasil, o aproveitamento de resíduos do polímero de EVA no setor da construção civil tem sido estudado no Rio Grande do Sul, maior pólo calçadista do País. Naquela região, já existem empresas que beneficiam os resíduos sintéticos da indústria de calçados para produzirem agregados leves.

GARLET (1998) coletou resíduo de indústria de calçados da região do Vale dos Sinos no RS, triturou-o em um moinho, obtendo, assim, um agregado de EVA com determinada granulometria. Na etapa experimental do trabalho, foram avaliadas as condições de trabalhabilidade e consistência necessárias à mistura no estado fresco, bem como as propriedades físico-mecânicas do concreto endurecido. Os ensaios foram realizados a partir de corpos de prova cilíndricos.

Entre as aplicações possíveis na construção civil para o uso de compósitos leves obtidos a partir de agregados de EVA e as suas vantagens podem ser citados, enchimento para lajes rebaixadas, isolamento acústico entre pavimentos e isolamento térmico nas lajes de forro etc. Isto evidencia a grande potencialidade desse resíduo para uso em diversos componentes e sistemas na construção civil, sem função estrutural. Uma propriedade marcante dos compósitos avaliados foi a baixa rigidez, comportamento atribuído às propriedades do agregado do copolímero de EVA. Considerando essa característica e levando-se em conta o

alto consumo de cimento necessário para se obter maior resistência à compressão, concluiu-se que outro grande potencial de aplicação deste compósito é para o isolamento térmico e a produção dos chamados pisos flutuantes que podem atenuar os ruídos transmitidos em lajes entre os pavimentos de edifícios (GARLET, 1998).

De acordo com BEZERRA (2002), por intermédio de ensaios de resistência à compressão simples e de absorção de água com os próprios blocos de vedação, observou-se que, de uma forma geral, com o traço 1:3 (cimento Portland: agregados, em volume) é possível terem-se boas condições para a fabricação de blocos, sem deixá-los muito frágeis ao manuseio (resistência à compressão maior do que 1 MPa). O teor ideal de incorporação do resíduo de EVA como agregado leve é 60%, quando não se faz o seu tratamento térmico, e 70%, quando se faz tal tratamento, atingindo resistência à compressão de 2,53 MPa.

Para compósitos leves, a base de cimento Portland e agregado sintético EVA, LEAL (2004) obteve, em experimentos, massa específica de 930 kg/m<sup>3</sup>, resistência à compressão de 1.2 MPa e módulo de ruptura à flexão de 0,7 MPa, o que garante sua utilização em painéis, forros, testeiras e beirais.

SANTOS (2005) utilizou resíduos de EVA granulado, aglomerado com cimento, na confecção de placas de 4 cm de espessura, utilizando traço 1:5, com pequena energia de prensagem e chegou à conclusão, que este material mostra grande potencial de utilização como revestimento acústico.

### 2.6.2 Composto Polimérico Estireno Butadieno (SB)

O composto SB é um polímero do tipo elastômero, classificado como copolímero resultante de poliadição (reação em cadeia), constituído da repetição de dois ou mais meros de estireno e butadieno, conforme Figura 2.7.

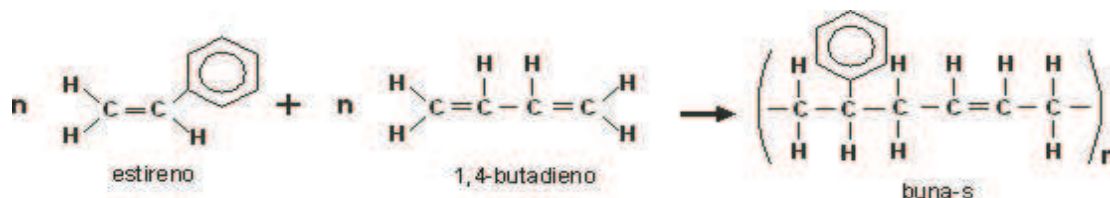


Figura 2.7 Copolímeros de poliadição.

O SB foi elaborado primeiro na Alemanha, na década de 1930, com o nome de Buna S, e posteriormente estudado nos Estados Unidos, durante a 2ª Guerra Mundial, com a denominação de GRS, que foi posteriormente substituída por SB (NAGDI et al.,1987).

O elastômero Estireno Butadieno (Buna-S ou SB), é utilizado para a fabricação de forros de carpetes, bandas de recapagem, calçados, mangueiras, calandras e artigos médico-hospitalares. Pode ser utilizado também na construção civil, em produtos mecânicos inclusive automotivos. Atualmente, é muito usado em solados para calçados, quando formulado com alto teor de estireno (cerca de 83%), e em uma infinidade de peças que requeiram alta dureza na indústria.

O SB também encontra mercados na fabricação de adesivos e pisos laminados, em formulações, com 23% de estireno, e na produção de gomas de mascar, onde participa com 47% de estireno (REVISTA PLÁSTICOS MODERNOS, 2007).

A borracha sintética (SB Rubber - SBR), mais utilizada que a borracha natural, é classificada como elastômero, (classe intermediária entre os termoplásticos e os termorrígidos), não é fusível, mas, apresenta alta elasticidade, pois, não é rígida como os termofixos.

#### **2.6.2.1 Estireno Butadieno (SB) na Engenharia Civil**

Nas obras de pavimentação, o grupo dos polímeros termoplásticos, normalmente utilizados como modificadores de CAP (cimento asfáltico de petróleo), consiste de copolímeros em bloco de estireno butadieno (SB), como estireno butadieno estireno (SBS), estireno isopreno estireno (SIS), estireno etileno butadieno estireno (SEBS) e acrilonitrila butadieno estireno (ABS). Além do SB, outros polímeros podem ser adicionados ao asfalto, como o polietileno de baixa densidade (LDPE), o etileno acetato de vinila (EVA) e o etileno propilenodieno (EPDM).

No Brasil, o uso de ligantes modificados, em rodovias começou a ser testado somente por volta de 1990. Na construção civil, o copolímero de SB pode ser utilizado como base na fabricação de emulsões adesivas para aplicação de chapisco e argamassa, melhorando a sua aderência em paredes internas e externas, secas ou úmidas, com inúmeras vantagens, tais como facilitar a aplicação e diminuir a retração, a fissuração e a permeabilidade.

ROSSIGNOLO (2003) abordou a aplicação de látex de SB na produção de concretos leves de alto desempenho (CLAD) para confecção de elementos construtivos esbeltos pré-

fabricados, tais como painéis estruturais e de vedação e peças para cobertura. Este programa experimental demonstrou que os concretos leves de alto desempenho modificados com SB são extremamente adequados à produção de elementos pré-fabricados esbeltos, devido essencialmente à redução da massa específica e ao excelente desempenho das propriedades relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade.

Ressalta-se, que esta revisão bibliográfica não conseguiu detectar nenhuma outra pesquisa sobre o aproveitamento de resíduos sólidos a base de borracha SBR no segmento da construção civil, sendo pioneira em pesquisar esses resíduos em elementos construtivos.

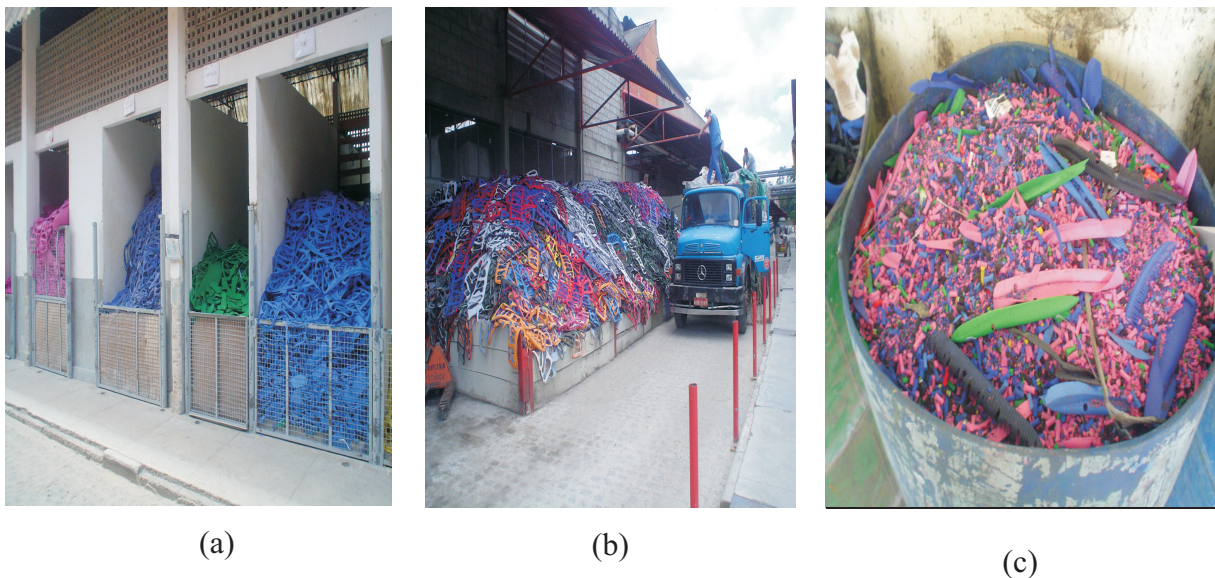
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais

Neste capítulo, são apresentados os materiais (borracha SBR e cimento), procedência e metodologia utilizados nos ensaios de caracterização e nos tecnológicos. Os métodos regidos por normas da ABNT foram apenas citados, enquanto os demais, foram descritos.

##### 3.1.1 O resíduo de calçados a base de SBR

Foram efetuados levantamentos das disponibilidades de resíduos produzidos nas fábricas de calçados de Campina Grande. Constatou-se que numa indústria de sandálias instalada no estado da Paraíba, a produção média estimada de resíduo polimérico calçadista é de 200 t/mês, o que equivale 6,6 t/dia. Posteriormente, os resíduos de calçados a base de SBR foram coletados, acondicionados em “*BIG BAG*”, etiquetados e transportados para os laboratórios da UFCG. Os resíduos deste material apresentam-se na forma de aparas, conforme Figura 3.1.



**FIGURA 3.1** Resíduos do processo de fabricação de calçados em forma de aparas a base de SBR em baias (a) sendo acondicionados para transporte (b) e em forma de retalhos, cortes e aparas de resíduo de calçados (c).

Durante o processo de trituração na máquina tipo moinho de facas rotativas, foram obtidas granulometrias diferentes de agregados sintéticos leves, fazendo-se uso de diferentes malhas das peneiras na máquina (Figura 3.2).



**FIGURA 3.2** Moinho de facas rotativas utilizado no beneficiamento do resíduo de SBR.

### 3.1.2 Cimento

Foi utilizado um cimento Portland do tipo CP III RS da marca Brasil, por ser um material muito utilizado na região e possuir as qualidades necessárias para a confecção dos corpos de prova. Suas especificações são apresentadas na Tabela 3.1.

**TABELA 3.1** Especificação do cimento

Classe	32
Clinker + Gesso (%)	26-65
Lhs (ligante Hidráulico siderúrgico)	35-70
Calcário	0-5
Demanda de água	24,50
Fluidez	>254
Porosidade Total (%)	13,9
Resistencia a compressão aos 28 dias (MPa)	40

Fonte: <http://www.cimentobrasil.com.br>

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Caracterização do resíduo de calçados a base de SBR

O resíduo do processo calçadista a base de SBR é formado pelos retalhos, corte e/ou aparas. Este resíduo é um material não-biodegradável, de longa exposição e baixa massa específica. Para a caracterização física do resíduo de calçados a base de SBR, foram determinadas: composição granulométrica, conforme a NBR 7217, e absorção de água, conforme a NBR 7973.

Para a realização dos ensaios de caracterização físicas e mecânicas, as amostras foram beneficiadas e utilizou-se uma máquina do LaCRA para peneiramento do material. Esta máquina possui peneiras com dimensões diferentes para a separação dos grãos por tamanho: 0,15mm; 0,30mm; 0,60mm; 1,20mm; 2,40mm e 4,80mm. Os grãos com tamanhos entre 0,60mm e 2,40mm foram os melhores para a realização do projeto.

Os resíduos foram caracterizados e processados adequadamente, visando à sua incorporação como agregado sintético no desenvolvimento de novos materiais como elementos da construção civil, em substituição aos convencionais. Nos ensaios de caracterização física, determinaram-se absorção de água (AB), porosidade aparente (PA), e densidade aparente (DA); nos ensaios mecânicos, resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos, com a dimensão básica de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura e tração na flexão em três pontos. Foram efetuados, ainda, os Ensaios de Flamabilidade, de Depreciação Térmica, e de Condutividade Elétrica. O desenvolvimento deste trabalho foi direcionado com base em normas técnicas, conforme a Tabela 3.2.

**TABELA 3.2** Norma x Especificação

Norma	Especificação
NBR 12775	Placas
UL – 94	Teste de Flamabilidade (test for flammability of plastic materials for parts in devices and appliances)
NBR 07215 - 1996	Resistência à compressão simples
RILEM 49/84	Resistência à flexão em três pontos
NBR 9937	Determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo
NBR 7973	Determinação da porosidade
NBR 5738	Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto
NBR 5739/94	Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

Após a caracterização dos resíduos, foram feitos estudos exploratórios em laboratório, seguindo o seguinte roteiro:

- Seleção do agregado sintético (SBR) e aglomerante hidráulico tipo cimento, a serem utilizados na preparação das misturas (argamassa contendo cimento, água e agregado sintético);
- otimização de parâmetros tais como: porcentagem, granulométrica e mistura dos resíduos. Definição das composições ideais das misturas, no que se refere à matriz cimentícia (traço, teor de cimento, fator água/cimento, tipo de cimento, etc);
- determinação das características físicas e mecânicas em corpos de prova no formato cilíndrico e prismáticos dos compósitos.

Após a seleção das melhores misturas (traços), foram desenvolvidos os elementos construtivos. Nesta fase, foram definidas as dimensões e formas geométricas dos elementos, bem como as técnicas de produção. Para a avaliação dos componentes construtivos, foi feito um levantamento das propriedades físicas e mecânicas dos componentes do material proposto.

### **3.2.2 Preparação dos compósitos de matriz cimentícia**

#### **3.2.2.1 Mistura**

A mistura para os corpos de prova prismáticos foi executada em um recipiente com capacidade para 10 litros, nas proporções em volume, utilizando fator água/cimento iguais a: 0,4, 0,5, 0,6 e 0,7. Colocou-se, primeiramente, o resíduo da borracha industrial (SBR peneirado no recipiente, adicionando-se o cimento e fazendo-se uma mistura inicial apenas com estes dois elementos. Após se obter uma mistura homogênea, adicionou-se, aos poucos, a água de amassamento e, logo depois, o material obtido foi colocado em moldes para a confecção dos corpos de prova.

Foram utilizados os traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6 (cimento: agregados, em volume), fixando-se o teor de cimento e variando-se a quantidade dos resíduos de calçados (SBR). Na confecção das placas em que se usou energia (CP), aplicou-se apenas 1MPa (10 kgf/cm<sup>2</sup>) na prensagem. A escolha desses traços foi com o objetivo de determinar-se a resistência que garanta condições de manuseio, aplicabilidade e rigidez do compósito, tipo placa,



considerando, também, os níveis de AB, PA e DA, bem como, a flamabilidade, a depreciação térmica e a condutividade elétrica.

### **3.2.2.2 Moldagem de corpos-de-prova**

Os corpos de prova possuem em sua estrutura duas fases distintas: uma, é o cimento, um aglomerante hidráulico (que reage com a água num processo exotérmico, liberando calor que após a cura, forma o concreto), e a outra, é o elastômero tipo SBR, com característica esponjosa.

Para a moldagem dos corpos de prova cilíndricos, foram utilizados moldes cilíndricos de metal não corrosivo, com dimensão básica de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, conforme Figura 3.3. Para o ensaio de compressão, realizado no Laboratório de Construções Rurais – LaCRA/UFCG, foi utilizada uma máquina de compressão, conforme Figura 3.3. A moldagem obedeceu à NBR 5738.



**FIGURA 3.3** Corpos de prova cilíndricos, com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura

### **3.2.2.3 Moldagem de corpos-de-prova prismáticos**

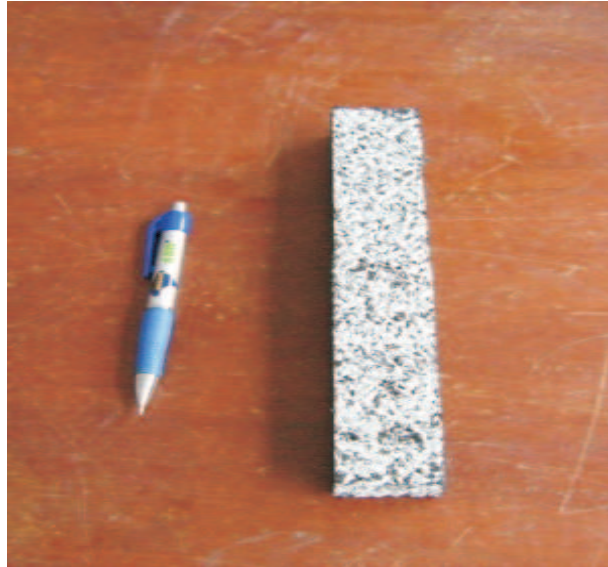
Para a moldagem dos corpos de prova prismáticos, foram utilizados os seguintes materiais: moldes prismáticos de metal não corrosivo, com dimensão básica de 25 cm x 25 cm

x 4 cm, e máquina de prensagem hidráulica manual, com capacidade para 30 t, conforme Figura 3.4. A moldagem obedeceu à NBR 5738.



**FIGURA 3.4** Prensa e molde metálico usados para produção dos compósitos prismáticos.

Os corpos de prova prismáticos foram posteriormente recortados na dimensão de 25 cm x 4 cm x 2 cm, em que se com utilizou na prensagem baixa energia de pressão e 25 cm x 4 cm x 4 cm, sem utilização na prensagem de baixa energia de pressão, conforme Figura 3.5. Os períodos de referência para o ensaio foram 30, 60, 90 e 120 dias. Os ensaios mecânicos de tração na flexão foram realizados no Laboratório de Caracterização de Materiais Cerâmicos - UAEMAT/UFCG, utilizando o instrumento Máquina Universal, modelo LLOYD LR 10K, série LR.



**FIGURA 3.5** Corpos de prova para ensaio

Na Tabela 3.3, mostram-se os intervalos admissíveis para a resistência mínima e a absorção.

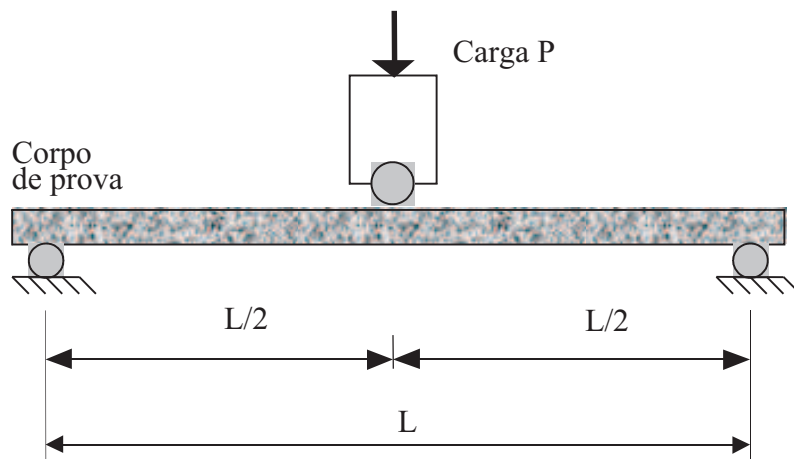
**TABELA 3.3** Valores admissíveis para resistência à compressão e absorção de água

Absorção de água	NBR 7173	Média $\leq 10\%$ Individual $\geq 15\%$
Resistência à Compressão Vedação	ASTM-C203	$>3,5$ Mpa
Resistência à Compressão Isolante	ASTM-C203	$>0,5$ Mpa

### 3.2.3 Resistência à tração na flexão

Para realização desse ensaio, foram utilizados 03 lotes com 03 corpos de prova cada, com período de 30 dias; 04 lotes com 03 corpos de prova cada, com período de 60 dias; 04 lotes com 03 corpos de prova cada, para as período de 90 dias e 04 lotes com 03 corpos de prova cada, com período de 60 dias.

Neste ensaio, analisaram-se as propriedades mecânicas dos corpos de prova prismáticos do compósito de matriz cimentícia e reforço com resíduos de calçados (SBR), nos traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6, com utilização de baixa energia de pressão e sem pressão, com os acessórios para ensaio de três pontos (RILEM, 1984), com velocidade de carregamento igual a 0,5mm/min, com célula de carga de 10kN. Na Figura 3.6, apresenta-se o desenho esquemático do ensaio de flexão.



**FIGURA 3.6** Esquema do ensaio de flexão em três pontos.

Para cada mistura estudada, foram analisados três corpos de prova prismáticos. Nestes ensaios, denominados ensaios de flexão (3 pontos), analisou-se a influência do teor de SBR presente no compósito e da energia de prensagem dos corpos de prova nas máquinas de ensaio (Figura 3.7).



**FIGURA 3.7** Amostras no início do ensaio de flexão

Na primeira etapa, realizaram-se os ensaios mecânicos no corpo de prova prismático sem utilização de pressão e na segunda etapa, com baixa energia de pressão. A largura e a

espessura de cada corpo de prova foram medidas em três pontos com um paquímetro digital, com sensibilidade de 0,01mm, segundo a NBR 12142/91.

### **3.2.4 Determinação da Absorção D'água (AB), Porosidade Aparente (PA) e Densidade Aparente (DA)**

No ensaio de absorção dos corpos de prova prismáticos utilizou-se em procedimento semelhante ao do ensaio do composto cimento e SBR nos moldes cilíndricos; o material usado teve a seguinte dimensão: 5 cm x 4 cm x 4 cm, para os corpos de prova submetidos ou não a pressão. Porém, a caracterização esponjosa do composto SBR (com vazios, gases, cargas para acréscimo das propriedades mecânicas, água e pigmentos para coloração), dificulta aplicação de tal procedimento. Portanto, foi necessário fazer-se uma adaptação da norma, para determinar a taxa de absorção de água para o poliestireno para fins de isolamento térmica de acordo com a NBR 7973.

Inicialmente, o material compósito foi seco em estufa, a temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ , por 24 h. Obteve-se a massa seca (MB), pesando-se em balança digital, e anotou-se o valor obtido, após o que, fez-se a imersão das amostras em água, à temperatura de  $23 \pm 5^\circ \text{C}$ , por 24 h. Na seqüência, o material foi pesado em balança analítica e na balança hídrica, para a obtenção de maior precisão, antes e após a imersão do material, e para aferição da absorção de água, conforme Figura 3.8



**FIGURA 3.8** Detalhes do ensaio de absorção: material imerso

Com o auxílio da balança digital, aferiu-se o peso da peneira do agregado e obtiveram-se os resultados. No final de cada período, calcularam-se AB, DA e PA do material compósito, de acordo com a média das cinco amostras.

As equações aplicadas para o cálculo estão apresentadas na Tabela 3.4.

**TABELA 3.4** Equações utilizadas para o cálculo das propriedades físicas

Propriedade	Unidade	Equação	Onde:
Densidade Aparente	$\text{g/cm}^3$	$M_s / (M_{sat} - M_i)$	$M_s$ = Massa seca em estufa a $110^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24h; $M_{sat}$ = Massa saturada com superfície seca, após 24h de imersão em água; $M_i$ = Massa imersa em água, após 24h de imersão.
Absorção	(%)	$\{(M_{sat} - M_s) / M_s\} * 100$	
Porosidade Aparente	(%)	$\{(M_{sat} - M_s) / (M_{sat} - M_i)\} * 100$	

### 3.2.5 Análise do desgaste térmico sob diferentes temperaturas

Na análise do desgaste térmico sob diferentes temperaturas, os corpos de prova foram confeccionados com dimensão de 2 cm x 4 cm x 0,5cm, conforme Figura 3.9.



**FIGURA 3.9** Corpos de prova para análise térmica.

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos da UAEMAT/UFCEG, com uso do forno tipo Mufla EDG 3000, um tipo de estufa que permite calcinar materiais, utilizou-se os traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6.

Este material foi inserido num sistema composto de capela para expulsão dos gases produzidos pela queima, conforme definição prévia dos traços de argamassa ideais para os materiais a serem empregados. Para a primeira etapa dos trabalhos foi testada a influência da temperatura, na seqüência 200°C, 400°C, 600°C e 800°C, sobre o traço 1:4.

Na segunda etapa, testou-se a influência da temperatura 400° C sobre os traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6. Inicialmente, o material foi pesado em balança analítica fechada, para a obtenção de uma maior precisão, antes e após a calcinação do material. As equações aplicadas para o cálculo, estão apresentadas na Tabela 3.5.

**TABELA 3.5** Equações utilizadas para o cálculo das perdas de massa

Propriedade	Unidade	Equação	Onde:
Perda de Massa	(%)	$PM = \left\  \frac{P_i - PM}{P_i} \times 100 \right\  - 100$	P <sub>i</sub> = Peso Inicial; PM= Perda da Massa

### 3.2.6 Ensaios de Flamabilidade

O ensaio de Flamabilidade dos corpos de prova prismáticos do compósito de matriz cimentícia e reforço elastomérico, tipo SBR, foi realizado no Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos da Unidade de Engenharia de Materiais da UFCG e teve como objetivo a análise das informações relativas à flamabilidade desses corpos de prova prismáticos, nos traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6. Os corpos de prova foram confeccionados com a dimensão 10 cm x 0,5 cm x 0,5 cm, para cada traço e equipamento de teste.

Os critérios de classificação do material submetido ao ensaio de Flamabilidade obedeceram aos seguintes requisitos: Queima com chama ou incandescência até o prendedor, queima do algodão por gotas ou fagulhas emitidas, valores individuais de  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ , e valores do somatório de  $\Sigma(t_1 + t_2)$  para os 5 CP.

### 3.2.7 Resistência ao Impacto (RI)

A análise de resistência ao impacto (RI), realizou-se no Laboratório de caracterização de Materiais Cerâmicos do UAEMat/UFCG, utilizando a máquina de Impacto Instrumentada CEAST (um tipo de equipamento que permite medir resistência ao impacto do tipo pêndulo,

com martelos instrumentados para análise). Os corpos de prova foram confeccionados com dimensão de 1,5 cm x 5 cm x 0,6 cm, conforme Figura 3.10.



**FIGURA 3.10** Detalhe do encaixe do corpo de prova

A norma utilizada para este ensaio foi a ASTM D 256, usando 6 corpos de prova, nos traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6, com o uso do equipamento CEAST com martelo instrumentado, velocidade de impacto 3,46 m/s e pêndulo com resistência ao ar de 0,014 j. Este ensaio teve como objeto, a análise da energia de impacto (EI) dos corpos de prova, do compósito de matriz cimentícia e reforço polimérico tipo SBR, nos traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6. Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente, visando chegar-se às informações relativas ao comportamento completo do material sob impacto. As equações aplicadas para o cálculo estão apresentadas na Tabela 3.6.

**TABELA 3.6.** Equações utilizadas para o cálculo de RI

Propriedade	Unidade	Equação	Onde:
Resistência ao Impacto	J/m	$RI = \left\  \frac{(r_i - r_{ar})}{R_i} \times 1000 \right\ $	RI=Resistência ao Impacto r <sub>i</sub> = Energia de impacto r <sub>ar</sub> = Resistência do ar

### 3.2.8 Condutividade elétrica

A análise de resistividade elétrica dos corpos de prova prismáticos do compósito de matriz cimentícia e dos resíduos de calçados (SBR) foi realizada, no Laboratório de



Construções Rurais da UFCG. O instrumento utilizado foi: MULTÍMETRO DIGITAL MINITA ET 2020, com dois eletrodos, positivo e negativo, onde foi montado um circuito fechado, contendo o material a ser analisado, conforme Figura 3.11.



**FIGURA 3.11** Circuito fechado com Multímetro Digital Minita et 2020.

As informações obtidas são relativas às tensão, condutividade elétrica, resistência e corrente elétrica no corpo de prova do compósito de SBR e cimento de dimensão: 25 cm x 4 cm x 4 cm. Os ensaios permitiram chegar às informações relativas à tensão e a condutividade elétrica. A princípio, foi realizado o ensaio, colocando-se o eletrodo em 03 pontos do corpo de prova, em que seria analisada a condutividade elétrica do composto; haja vista, o concreto ser um material que conduz eletricidade, porém com uma resistividade alta. As equações aplicadas para o cálculo estão apresentadas na Tabela 3.7.

**TABELA 3.7** Equações utilizadas para o cálculo da condutividade elétrica

Propriedade	Unidade	Equação	Onde:
Potência Elétrica	Watts	$P = I.U$	P = Potência elétrica I= Corrente elétrica (A) U= Tensão Elétrica (V)
Tensão Elétrica	Volts	$U=R.I$	U= Tensão Elétrica (V) R= Resistência elétrica (Ohm) I= Corrente elétrica (A)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Composição granulométrica do agregado leve a base de SBR

Considerando-se que os grãos maiores e o pó não eram interessantes para a finalidade do projeto, peneirou-se o resíduo de calçados (SBR). Com o auxílio das peneiras, obteve-se a seguinte distribuição para os grânulos do composto resíduo de calçados a base de SBR, conforme Tabela 4.1.

TABELA 4.1 Distribuição do resíduo de calçados a base de SBR na serie de peneiras

Peneira	0,15mm	0,30 mm	0,60 mm	1,2 mm	2,4 mm	4,8 mm	Resto
Granulometria do SBR (g)	0,61	0,67	12,27	48,09	223,5	13,75	1,10

O material retido entre as peneiras de 0,60mm e 2,40mm totalizou 94,55% do volume das 300 g do material peneirado. Este tamanho de grão foi o ideal para o experimento. O material que não ficou dentro desta margem (abaixo de 0,60mm e acima de 2,40mm), foi descartado.

Para os corpos de prova compostos de concreto e resíduo de calçados a base de SBR, foram utilizados os traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6 (cimento: agregado sintético – resíduo de calçados a base de SBR, em volume) com fator água/cimento de 0,5. A curva granulométrica, na Figura 4.1, apresenta o módulo de finura (MF) igual a 4,76 . Verifica-se que este agregado sintético aproxima-se dos limites da Zona 4 da NBR 7211/83.

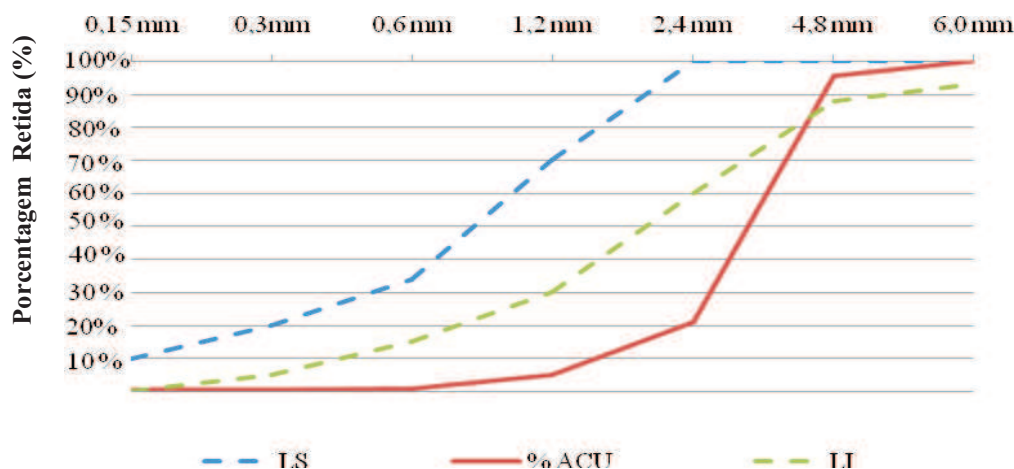
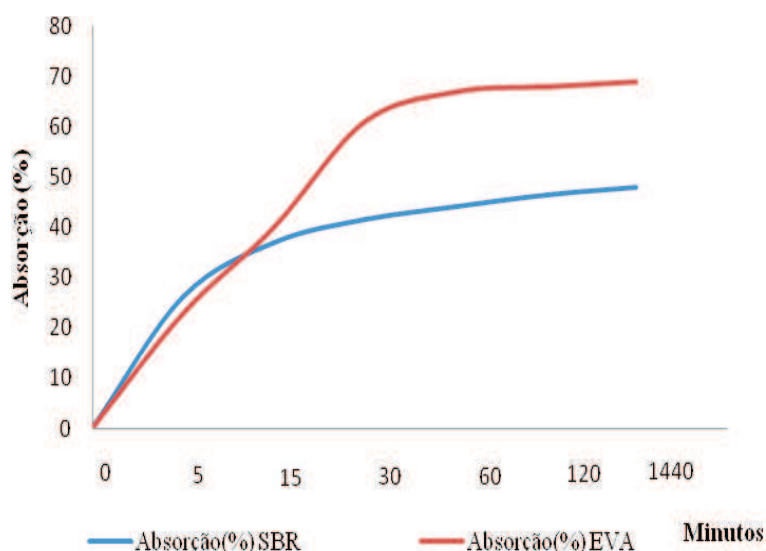


FIGURA 4.1 Distribuição do agregado sintético com relação aos limites da Zona 4

## 4.2 Absorção do agregado leve a base de SBR

Com os resíduos de SBR peneirados, fez-se o ensaio de absorção (AB). Na Figura 4.2, pode-se ver o comportamento da absorção d'água pelo composto SBR, e pelo polímero EVA.



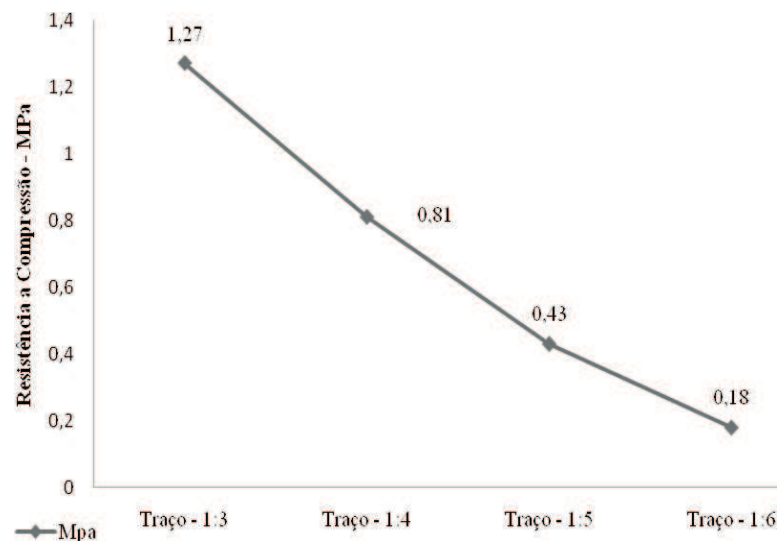
**FIGURA 4.2** Comparação entre a curva de absorção do SBR com a curva de absorção do EVA

Observa-se que a porcentagem de água nos grãos do SBR, vai aumentando proporcionalmente. Isso é em decorrência da estrutura interna do composto SBR, que contém porosidade aparente, o que favorece a absorção d'água, durante o tempo em que o polímero fica submerso, mas, depois de longo período, o material fica saturado, e a absorção vai se estabilizando.

Comparando-se a absorção do composto SBR com a dos os polímeros EVA, percebe-se que os comportamentos são similares, com absorção inicial elevada e estabilização da taxa de absorção, após os primeiros minutos.

## 4.3 Resistência das misturas à compressão simples

Na figura 4.3, estão contidos os valores da resistência a compressão simples, em função do traço utilizado



**FIGURA 4.3** Gráfico do ensaio de compressão dos corpos de provas

Analisando o comportamento da Figura 4.3, verifica-se que o traço com maior resistência a compressão foi o 1:3; isso porque contém uma maior quantidade de cimento em sua composição. À medida que a quantidade de cimento diminuiu, o SBR predominou, causando ao corpo de prova maior elasticidade e menor adesão da borracha ao compósito.

No caso específico deste material, composto de cimento e resíduo de calçados a base de SBR, foi aferida a resistência à compressão de 1,27 MPa, no traço 1:3, concluindo-se ser um material propício a diversas aplicações (divisórias, forros, isolantes, etc) como concreto leve, segundo a norma ASTM-C203.

A escolha desse traço teve como objetivo obter resistência mínima que garanta condições de manuseio e aplicação das placas de vedação, considerando também os níveis de absorção de água compatíveis com os estabelecidos pela norma. Porém, outros traços mais pobres em teor de aglomerante podem ser escolhidos, quando não se tem necessidade de se obterem tais resistências, por exemplo, 1:4, se for para ser aplicado como enchimento ou camada de isolante térmico.

Portanto, é fundamental que se saiba com antecedência qual a finalidade da aplicação, para se escolher o traço que deve ser aplicado. Vale ressaltar que traços com menor consumo de cimento, como, 1:7, não devem ser utilizados, pois, apresentam propriedades físicas e mecânicas inadequadas para qualquer finalidade (GARLET, 1998).

#### 4.4 Ensaios de flexão em três pontos

Nas Figuras 4.4 e 4.5, apresentam-se os melhores resultados de resistência à tração na flexão das séries de corpos de prova, quando submetidos a teste de flexão em três pontos por período de 30 dias e 60 dias, variando os traços das misturas (1:3, 1:4, 1:5 e 1:6).

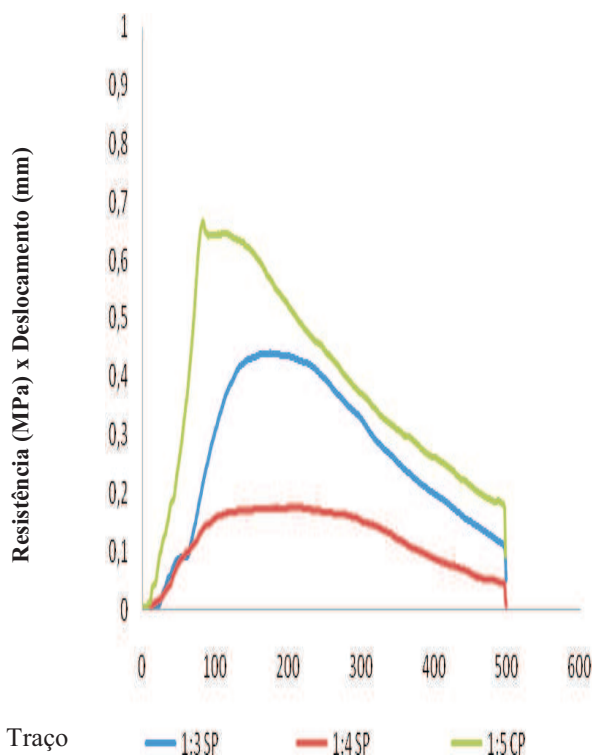


FIGURA 4.4 Resistência em 03 ensaios com 30 dias

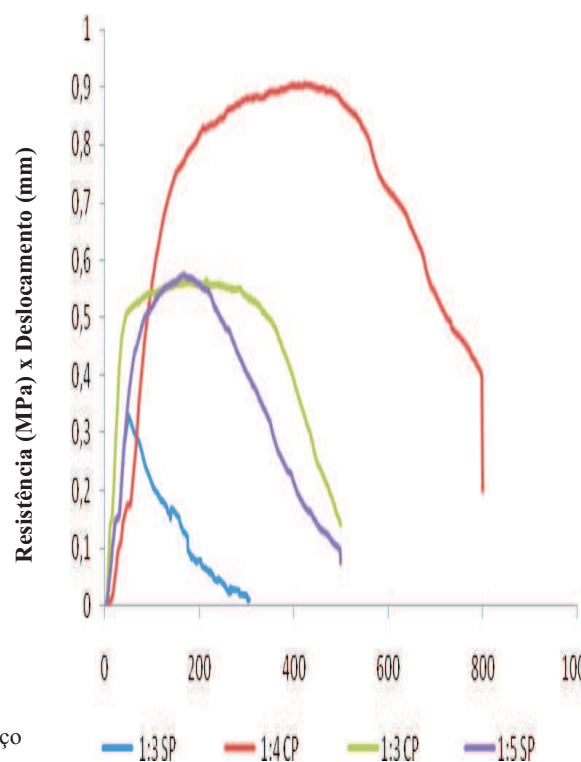
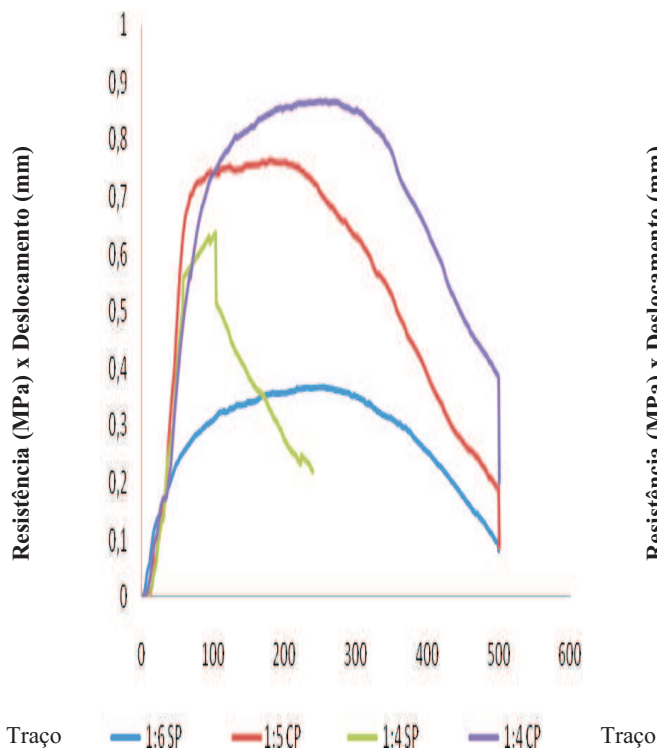


FIGURA 4.5 Resistência em 04 ensaios com 60 dias

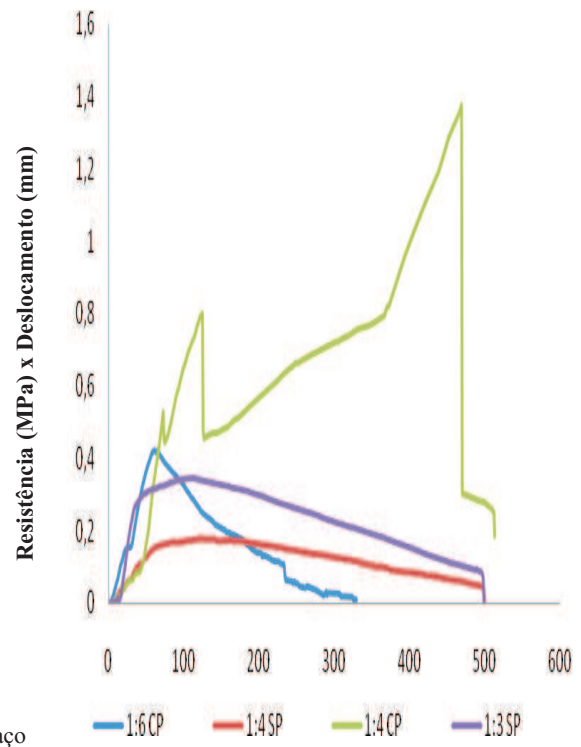
A análise das Figuras 4.4 e 4.5 obtidas no ensaio de flexão, revelou que a maior resistência admissível (módulo de ruptura) foi:

- Para 30 dias, 0,698 MPa, no traço 1:5, com baixa energia de pressão;
- para 60 dias, 0,870 MPa no traço 1:4, com baixa energia de pressão.

O comportamento à flexão dos corpos de prova com adição de resíduos a base de SBR é distinto do comportamento dos corpos de prova sem adição de resíduos, sobretudo no que diz respeito à deformação à flexibilidade. As Figuras 4.7 e 4.8, apresentam os melhores resultados de resistência à tração na flexão das séries de corpos de prova, com 90 dias e 120 dias, quando submetidos a teste de flexão.



**FIGURA 4.6** Resistência em 04 ensaios com 90 dias.



**FIGURA 4.7** Resistência em 04 ensaios nos traços com 120 dias.

Analisando-se as figuras 4.7 e 4.8, observa-se que a maior resistência admissível (módulo de ruptura) foi:

- Para 90 dias, 0,869 MPa, no traço 1:4, com baixa energia de pressão;
- Para 120 dias, 1,37 MPa no traço 1:4, com baixa energia de pressão;

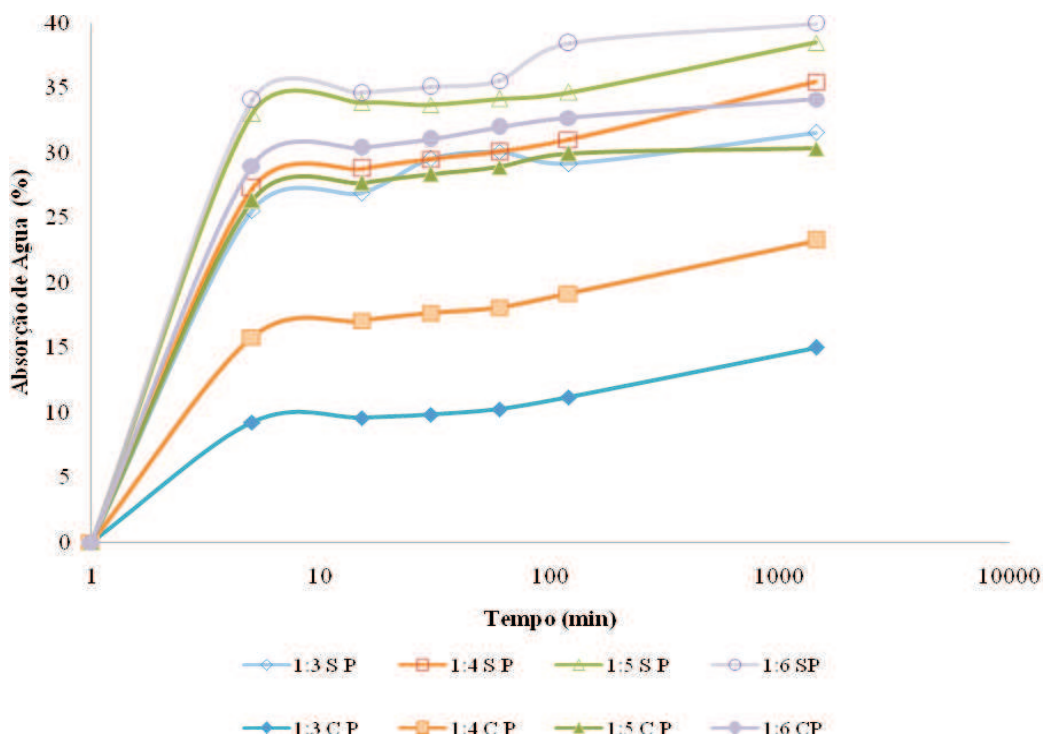
Percebe-se que o comportamento do material composto obtido sem aplicação de pressão possui uma resistência à flexão inferior a dos compostos confeccionados sob baixa energia de pressão.

Assim, com o ensaio, verificou-se que a compressão, o tipo de resíduo, o teor de adição, a energia de pressão, a relação água/cimento e o tipo de adensamento são fatores determinantes para o desempenho, a resistência e o aumento da rigidez do material e, conseqüentemente, da melhoria do módulo de elasticidade (MOE) do composto, a qual, devido a presença da borracha, é baixo.

Conclui-se que o comportamento à tração na flexão da matriz de base cimentícia é modificado pela adição de resíduos de SBR, e que o compósito resultante apresenta deformação plástica bastante acentuada após o início da fissuração da matriz, em todos os casos analisados.

#### 4.5 Absorção d'água (AB) das misturas

Analisando-se as curvas da Figura 4.8, observa-se que houve um incremento da porcentagem de água absorvida pelos corpos de prova, que variou com maior intensidade nos primeiros momentos e com menor intensidade após 24 horas.



**FIGURA 4.8** Absorção d'água (%) das misturas com baixa enérgia e sem enérgia de pressão em função do tempo (min)

O comportamento diferenciado das taxas de absorção d'água nos traços com baixa energia e sem energia de pressão em função do tempo pode ser justificado pelo fato de o compósito em que se utilizou baixa energia de pressão, ter a menor quantidade de cimento presente no traço (1:6), e ter apresentado microfissuras, decorrentes da secagem do material

(cura), o que, conseqüentemente, aumentou o índice de vazios, a permeabilidade e a porosidade do composto.

#### 4.6 Porosidade aparente (PA) das misturas

Nas Figuras 4.9 e 4.10, mostram-se a distribuição das porcentagens médias da absorção (AB) e a porosidade aparente (PA), para 05 corpos de prova.

Analisando-se essas figuras, verifica-se que os maiores valores de absorção de água observados foram obtidos com os compósitos em que se aplicou de baixa energia de pressão, nos traços menor quantidade de cimento presente na mistura (1:5 e 1:6). Em contrapartida, a maior quantidade do agregado sintético (resíduo de calçados a base de SBR) contribuiu para o acréscimo dos valores de absorção de água, devido à elevada porosidade. Portanto, os menores valores de absorção foram observadas nos traços 1:3 e 1:4, devido à maior quantidade de cimento presente no compósito, contribuindo para o preenchimento dos vazios.

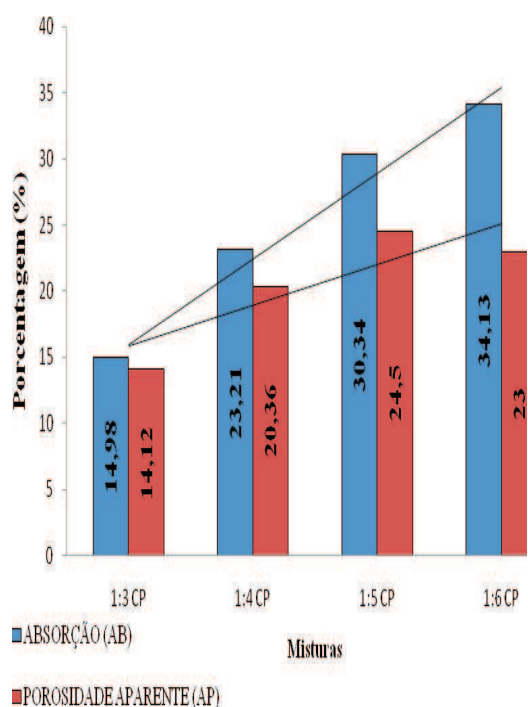


FIGURA 4.9 Absorção de água (AB) até saturação de cada mistura com pressão.

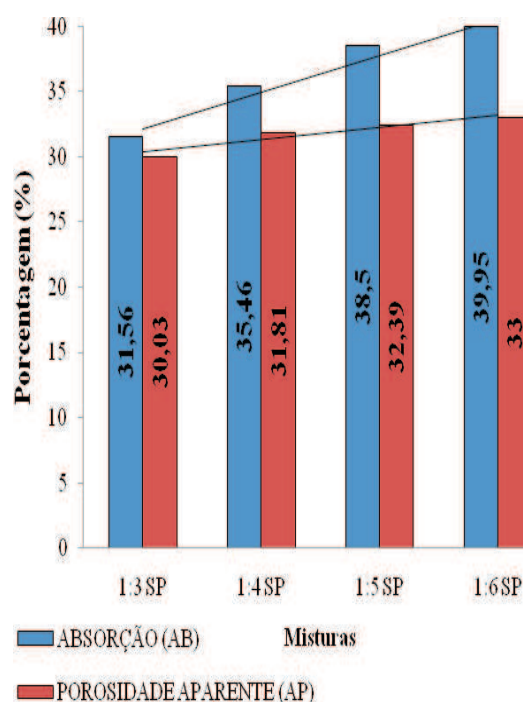


FIGURA 4.10 Absorção de água (ABS) até saturação de cada mistura sem pressão.



Na moldagem, percebeu-se, nas placas confeccionadas com cimento e resíduo de calçados a base de SBR, o aumento do índice de porosidade, quando confeccionados sem pressão, o que influenciou na resistência do produto.

Em contrapartida, quando utilizou-se o sistema de empacotamento sob pressão da máquina à temperatura ambiente, percebeu-se o aumento da resistência do produto, devido também à capacidade de compactação do material utilizado, elasticidade do resíduo de calçados a base de SBR, e ao aumento da interação cimento polímero, pela pressão.

Nos compósitos que não foram submetidos a pressão, houve incremento na absorção de água em decorrência das altas taxas de porosidade observadas no material, o que contribuiu consideravelmente para esse aumento que, chegou a 39,95 % em 24 hs (a maior taxa aferida pelo material compósito), quando ocorreu a saturação propriamente dita.

#### 4.7 Densidade aparente (DA) das misturas

Na Figura 4.11, vê-se a distribuição, em porcentagem média, da densidade aparente (DA) do compósito prismático.

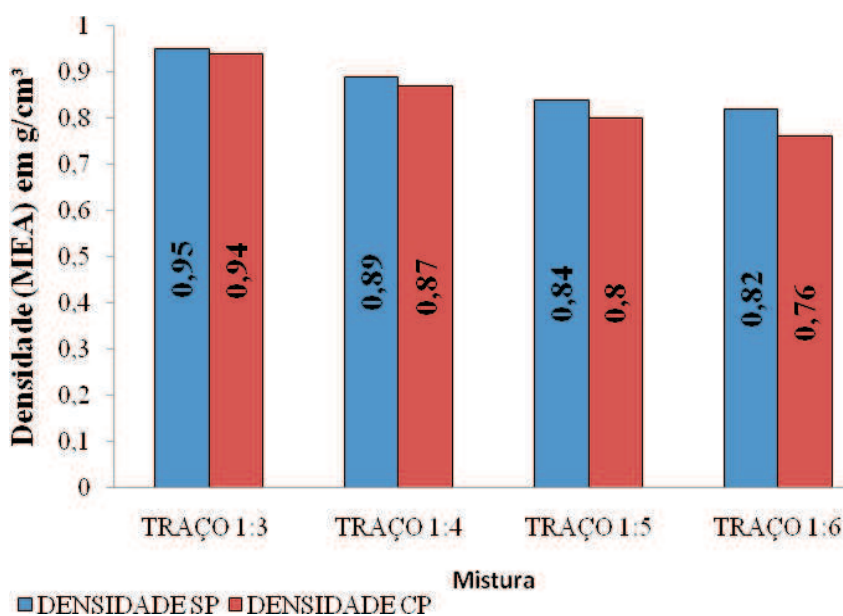


FIGURA 4.11 Taxa média (05 corpos de prova) da densidade aparente (DA) dos corpos de prova prismáticos.

A porosidade aparente (PA) e a densidade aparente (DA) estão associadas com a absorção d'água (AA), isto é, quanto maior a PA maior é a AA e menor a DA. As maiores densidades foram observadas nos traços com maiores quantidades de cimento (1:3 e 1:4), isso devido à massa específica do cimento contribuir para o acréscimo da massa específica do composto, levando-se em conta a baixa massa específica do resíduo de calçados a base de SBR.

Da mesma forma, a menor quantidade de cimento presente na mistura (1:5 e 1:6) contribuiu para a diminuição da massa específica média dessa mistura, pois, o agregado de resíduo de calçado (SBR), sendo um material de baixa massa específica, contribuiu para a diminuição da massa específica do compósito.

#### 4.8 Depreciação do compósito sob ação térmica

O “Ensaio Depreciação do compósito sob ação térmica” foi realizado usando o procedimento em que se expôs o material, num primeiro momento, à temperatura fixa de 400°C e se variaram os traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6. Na Figura 4.12, pode-se visualizar, o desgaste sofrido pelo compósito, após o processo de calcinação.



(a) - Traço 1:3 a 400 ° C

(b)- Traço 1:4 a 400 ° C

(c) - Traço 1:5 a 400 C

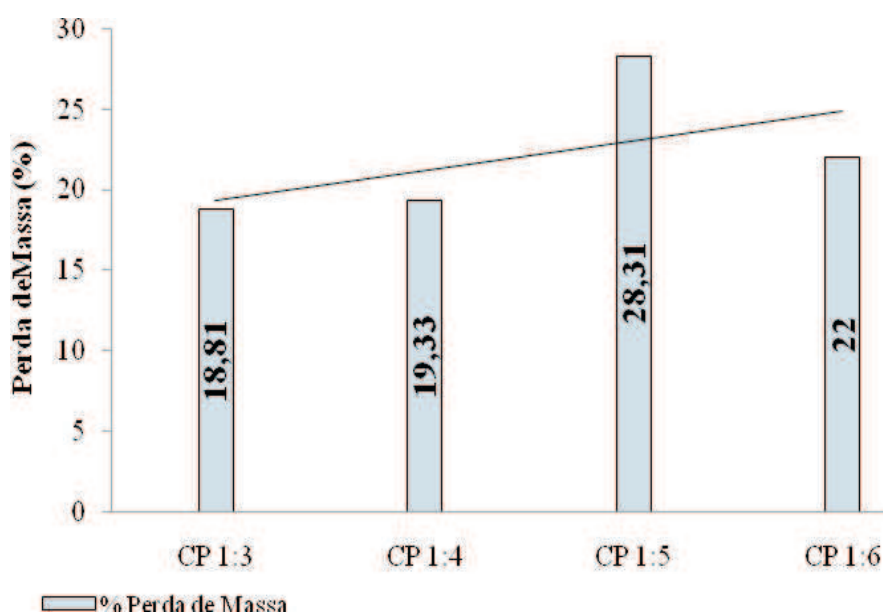
(d) - Traço 1:6 a 400 C

**FIGURA 4.12** Aparência do material após Ensaio de depreciação térmica.

Na Figura 4.12, pode-se observar que nessa temperatura, o material no traço 1:3, sofreu uma variação na perda de massa e adquiriu uma coloração amarelada, devido à presença de pigmentação; no traço 1:4, o material sofreu uma variação na perda de massa e adquiriu uma coloração branca, devido à perda de pigmentação; no traço 1:5, o material

sofreu uma variação na perda de massa e ficou com uma coloração branca, devido à perda de pigmentação, sofrendo um pequeno colapso na sua estrutura; e no traço 1:6, o material sofreu uma variação na perda de massa, ficando com uma coloração branca, devido a ausência de pigmentação, sofrendo um colapso na sua estrutura, pela falta de coesão do material, menor quantidade de cimento e maior quantidade do copolímero na estrutura, ficando os polímeros sem nenhuma adesão à matriz.

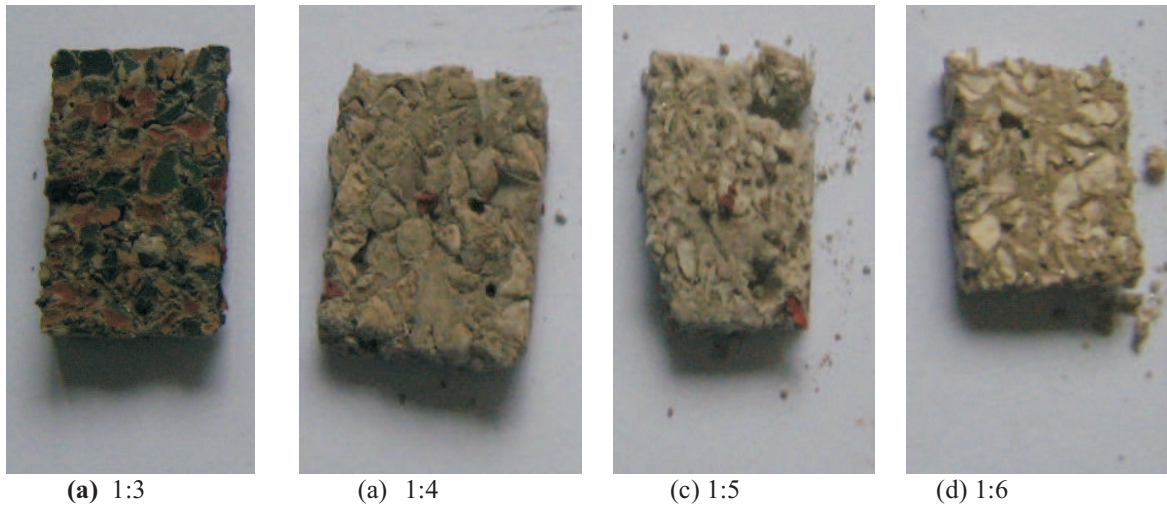
Na Figura 4.13, visualiza-se a porcentagem (%) da perda de massa de diferentes traços sob a mesma temperatura (400 °C), sob forma de gráficos, conforme a variação da mistura.



**FIGURA 4.13** Comportamento de diferentes traços sob temperatura de 400°C.

Analisando-se a Figura 4.13, verifica-se que o valor de perda de massa, sob diversos traços (1:3, 1:4, 1:5 e 1:6), na temperatura de 400°C, aumentou em função da quantidade de cimento no traço, ou seja, quanto menor a quantidade de cimento, maior a perda de massa do material compósito.

Numa segunda etapa, o “Ensaio de Depreciação do compósito sob ação térmica” foi realizado, usando-se o procedimento em que se expôs o material (na mistura fixa em 1:4) às temperaturas de 200°C, 400°C, 600°C e 800° C. Na Figura 4.14, pode-se ver o desgaste sofrido após o processo de calcinação.



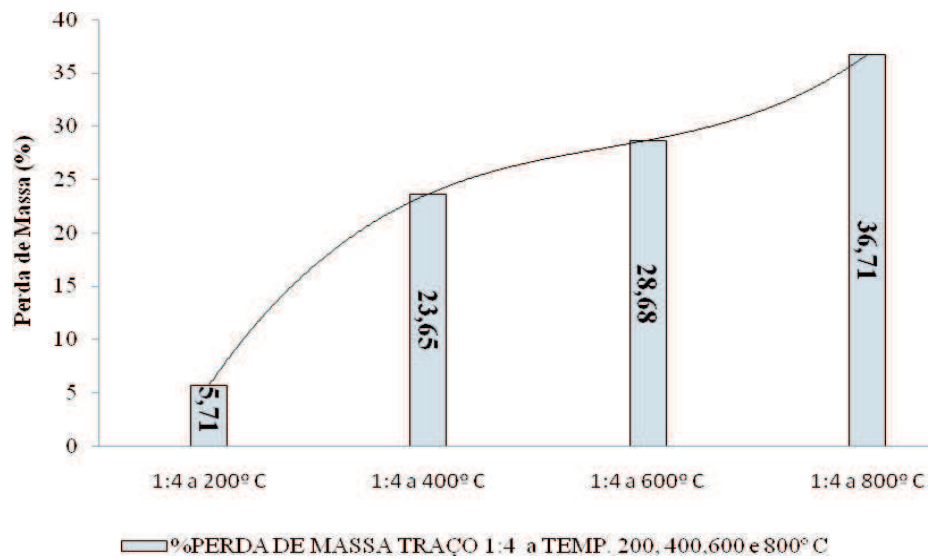
**FIGURA 4.14** Aparência do material após Ensaio de depreciação térmica.

Com o acréscimo da temperatura, percebeu-se um acréscimo na perda de massa, resultando num material mais desgastado e com depreciação mais acentuada.

À temperatura de 600° C, o material sofreu o desgaste mais acentuado e apresentaram a maior depreciação a menor qualidade; a 800° C, o material sofreu desgaste, resultando num material sem nenhuma estabilidade, impróprio para o uso como compósito.

Por essa figura, observou-se ainda que ocorreu mudança de coloração, devido a perda de pigmentação do material submetido, por 02 horas a todas as temperaturas testadas; os materiais submetidos às temperaturas de 600°C e 800°C sofreram acentuada desagregação, mas, não houve colapso, e a coloração de ambas tendeu para um aspecto branco.

Na Figura 4.15, apresenta-se o comportamento do material (mistura 1:4) sob diferentes temperaturas, e com a porcentagem (%) da perda de massa, sob forma de gráficos.



**FIGURA 4.15** Comportamento do material compósito (traço 1:4) sob as diferentes temperaturas, 200°C, 400°C, 600°C e 800°C, relativo a perda de massa.

Por essa figura, observou-se ainda no compósito submetido, por 02 horas a todas as temperaturas testadas; ocorreram perdas na massa inicial (2,44 g) do corpo de prova foram: 0,139 g; 0,4377g; 0,5422g e 0,6787g (equivalentes a 5,71%, 23,62%, 28,68% e 36,71% da massa inicial), respectivamente, para 200°C, 400°C, 600°C e 800°C .

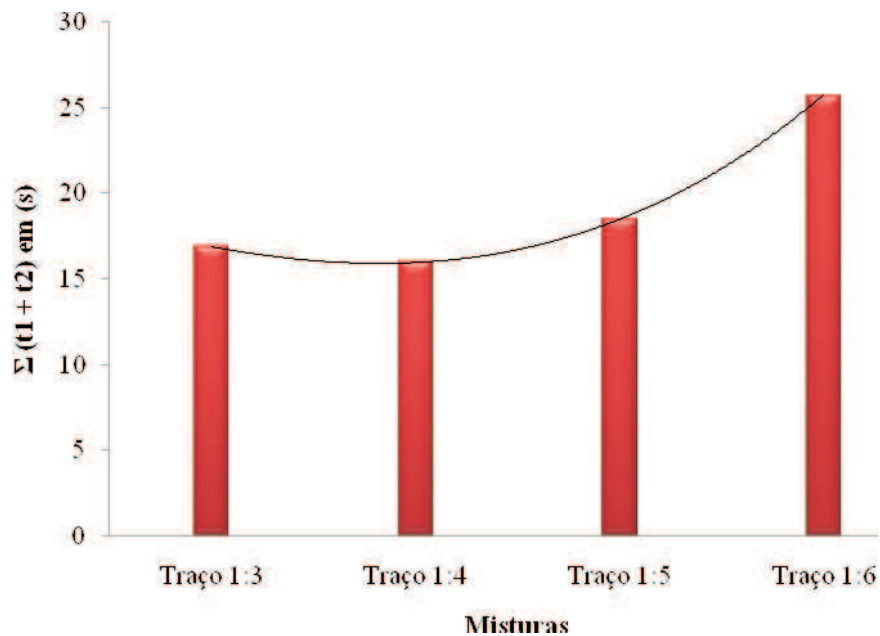
#### 4.9 Ensaio de Flamabilidade

Os critérios de classificação do material submetido ao “Ensaio de flamabilidade”, conforme Figura 4.16, obedeceram aos seguintes requisitos: queima com chama ou incandescência até o prendedor, queima do algodão por gotas ou fagulhas emitidas, valores individuais de  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ , valores do somatório de  $\Sigma(t_1 + t_2)$  para os 5 CP.



**FIGURA 4.16** Ensaio de flamabilidade

Analisando-se a Figura 4.16, verificou-se que para cada traço, a emissão de fumaça, após a retirada da chama, pode configurar-se como uma pequena queima resultante do material após aplicação da carga de fogo, porém sem incandescência, sem manutenção da chama, formando resíduo negro. Pela Figura 4.17, observou-se o comportamento da média para os 05 traços dos corpos de prova, do tempo de queima do material em teste e para a análise, segundo os critérios da norma estabelecida.



**FIGURA 4.17** Somatório dos tempos (s) de queima t1, t2 para as misturas no teste de flamabilidade.

Os compósitos para os traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6, submetidos à chama durante os tempos preestabelecidos, tiveram um comportamento de resistência à combustibilidade, caracterizado pela ausência de chama ou incandescência até o prendedor, bem como ausência da queima do algodão por gotejamento ou fagulhas emitidas durante o “Ensaio de Flamabilidade”. As médias do tempo de queima aferidas durante os ensaios, para este traço, foram inferiores a 10 s, os valores individuais de  $t_1$  e  $t_2$ , foram inferiores a 10s e o somatório de  $\Sigma (t_1 + t_2)$  para os 5 CP, para os traços analisados, foi inferior a 50s, o que enquadra o material, numa categoria de difícil combustibilidade ou incombustível, conforme a norma UL – 94. Na Figura 4.18, vê-se o material após o ensaio.



(a) Traço 1:3.



(b) Traço 1:4.



(c) Traço 1:5



(d) Traço 1:6

**FIGURA 4.18** Aspecto das amostras após o “Ensaio de Flamabilidade”

Na Figura 4.18, pode-se ver o material após o “Ensaio de Flamabilidade”, com aspecto negro fumo, característico dos materiais após exposição à chama e resultante da combustão do material.

#### 4.10 Ensaio resistência ao impacto (RI)

O sistema montado para o “Ensaio Resistência ao Impacto (RI)” proporcionou o suporte necessário para a análise e, conseqüentemente, a obtenção dos resultados da ação dos ensaios predeterminados, para levantamento desta propriedade mecânica.

A Figura 4.19, apresenta a energia ao impacto (EI) do compósito de matriz cimentícia.

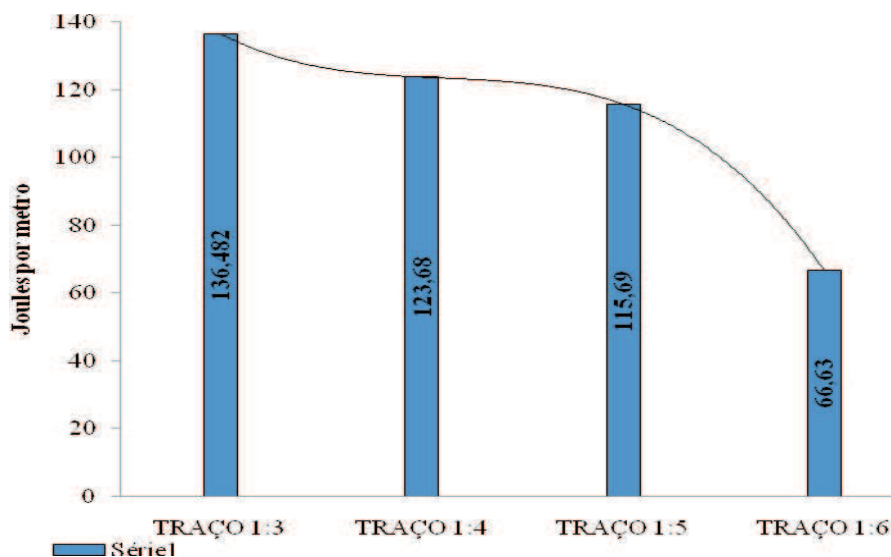


FIGURA 4.19 Energia de impacto Charpy em função da mistura

Analisando-se essa curva, verificou-se que a diminuição do teor de cimento na matriz diminui consideravelmente a tenacidade do compósito, medida pela energia de impacto Charpy. Este resultado, de modo geral, já era esperado, uma vez que o acréscimo de cimento, aumenta a energia de impacto de compósitos com matriz polimérica. Como foi visto, a baixa interação entre as fases contribui para uma ineficiente transferência de esforços da matriz para o SBR, acarretando maior energia absorvida no impacto.

MONTEIRO (2006), nos ensaios utilizando compósito de poliéster reforçado com fibras de piaçava, aplicou-se 95 j/m como energia de impacto para rompimento do corpo de prova. Os corpos de prova foram ensaiados em um pêndulo instrumentado, em configuração



Charpy, da marca CEAST. CAMERINI (2008) utilizou 272,0 J/m, para análise da tenacidade ao impacto de compósitos de tecido de juta reforçando matriz de polietileno reciclado.

No caso específico deste compósito de cimento e SBR, os fatores que influenciaram os resultados dos ensaios, deveram-se à composição interna do material, haja vista, ser confeccionado pelo sistema de prensagem com baixa energia, sem adições, sem aditivação e em temperatura ambiente, tendo, o material, partículas pequenas agregadas à matriz de cimento, não havendo, portanto, uniformidade interna.

#### **4.11 Ensaios de condutividade elétrica do compósito de matriz cimentícia e reforço polimérico tipo resíduo de calçados a base de SBR**

O corpo de prova utilizado para este ensaio foi com o traço 1:4, devido à distribuição dos componentes (cimento, SBR) ser mais equilibrada, com menor quantidade de cimento, (a qual poderia interferir nos resultado), e maior quantidade de resíduo de calçados a base de SBR. A profundidade do eletrodo foi de 2 cm de penetração no corpo de prova, num circuito fechado; foi colocado o sistema para aferição da resistividade do material, nas escalas de 750 V e na escala de 200 V do multímetro.

Em seguida foi efetuada a seguinte leitura: Na escala de 750 V do multímetro foi registrada uma tensão de 201 V em corrente alternada, e acusado uma leitura da uma resistência de  $62 \times 10^6$  Ohm, em corrente alternada na profundidade do eletrodo de 2cm de penetração no corpo de prova. Conseqüentemente, foi aferida uma leitura de corrente no compósito de 3,24 microA, muito pequena, mas presente no compósito.

Na escala de 200 V do multímetro, foi registrada uma tensão de 64,5 V. Na escala de 200 V do multímetro foi acusada uma leitura da resistência de  $7,5 \times 10^6$  Ohm em corrente alternada na profundidade do eletrodo de 2cm de penetração no corpo de prova. Conseqüentemente, foi aferida uma leitura de corrente no compósito de 8,5 microA, muito pequena, mas presente no compósito.

No caso específico do SBR, devido a sua composição interna (conter vazios, água, gases, cargas e outros elementos químicos), ele comporta-se como isolante elétrico, o que despertou a análise de resistividade do compósito. O estudo demonstrou que o compósito em questão, transfere corrente elétrica, pois em seu interior existe um envoltório da borracha, por parte do aglomerante (cimento), e uma continuidade na composição da peça, através de veios, observado ao longo do corpo de prova. Através da tensão analisada nos pólos, demonstra-se o

comportamento de condução elétrica, porém, o estudo carece de um aprofundamento a nível microscópico, para uma análise mais detalhada das interfaces polímero e concreto.

O quadro resumo conclusivo dos ensaios e análises realizados ao longo da pesquisa, mostrando a performance, o desempenho e os indicadores finais do compósito composto de cimento e resíduo do composto SBR, é mostrado na Tabela 4.1.

**TABELA 4.1** Quadro resumo conclusivo dos ensaios e análises realizadas.

Características Técnicas	Unid.	1:3	1:3	1:4	1:4	1:5	1:5	1:6	1:6	Placa cimento/SBR
		CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	
emp. Máx. de trabalho	°C	-	-	-	-	-	-	-	-	200 Standards
perda de massa 200 ° C	(%)	-	-	5,71	-	-	-	-	-	-
perda de massa 400 ° C	(%)	18,91	-	19,33	-	28,31	-	22,00	-	-
perda de massa 600 ° C	(%)	-	-	25,68	-	-	-	-	-	-
perda de massa 800 ° C	(%)	-	-	36,71	-	-	-	-	-	-
Densidade aparente (DA)	g/cm <sup>3</sup>	0,94	0,95	0,87	0,89	0,80	0,84	0,76	0,82	Mínima: 0,760 Máxima: 0,940 NBR 9937
Absorção aparente	(%)	14,98	31,17	23,22	35,47	30,34	38,57	34,14	39,95	Mínima: 14,98 % Máxima: 39,95 % NBR 9937
Resistência à compressão	MPa	-	1,27	-	0,81	-	0,43	-	0,18	> 1,0 NBR 07215
Resistência à flexão	MPa	60 dias 0,57	30 dias 0,44	60 dias 0,87	30 dias 0,17	30 dias 0,70	60 dias 0,57	120 dias 0,43	90 dias 0,37	> 0,4 NBR 12142
Umidade aparente	%	14,12	30,03	20,36	31,81	24,5	32,39	26,00	33,00	Mínima: 14,12 % Máxima: 33,00 % NBR 9937
Reação ao Fogo		-	Inc.	-	Inc.	-	Inc.	-	Inc.	Não Combustível
Condutividade elétrica		-	-	-	MB	-	-	-	-	Muito baixa
Resistência ao impacto	j/m	136,22		123,68		115,59		66,63		ASMT

O desempenho dos indicadores, levantados ao longo da pesquisa com este novo material compósito, mostrou a viabilidade técnica do produto, sobretudo nas questões referentes aos ensaios físicos-mecânicos; pois, este comportou-se conforme os parâmetros mínimos exigidos pelas normas de referências, com valores de MOR's coerentes com as resistências mínimas estabelecidas e validadas no mercado por produtos similares, porém, com o uso e ensaios realizados anteriormente com outros agregados não convencionais (EVA, vermiculita expandida, argila expandida, resíduos poliméricos, pneus, etc).

Os resultados dos estudos físicos (DA, AB, PA) confirmaram a viabilidade do novo material no aspecto das taxas de porosidade, absorção d'água e densidade. Os ensaios complementares apontaram para uma capacidade efetiva do material em suportar algumas condições adversas, como fogo, eletricidade, impacto e envelhecimento natural do produto, chegando em algumas misturas, a suportar até 800 °C sem haver o colapso da estrutura, o que, em comparação com à temperatura ambiente (25°C), traduz-se numa boa capacidade de aplicação em ambientes adversos.

## 5 CONCLUSÕES

- A reciclagem do resíduo de SBR na construção civil deve começar através de um processo simples para triturar as aparas resultantes da fabricação de calçados, de modo a obter-se um agregado leve. O principal cuidado com a manipulação do agregado de SBR é a etapa de mistura dos componentes, considerando: traço adotado, fator água/cimento, qualidade do cimento e etapa de cura (secagem);
- de uma forma geral, o traço 1:3 (cimento Portland: agregados, em volume) permite boas condições para fabricação de placas de isolamento sem deixá-las muito frágeis para serem manuseadas (resistência à compressão maior do que 1MPa);
- outros traços apresentam razoáveis condições de uso, apesar de não se atingir a resistência mínima exigida na norma. Esses valores baixos são esperados, por se tratar de compósito que utiliza agregados leves, com função de isolamento térmico e leveza na redução das cargas nas estruturas dos edifícios;
- o fator água/cimento ideal para a confecção foi 0,5, porque, proporcionou as melhores resistência e trabalhabilidade da argamassa de cimento e agregado sintético (SBR);
- pode-se constatar que o comportamento do material compósito sem aplicação da energia de pressão (BEP), possui uma resistência à flexão inferior à dos compósitos confeccionados com BEP. Conclui-se que a energia de pressão, fa/c, período, tipo de adensamento são fatores determinantes para a análise da resistência à compressão e a flexão;
- a porosidade do material compósito foi analisada, utilizando os parâmetros relacionados a absorção de água, os traço e modo de confecção das placas com baixa energia de pressão ou sem pressão. A prensagem aplicada na moldagem dos compósitos não estruturais atenuou os aumentos de absorção (AB), aumentou o módulo de ruptura a flexão e a tenacidade do material.

- a princípio, observou-se que o material sob ação da temperatura até 100° C sofre uma pequena retração, devido à expulsão da água, dos gases presente e do ar incorporado; porém, com pouca perda de massa, sem calcinação, e, preservando a coloração, devido à presença de pigmentação. Conclui-se que o material compósito suporta temperaturas até 200 °C sem comprometer sua estrutura, é susceptível a temperaturas acima de 200°C e acima de 800 °C há o colapso do material;
- os compósitos para os traços 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6, submetidos à chama durante os tempos preestabelecidos, tiveram um comportamento de resistência à combustibilidade, caracterizado pela ausência de chama ou incandescência até o prendedor. Observou-se portanto, que o compósito não é combustível perfeito, pois, a presença do retardante (cimento) no compósito inibiu a queima;
- a resultante do ensaio de RI demonstrou que a interface cimento borracha não possui adesão suficiente para um melhor resultado, sendo necessário outro mecanismo para acréscimo na resistência ao impacto (RI). Os resultados do ensaio de RI obtidos revelaram que compósitos de cimento e SBR apresentam tenacidade comparativamente superior à de outros compósitos poliméricos de fibras naturais.
- o compósito cimento-SBR, não é isolante elétrico perfeito, porque a sua estrutura interna contém elementos condutores de eletricidade;
- Comparando-se o desempenho, verifico-se que o comportamento deste material é similar ao do compósito de matriz cimentícia e EVA. A resistência à compressão foi de 1,2 MPa, massa específica de 940 kg/m<sup>3</sup>, e o módulo de ruptura a flexão de 0,87 MPa, o que garante utilização em painéis, forros, testeiras, beirais;

tecnicamente, o compósito é viável para o proposto, porém, carece de estudos complementares para acréscimo da resistência, diminuição do consumo de cimento e outras melhorias significativas; as placas de SBR demonstraram ser facilmente cortadas ou serradas e isto torna viável a execução das instalações.

## ➤ 6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Este trabalho é apenas o primeiro de uma série que se pretende realizar na Unidade de Construções Rurais do LACRA/UFMG com o uso do resíduo de calçados a base de SBR. A seguir são apresentadas algumas sugestões que são fundamentais para a consolidação desta nova área de pesquisa.

- Análise dos compostos com incremento da temperatura para análise da abertura (expansão dos poros) do elastômeros;
- estudo da tendência da curva de absorção até 4 dias (300hs);
- análise do módulo de Young do compósito, através das análises separadas dos módulos do cimento e da borracha;
- análise da curva de absorção do SBR;
- análise da curva de absorção do cimento e comparação com o composto confeccionado;
- estudo de DRX, microscopia óptica, varredura;
- aditivação;
- incorporação de outros resíduos;
- variação dos ensaios de flexões;
- estudo de transferência de calor, utilizando ensaios termodinâmicos;
- análise do grau de empacotamento do compósito.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ROCHAS. Disponível em:  
<[http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_03\\_2.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_03_2.php)> Acesso em: 28/02/2008.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. **ABRELPE**, São Paulo, v 1, 150 p. 2007.
- AGOPYAN, V. S., UEL.: PALIARI, J.C& A, A.C. **Alternativas para a redução dos desperdícios de materiais nos canteiros de obras**. 1998. Relatório Parcial. 10 p. São Paulo, PCC, Universidade de São Paulo, 1998.
- AGOPYAN, V. Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais. 1991. 204 f. Tese (Livre-Docencia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- AGOPYAN, V; JOHN, V. M.; ANGULO, S. C.; MIRANDA, L. F. R.; VASCONCELLOS, F. Strategies for innovation in construction and demolition waste management in Brazil. In: CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 2004, Toronto. Disponível em:  
<<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>. Acesso em: 31/10/2005.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **State-of-the-art on polymer-modified concrete-ACI 548. 3R-95**. In: ACI Manual of Concrete practice. Detroit, Farmington Hills 1997 v.5 n.p
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **Guide for structural lightweight aggregate concrete**. ACI 213R-87. ACI of Concrete Pretice. Part 1, 27p., 1997.
- ÂNGULO, S. C. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. Departamento de Construção Civil Escola Politécnica EPUSP, São Paulo SP, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CALÇADOS - ABICALÇADOS. Disponível em:  
<<http://www.abicalcados.com.br>>, Acesso em: 28/12/2007.
- BAÊTA, R. M. **Caracterização petrográfica, faciológica e tecnológica das rochas ornamentais do complexo alcalino de Tunas/PR** 2004,100 f. Dissertação (Mestrado) – Editora UFPR Curitiba, 2004.
- BARATA, M. S.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação preliminar do resíduo caulínico das indústrias de beneficiamento de caulim como matéria-prima na produção de uma metacaulinita altamente reativa. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, p. 69-78, jan./mar. 2002.
- BAUER. L.A.F. **Materiais de construção. Novos materiais para construção civil**. Brasil: vol. 1, 5ª Edição LCT, 1995.
- BERTINI. A. A. **Estruturas de tipo sanduíche com placas de argamassa projetada**. 2002.120 f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.

BEZERRA, A. J. V. **Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – etileno acetato de vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural.** 2002. 100f. Dissertação (Mestrado), UFPB/CCT, João Pessoa, PB.

BITTENCOURT, C. B. **Procedimento de ensaio para avaliar propriedades ao cisalhamento de materiais compósitos – método da viga com entalhe em V.** Publicação 2000. Departamento de Produção. Escola Federal de Engenharia. Itajubá, 5p. 2000.

CANÇADO, J. E. D. **A poluição atmosférica e sua relação com a saúde humana na região canavieira de Piracicaba – SP.** São Paulo, 2003. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

CAUSE, G.; MONTENS, S. The Roize bridge. In: High Performance Concrete: from material to structure. Y. Malier (editor). London: E & FN Spon, 1992. p.525, (apud Neville, 1997).

CIB. Agenda 21 para a construção sustentável. Relatório. Publicação 237. São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.cib.com.br>>. Acesso em 18/01/2006.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Dom. 20/fev/2006. Disponível em: <[www.cbic.org.br](http://www.cbic.org.br)>. Acesso em 02/03/2007.

CINCOTTO, M. A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil.** Tecnologia das Edificações. São Paulo: PINI, p.71-74, 1988.

COLLEPARDI. M. **Damage by delayed ettringite formation.** Publicação, p. 25-30, 1999.

CONAMA – Conselho Nacional do meio Ambiente. Resolução nº 307, 5 de Julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em 18/10/2006.

CONAMA – Conselho Nacional do meio Ambiente. Resolução nº 307, 5 de Julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 20/11/2006.

DECORLIT. Disponível em: <[www.decorlit.com.br](http://www.decorlit.com.br)>. Acesso em 03/07/2008.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasileiro. Publicação, v.1 Brasília: DNPM, 2001.

EMMONS, P.H.; VAYSBURD, A.M.; THOMAS J. Strengthening Concrete Structure, Part II. **Concrete International**, Detroit, ACI, v.20, n.4, p.56-60, apr.1998.

FABRICIO, M. M. Globalização e a cadeia produtiva da construção de edifícios. Escola Politécnica da USP. In: ENEGEP. 2000, São Paulo. **Anais**. São Paulo: USP, 2000.

FORROTERM. Disponível em: <<http://www.knauf-isopor.com.br/html/forroterm.php>>. Acesso em 03/07/2008.



GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (ethylene vinyl acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** 1998. 146 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RJ.

GARLET, G.; GREVEN, H. A. Aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria calçadista na construção civil. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, São Paulo, Anais. São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1997. p.87-92.

GODOY, E.H.P de, PINHEIRO, E. H. de. **Diretrizes para a produção de contrapiso estanque.** M.M.M.S, de Barros. São Paulo. EPUSP, 2000. 36 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento da Engenharia de Construção Civil. BT/PCC/268).

GRANDI, S. Fases do desenvolvimento da indústria de construção no Brasil e as transformações na composição da mão de obra. In: ENCONTRO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO, 1988. **Anais.** São Paulo: Instituto de Engenharia, 1988. p 386 – 391.

GROSZEK, F. A deficiência na fiscalização. **Revista Saneamento Ambiental** , nº 54, p. 16-24, nov./dez. 1998. Acesso em 05 jan. 2007.

HOLLAWAY, L.C.; LEEMING, M.B. **Strengthening of reinforced concrete structures using externally-bonded (Frp) composites in structure and civil engineering.** I ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 1999, 327 p.

KERN, A. P. **Estudo da viabilidade da incorporação de resíduos de contrafortes de calçados em matriz de gesso para uso como materiais de construção civil.** 1999. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,RS.

ISOBLOC. Disponível em: <<http://www.isobloc.com>>. Acesso em 10/03/2008.

JOHN, V.M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: SEMINÁRIO SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 1996, São Paulo. **Anais.** São Paulo: PCC – USP, Departamento de Engenharias de Construção Civil, 1996, p. 21-30.

LEAL, A. F. **Utilização de resíduos das indústrias de cerâmicas e de calçados na elaboração de materiais e produtos a base de cimento Portland reforçados com fibras de sisal.** 2004. 120 f.. Tese (Doutorado). UFCG/CCT, Campina Grande , PB.

LEVY, S.M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos.** São Paulo, 1997. 145 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP.

MACAMBIRA, P. M. F. **O concreto em Belém do Pará. Uma visão analítica de seus componentes, mão-de-obra e patologias.** 2001. 80f . Dissertação (Mestrado) - Universidade da Amazônia – UNAMA, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Belém PA.

MACHADO JR, E.F. **Casas populares premoldadas em argamassa armada: procura de uma solução econômica e confortável.** 1991. 110 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP.

MELO, A.B. **Otimização da moldagem de blocos leves de vedação com aproveitamento de resíduos da indústria de calçados.** p 07-08, n 1, Universidade Federal da Paraíba. 2004, João Pessoa, PB.

MONTEIRO, S. N. **Tenacidade ao entalhe por impacto charpy de compósitos de poliéster reforçados com fibras de piaçava.** 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado). UENF, Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes, RJ.

NAGDI, KHAIRI & GOMMA. **Manuale della, Tecniche Nuove,** Trad. Eldorado, p. 27-30, 1987.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini: 80 p. Trad. Salvador E. Giamusso. 1997.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. 189 f. Tese (doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP. São Paulo, SP.

PIZARRO, R. A. **Materiais de Construção.** Rio de Janeiro: Escola de Engenharia da UFRJ, p. 27-30, 1972.

POLARI FILHO, R.S, MELO A.B, BARBOSA N.P. **A reciclagem de resíduos da indústria de calçados (EVA) na execução de painéis de vedação na construção civil: avaliação desempenho.** UFPB João Pessoa, 2003.

RESENDE, M. L. **Utilização de resíduos de caulim na fabricação de blocos.** 2007 100f. Dissertação (Mestrado), UFCG/CCT/CTRN , Campina Grande, PB.

REVISTA PLÁSTICOS MODERNO. 397: Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/revista/pm368/borrachas3.htm>>. Acesso em: 06/02/2007.

RILEM THECNICAL COMMITIEE 49 TFR. Testing methods for fibre reinforced cement-based composites. **Matériaux et Constructions** , v 17, n. 102, p. 25-30, Nov/Dez, 1984.

ROCHA. J. C. & JOHN. V. M. **Utilização de resíduos na construção habitacional.** FINEP: Coleção Habitare, vol. 4, 2003.

RODRIGUES, E. H. V. FREITAS, A.; R.C.L.; ASSUNÇÃO, E. G. **Materiais de Construção - Coleção Construções Rurais** 1. Edição: 1. ISBN: 85-85720-23-9. Brochura, Editora: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro 2000. 209 p.

ROSSIGNOLO, J. A. **"Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos - dosagem, produção, propriedades e microestrutura"** 2003 150 f. Tese (Doutorado). Ciência e Engenharia de Materiais (IFSC/IQSC) USP, São Paulo, SP.

RUBBERPEDIA. Disponível em: <<http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-butadieno-estireno.php>>. Acesso em: 22/07/2008.

SANTOS, J.L.P. **Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos em absorção acústica**. 50 p, Santa Maria: Editora UFSM. 2005.

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice', SETAC, Brussels, 1993.

SAVASTRANO, J.R. Sistemas de cobertura para construções de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais. Coleção Habitare v. 4, p.95-124, 2003.

SILVA FILHO, A.F. MOURA, W.A.; LEITE, R.S. Caracterização de escória de ferro-cromo como agregado graúdo para produção de concreto. Sitientibus, n. 26, p. 95-110, 2002.

SINDICALÇADOS. **Desempenho nacional das exportações de calçados**. Brasília DF. v.3, n. 5, p1-1, 2007 (periódico).

SOBRAL, H. S. **Concretos leves. Tipos e comportamento estrutural**. São Paulo: ABCP, 1996. 24p. (Estudo Técnico).

SPRATT, B. H. **An introduction to lightweight concrete**. London: Cement and Concrete Association, 1960. (apud Garlet, 1998).

SUDEMA. Superintendência do Desenvolvimento do Meio Ambiente. 80 p, 2004, João Pessoa PB.

TAYLOR, G. **Materials in construction**. 2. ed. London: Longman Scientific, 284,p, 1994.

TERMOTÉCNICA. Disponível em: <<http://www.termotecnica.com.br>>. Acesso em 03/07/2008.

TONDOWSKI, L. O cuidado com as soluções "criativas". **Revista Saneamento Ambiental** – nº 54, p. 16-24, nov./dez. 1998.

USEPLAC. Disponível em: <<http://www.useplac.com.br>>. Acesso em 06/04/2007.

VALVERDE, F.M. **Balanco mineral brasileiro 2001**: agregados para a construção civil. Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/balanço01/pdf/agregados.pdf>> Acesso em:27/05/2006.

VÁZQUES, E. **Projeto entulho bom**. Universidade Federal da Bahia. Salvador BA, 2001.

ZORDAN, S.E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. 1997. 140 p. Dissertação (Mestrado) - FEC-UNICAMP, Campinas, SP.

ZORDAN, S.E. **Metodologia de avaliação do potencial de reciclagem de resíduos**. 2003. 464 f. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP. São Paulo SP.