



**Susan Sales Canellas**

**Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado  
miúdo em argamassas**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio.

Orientador: José Carlos D'Abreu

Rio de Janeiro, abril de 2005



**Susan Sales Canellas**

**Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado  
miúdo em argamassas.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica do Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Jose Carlos D'Abreu**

Orientador

Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia - PUC-Rio

**Mauricio Leonardo Torem**

Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia - PUC-Rio

**Helio m. Kohler**

Consultor

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de abril de 2005.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

### **Susan Sales Canellas**

Arquiteta graduada em 1991 com experiência em projetos e obras públicas, especializada em Engenharia de Segurança do Trabalho em 1995.

#### Ficha Catalográfica

Canellas, Susan Sales

Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas / Susan Sales Canellas; orientador: José Carlos D'Abreu. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, 2005.

78 f ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia.

Inclui bibliografia

1. Ciência dos Materiais e Metalurgia – Teses. 2. PET. 3. Reciclagem. 4. Construção civil. 5. Argamassa. I. Abreu, José Carlos d'. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia. III. Título.

CDD: 669

Aos meus pais, que sempre me apoiaram em todos os meus projetos de vida

## Agradecimentos

Ao Prof. José Carlos D'Abreu, pela orientação, apoio e confiança prestado ao longo deste trabalho;

Ao Prof. Maurício Leonardo Torem, pela dedicação a todos os alunos;

Ao Prof. Hélio M. Kohler, pela disponibilidade de ensinar em todas as horas;

À minha família e amigos que souberam entender minha ausência;

Ao Ricardo A F. Lanzellotti pelo constante apoio e inestimável companheirismo;

Ao Raimundo Nonato R. Filho e Mary Cecília G. Marroquín pelo apoio na execução do trabalho;

Ao CNPq pelo apoio financeiro durante o curso;

Aos amigos e funcionários do DCMM sempre dispostos a ajudar.

## Resumo

Canellas, Susan Sales. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassa**. Rio de Janeiro, 2005. 78p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O desenvolvimento de tecnologias que utilizem energias limpas e a gestão integrada dos resíduos domiciliares e industriais visando uma “reengenharia” nos conceitos sócio-empresariais é uma necessidade urgente. A sociedade, principalmente nos países desenvolvidos, prioriza produtos de empresas que possuam atividades socialmente corretas. A indústria da construção civil, como uma das maiores geradoras de resíduos, podendo chegar a 3000 kg/hab.ano, não pode se eximir desta atitude. Uma vez que consome grandes quantidades de recursos naturais, um grande número de estudos para substituição de bens naturais não renováveis está sendo realizado nesse setor, aliando materiais convencionais com resíduos industriais e urbanos. Um dos materiais que vem sendo utilizado nestas pesquisas são as embalagens pós-consumo de PET ( polietileno tereftalato ), resíduos que estão atingindo percentuais cada vez maiores na composição do lixo urbano, com presença crescente no meio ambiente. Esse trabalho visa apontar uma nova perspectiva de utilização desse material, propondo a substituição parcial da areia natural, por material granulado oriundo de garrafas de PET, objetivando a produção de argamassas para uso na construção civil. No presente estudo, foram realizadas substituições nas proporções de 10, 30 e 50% , tendo sido observado a melhor possibilidade de utilização do percentual de 30%, devido a não ter apresentado perdas significativas na plasticidade e nas resistências a compressão e a tração. Foi possível concluir que o compósito obtido tem potencial para ser utilizado na confecção de artefatos de concreto, sem grande responsabilidade estrutural e em mobiliários urbanos, além de seu uso permitir uma economia significativa de volumes de areia lavada, um recurso natural cuja extração tem causado grandes danos ao ecossistema dos rios e suas margens.

## Palavras-chave

PET; Reciclagem; Construção Civil; Argamassa.

## **Abstract**

Canellas, Susan Sales. **Recycling of PET bottles, aiming at substitution of small aggregate in mortar**. Rio de Janeiro, 2005. 78p. Master Dissertation - Department of Materials Science and Metallurgy, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

The development of technology that uses clean energy and the integrated management of domestic and industrial residues aiming at a new engineering in the social and company relationship, is a urgent necessity. The society, mainly in developed countries, are already giving priority to the products of companies that possess identity with socially correct activities. The industry of construction, as one of the larger generator of residues, that produces around 3000kg/hab.year, and can not exempt of this purpose. Since the civil construction consumes great amount of natural sector resources, a large number of studies aiming at the substitution of natural sand, considered a non renewable material, is being carried out, particularly by, mixing conventional material with industrial and urban residues. The material used in these this study, was granulated PET (polyethylene tereftalate), obtained from beverage bottles, residues that are reaching a high percentage in the composition of the urban wastes. The objective of this research aimed at create a new perspective for construction materials, by crushing bottles of PET and using the produced material as a substitute of the natural sands for production of mortar. In this study was used the PET/sand ratios of 10, 30 and 50%, being 30%, the best ratio observed, due to a still good workability, an acceptable compressive and tensile strengths. The innovation, proposed in this study for instance, in the production of pieces of concrete, without great structural value, and in urban furniture leading to a significant economy of volumes of sands, a resource whose extraction has been caused great damages to the present ecosystem of the rivers and in its edges.

## **Keywords**

PET; Recycling; Construction Materials; Mortar

## Sumário

1	Introdução	14
2	Revisão da Literatura	17
2.1.	Gestão de resíduos	17
2.2.	Caracterização dos plásticos	24
2.2.1.	Os principais tipos de plásticos	24
2.2.2.	Processos de reciclagem de Plásticos:	26
2.3.	Caracterização do PET	28
2.4.	Reciclagem de PET	29
2.5.	Considerações sobre o processo de reciclagem	33
2.6.	Impedimentos para reciclagem	34
2.7.	Coleta seletiva de embalagens PET	34
2.8.	Linha de Reciclagem de PET	37
2.9.	Atividade de extração de areia	39
2.9.1.	Reservas naturais	39
2.9.2.	O processo de extração:	40
2.9.3.	Impacto ambiental	41
2.9.4.	Redução do impacto ambiental	42
2.10.	Agregados	43
2.10.1.	Caracterização tecnológica	43
2.10.2.	Morfologia das partículas	44
2.10.3.	Grau de Porosidade	45
2.11.	Utilização de produtos reciclados de PET na construção civil	45
3	Objetivo e Relevância do Trabalho	49
4	Desenvolvimento Experimental	50
4.1.	Materiais	50
4.2.	Equipamentos:	51
4.3.	Métodos	52
4.3.1.	Coleta do material	52
4.3.2.	Granulação	53
4.3.3.	Caracterização tecnológica dos agregados miúdos de PET	53
4.3.4.	Ensaio de Compressão	54
4.3.5.	Corpos de Prova	55
5	Resultados e Discussões	56



5.1. Coleta das amostras	57
5.2. Lavagem	58
5.3. Classificação por Densidade	58
5.4. Fragmentação	58
5.5. Classificação Granulométrica	59
5.6. Módulo de Finura	59
5.7. Absorção d'água	60
5.8. Massa Específica	61
5.9. Moldagem de Corpo de Prova (Cp)	62
5.10. Cálculo do consumo de agregados/m <sup>3</sup>	62
5.11. Ensaio de Compressão Axial	64
5.12. Ensaio de Tração	70
6 Conclusão	72
7 Referências Bibliográficas	75

## Lista de quadros

Quadro 1 - Reciclagem de Materiais no Brasil – Fonte Cempre/2005	23
Quadro2 - Distribuição dos Mercados para o PET reciclado – Fonte ABIPET/2004	32
Quadro 3 - Percentual de Material Retido x Peneira (mm)	59
Quadro 4 - Diferença de custo entre argamassas com traço calculado em peso e em volume	63

## Lista de figuras

Figura 1 - Foto Praia de Icaraí, Niterói – Fonte Clin/2000	16
Figura 2 - Foto Praia de Icaraí, Niterói – Fonte Clin/2000	16
Figura 3 - Composição do Lixo no Rio de Janeiro. Fonte Comlurb/2005	22
Figura 4- Equipamentos automatizados de coleta seletiva- TOMRA 83 HCp e T-62. Fonte TOMRA	35
Figura 5 - Sistema de leitura óptica. Fonte TOMRA	36
Figura 6 - Visão do Córrego Água do Sobrado e a extração da Areia. Fonte Jornal Vale Paraibano (Out/2003)	41
Figura 7-Detalhes da Extração de Areia em Ambiente de Cava-RJ. Fonte DRM/2000	41
Figura 8- Moinho - Linha R : Desenho Dimensional, C = 1000, L = 850, H = 1300 em mm	51
Figura 9 – Sistema de facas, sendo duas fixas e três rotativas	51
Figura 10 - Forma das peneiras	51
Figura 11 - Prensa Hidráulica	52
Figura 12- Flocos de PET	53
Figura 13 - Fluxograma de ensaios para caracterização tecnológica	57
Figura 14 - Pesagem dos flocos de PET	61
Figura 15 - Gráfico da variação da resistência a compressão em $\text{kgf/cm}^2$ , no traço em volume.	65
Figura 16 - Gráfico da resistência a compressão em função do traço em volume	66
Figura 17 - Variação do peso dos corpos de prova em gramas, em função da variação dos percentuais de substituição do agregado por flocos de PET em volume.	66
Figura 18 - Gráfico da variação da resistência a compressão em $\text{kgf/cm}^2$ -Traço em peso.	67
Figura 19 - Gráfico da resistência a compressão em função do traço em peso.	68
Figura 20 - Variação do peso dos corpos de prova em gramas, em função da variação dos percentuais de substituição do agregado por flocos de PET em volume.	68
Figura 21 - Gráfico da variação da resistência a compressão axial em $\text{kgf/cm}^2$ , no traço em peso.	69

Figura 22 - Gráfico da resistência a compressão em função do traço em peso	70
Figura 23 - Variação do peso dos corpos de prova em gramas, em função da variação dos percentuais de substituição do agregado por flocos de PET em peso	70
Figura 24-Variação de Resistência a Tração – kgf/cm <sup>2</sup>	71

## Lista de tabelas

Tabela 1- Produção x Reciclagem – Fonte ABIPET/2004	31
Tabela 2- Fonte Cempre - Jan/2005	37
Tabela 3 – Traços para execução de argamassa – 1:4	54
Tabela 4 – Densidade dos Plásticos, g/cm <sup>3</sup> - Fonte:UFRJ/NIEAD(2004)	58
Tabela 5 – Material retido em peso	59
Tabela 6 – Percentual de absorção d'água dos corpos de prova	60
Tabela 7- Peso específico das amostras de PET analisadas	61
Tabela 8 – Cálculo do traço em peso para produção de 1m <sup>3</sup> de argamassa	62
Tabela 9 – Cálculo do traço em volume para produção de 1m <sup>3</sup> de argamassa	62
Tabela 10 - Massa específica aparente dos materiais utilizados	63
Tabela 11 - Valores dos Materiais no Atacado (RJ/2005)	64
Tabela 12 - Resultado do ensaio de compressão axial (kgf/cm <sup>2</sup> ),no traço em Volume.	64
Tabela 13 – Perda Percentual de Resistência – Traço em Volume	65
Tabela 14 – Variação do peso em gramas dos corpos de prova, no traço em volume.	65
Tabela 15 - Resultado do ensaio de compressão axial(kgf/cm <sup>2</sup> )-Traço em peso	66
Tabela 16- Perda percentual de resistência – Traço em peso	67
Tabela 17 - Variação do peso em gramas dos corpos de prova - Traço em peso	67
Tabela 18 - Resultado do Ensaio de Compressão Axial (kgf/cm <sup>2</sup> )- Traço em peso, # 2mm	68
Tabela 19 - Perda Percentual de Resistência – Traço em Peso	69
Tabela 20 - Variação do peso em gramas dos corpos de prova-Traço em peso- # 2mm	69
Tabela 21 - Ensaio de Tração	71