

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO PET (POLIETILENO TEREFTALATO) NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

L. S. Rodrigues

Universidade Federal do Amazonas

Av. Gen. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Campus Universitário, Bloco Rio Trombetas Manaus/AM. CEP 69073-970.

lenizesrodrigues@gmail.com

K. J. Sá da Costa

Universidade Federal do Amazonas

A.F.da S. Taveira

Universidade Federal do Amazonas

R.F. Soares

Universidade Federal do Amazonas

R.P. Vasconcelos

Universidade Federal do Amazonas

N.S. Campelo

Universidade Federal do Amazonas

R.K.Vieira

Universidade Federal

Resumo: A indústria da construção civil é uma das maiores geradoras de resíduos, e consome grandes quantidades de recursos naturais, devido a isso, um grande número de estudos para substituição de bens naturais não renováveis está sendo realizado neste setor, aliando materiais convencionais alternativos. Destas pesquisas, destaca-se àquelas com embalagens usadas de politereftalato de etileno (PET), a qual tem tido nos últimos anos um crescimento considerável na composição do lixo urbano. Este trabalho visa uma nova perspectiva de utilização desse material, propondo a substituição parcial do seixo rolado, por material granular em flocos obtidos de garrafas de PET, com o objetivo de produzir blocos de concreto estrutural para pavimentos rígidos. Para tanto, foram feitas as caracterizações dos materiais, utilizando as normas da ABNT. As dosagens foram obtidas através do método Campiteli (2004), tendo os resultados dos ensaios de resistência à compressão alcançados da ordem de 23 MPa. Deste modo, a utilização do resíduo obtido de garrafas de PET como agregado para produção de "pavers" apresenta-se como promissor.

Palavras-chave: Concreto, Blocos de Concreto, PET, Reciclagem, Resíduos.

1. INTRODUÇÃO

Problemas ambientais.

A geração de resíduos sólidos é uma consequência direta e natural do aumento de consumo das sociedades, em especial urbanas. Incalculáveis são os problemas ocasionados pela disposição de resíduos sólidos lançados na natureza. Segundo dados de (1) Formigoni (2007), o crescimento populacional e urbanização, o estilo de vida, e o crescimento da geração de excedentes de renda, estimulam ao consumo irracional de produtos industrializados descartáveis, transformando os resíduos em graves problemas urbanos, cujo gerenciamento é oneroso e complexo, considerando volume e massa acumulados, principalmente após 1980.

Como nos apresenta Formigoni (2007), quanto maior o nível sócio-econômico e conseqüente poder aquisitivo do cidadão, maior o uso de descartáveis e quantidade de polímeros no lixo. A tecnologia proporciona a utilização de polímeros para uma melhora na qualidade de vida, mas isso também resulta em grande problema com a grande quantidade de resíduos gerados.

De acordo com (2) Sichieri et al (2005), os polímeros têm sido solicitados cada vez mais na construção civil, e, de forma concomitante a eficiência desses materiais está invadindo os projetos de edifícios, buscando substituir materiais considerados, até então, de maior nobreza como o aço, a madeira, o barro e o concreto, na execução das obras. Isto se confirma através de publicações como a de (3) Canellas e Susan Sales (2005), *Reciclagem de PET*, visando a substituição de agregado miúdo em argamassa, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, entre outras pesquisas.

O desenvolvimento de tecnologias que utilizem energias limpas e a gestão integrada dos resíduos domiciliares e industriais visando uma reavaliação dos conceitos sócio-empresariais é uma necessidade urgente. A indústria da construção civil, como uma das maiores geradoras de resíduos, não pode se eximir desta responsabilidade.

O PET e a reciclagem

O PET ou Politereftalato de Etileno, é um poliéster, polímero termoplástico ou plástico, desenvolvido por dois químicos britânicos Whinfield e Dickson em 1941, originado pela reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol, formando um poliéster. Utiliza-se principalmente nas formas de fibra para tecelagem e embalagens de bebidas. Possui propriedades termoplásticas, isto é, pode ser reprocessado diversas vezes pelo mesmo ou por outro processo de transformação, ou ainda, segundo (4) Bauer, (1992), materiais termoplásticos são aqueles que amolecem quando aquecidos, sendo então moldados e posteriormente resfriados; no entanto, não perdem suas propriedades neste processo, podendo ser novamente amolecidos e moldados. A introdução de embalagem de PET (Politereftalato de Etileno) no Brasil, predominantemente em 1988, segundo dados da (5) ABIPET, além de trazer algumas vantagens ao consumidor, trouxe também o desafio de sua reciclagem, que nos fez despertar para a questão do tratamento de mais de 200 mil toneladas de lixo descartadas diariamente em todo o Brasil. A reciclagem é considerada uma das alternativas mais importantes dentro do conceito de desenvolvimento sustentável definido pela ONU (Organização das Nações Unidas), seu processo deve ser utilizado em dois casos:

- Quando a recuperação dos resíduos for técnica e economicamente viável, bem como higienicamente utilizável.

- Quando as características de cada material forem respeitadas.

Comparado com outros países, o Brasil está muito bem situado, com índice superior ao dos EUA e da Europa, e similar ao do Japão, levando-se em conta que nestes lugares o trabalho de reciclagem, seja por motivos ambientais ou razões econômicas acontece há muito mais tempo.

“Em 10 anos a indústria recicladora de PET brasileira superou países desenvolvidos e em desenvolvimento. Isso acontece por que no Brasil temos uma feliz união entre as razões econômico-financeiras e sócio-ambientais, já que a reciclagem vem sendo uma importante atividade geradora de renda, é um bom negócio e aumenta a consciência ambiental da população”, afirma Hermes Contesini, coordenador de Comunicação da (5) Abipet.

Vantagens da Reciclagem do PET

A reciclagem é o resultado final de atividades intermediárias de coleta, separação e processamento, através das quais materiais pós-consumidos são usados como matéria-prima na manufatura de bens, antes produzidos como matéria-prima virgem. Segundo (6) Forlim e Farias (2005), estudos realizados com o PET (Politereftalato de Etileno), têm mostrado todas estas possibilidades, pois o PET é um poliéster 100% reciclável e um dos plásticos mais reciclados em todo o mundo devido a sua extensa gama de aplicações e são muitos os benefícios que se pode alcançar com a reciclagem de PET entre eles estão:

- Redução de volume de lixo nos lixões, aterros controlados e sanitários e, também a melhoria nos processos de decomposição de matérias orgânicas nos mesmos (o plástico impermeabiliza as camadas em decomposição, prejudicando a circulação de gases e líquidos).

- Economia de energia elétrica e petróleo, pois a maioria dos plásticos é derivada do petróleo e um quilo de plástico equivale a um litro de petróleo em energia.

- Geração de empregos (catadores, sucateiros, operários, etc.)

- O material não pode ser transformado em adubo; plásticos e derivados não podem ser utilizados como adubo, pois, não há bactéria na natureza capaz de degradar rapidamente o plástico.

Estudos para Utilização do PET na Engenharia

Estudos para utilização desses resíduos como matéria-prima tem sido adotado como solução para o problema em muitos países, e estudado por diversas áreas da engenharia, isto se mostra através de publicações como a de (7) Soncim et al (2006), sobre o emprego do resíduo da reciclagem de garrafas pet como agregado em reforço de subleitos de rodovias, da Universidade Vale do Rio Doce, entre outras pesquisas. A construção civil tem se constituído, nos últimos anos, como o mais importante mercado dentre todos os atendidos pela indústria plástica.

Considerando as questões abordadas e dada a relevância do problema, e as possíveis vantagens na utilização de agregados plásticos reciclados, é que este trabalho vem apresentar uma proposta de criação de um concreto para a fabricação de blocos para pavimentos, pesquisando a viabilidade de utilização dos resíduos de PET em forma de *flakes* como material alternativo, em substituição a uma matéria-prima não renovável na natureza – o seixo- minimizando sérios impactos ambientais

e esperando que desta forma o aproveitamento desse resíduo sólido venha representar uma alternativa econômica, diminuindo o risco à saúde pública e ao meio ambiente podendo assim lançar um novo olhar aos resíduos sólidos de PET gerados na cidade de Manaus e em outras cidades, um material que outrora fora considerado como lixo e que mediante pesquisa, pode se tornar um grande aliado na confecção de outros produtos, sendo utilizado como matéria-prima na indústria da construção civil.

Não foi realizado um estudo aprofundado, procurou-se realizar um apanhado geral objetivo dos métodos, e análises laboratoriais de identificação dos materiais envolvidos no processo, buscando valores satisfatórios em termos de resistência à compressão com dosagens nas proporções de 20%, 25%, 30% e 100% de *flakes* de PET na composição, em substituição ao seixo. Estes resultados foram comparados a especificações técnicas recomendadas pelas Normas Brasileiras (ABNT e DNIT).

2.0 MATERIAIS, MÉTODOS E ENSAIOS

No presente estudo, foram realizadas substituições em duas fases, a primeira fase nas proporções de 20%, 25% e 30% de PET em substituição ao agregado graúdo (seixo). Na segunda fase, substituindo-se a areia caracterizada como fina a média, por outra completamente fina, e proporções de 25%, 30% e 100% de PET; comparando-se os resultados com o obtido com um traço base experimental, conforme recomendações das Normas (8) NBR 9780 e (9) NBR 9781. Estas proporções em percentuais de substituição do agregado graúdo foram definidas a partir dos resultados do estudo de (3) Canelas e Susan (2005), bem como das várias dosagens realizadas no início deste trabalho buscando alcançar sempre a melhor trabalhabilidade da massa cimentícia em envolvimento aos agregados graúdos, seixo e *flakes* de PET.

Registro e documentação do material

A coleta de cada material se deu em um único local para evitar diferenças quando na avaliação e comparação dos resultados. Todo o material natural foi fornecido em lotes, em unidades parciais de transportes individuais, lacradas e com identificação. Este foi seco ao ar livre, segundo recomendações da NBR 7211, inclusive tendo o cuidado de espalhá-los e quarteá-los. O cimento utilizado na fabricação do concreto foi o CPI-32 Z, os agregados utilizados na mistura do concreto foram adquiridos em Manaus no Amazonas, sendo originados de depósitos sedimentares, que se formam nos leitos dos rios; a areia proveniente do município de Manacapuru e o seixo rolado entre Manacapuru e Novo Ayrão, ambos municípios do estado do Amazonas. O PET em flocos foi fornecido pela indústria LM da Amazônia, a partir de garrafas em granulometria semelhante a do seixo, uma vez que se pretende substituir parcialmente o agregado graúdo.

Ensaio realizados

Foram realizados ensaios de caracterização e propriedade físicas de cada material (areia, seixo e PET), segundo prescrição das Normas Técnicas Brasileira, tais como: ensaio de granulometria (10) NBR 5734 e (11) NBR 7217; Agregados para Concreto, com determinação do Módulo de Finura, Diâmetro máximo, Peso Unitário do agregado úmido, (12) NBR 7211; Peso Unitário do Agregado Seco em

estado solto (13) NBR 7251; Peso Específico Real, e Determinação da Consistência do Concreto pelo Abatimento do Tronco de Cone. Também foram realizados os ensaios quanto a Resistência à Compressão após moldagem dos corpos de prova que foram guardados em câmara úmida e submetidos ao ensaio após 3 (três), 7 (sete) e 28 (vinte e oito) dias.

3.0 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos para os ensaios definidos na metodologia.

1º Fase – Percentuais de substituição de 20%,25% e 30% e areia média.

Dados obtidos com a Análise Granulométrica:

Agregado graúdo - Seixo:

MF = Módulo de Finura. De acordo com a NBR 7211= **MF= 5.86**

De acordo com NBR 7211 o agregado graúdo, seixo, possui diâmetro máximo de 19mm .

Agregado graúdo – PET:

Tabela 1. Composição Granulométrica

Peneiras (mm)	Material Retido (g)	Material Retido %	Mat. Acumulado %
#4,16	70,5	70,5	70,5
#2,38	260	26,0	96,5
#1,19	30	3,0	99,5
#0,59	----	----	99,5
#0,287	----	----	99,5
#0,148	----	----	99,5
Fundo	----	----	100,0

MF = Módulo de Finura. De acordo com a NBR 7211= **MF = 5,65**

De acordo NBR 7211 o agregado graúdo PET possui diâmetro máximo de 9,5mm
Peso Unitário do agregado seco em estado solto, segundo NBR 7251, é o quociente da massa do agregado lançado no recipiente e o volume do recipiente em forma paralelepípedo, dado em Kg/dm³: para o PET foi de 0,645Kg/dm³

Peso Específico Real= 1,25 kg/dm³.



Figura 1- Amostra de Pet.



Figura 2- Ensaio de Granulometria.

Tabela 2. Composição Granulométrica

Peneiras (mm)	Material Retido(g)	Mat. Retido %	Mat. Acumulado %
# 4,16	5	----	----
#2,38	8	1	1
#1,19	46	5	57
#0,59	514	51	80
#0,287	228	23	96
#0,148	157	16	100
Fundo	42	4	----

MF = Módulo de Finura. De acordo com a NBR 7211= **MF = 2,4**

De acordo com a NBR 7211 o diâmetro máximo da areia média é 2,4mm.

Peso Unitário do agregado seco em estado solto, segundo NBR 7251, para este caso o valor obtido é de 1,67Kg/dm³.

Peso Específico Real ou Densidade = Peso / Volume = 2,67Kg/dm³.

Traço obtido para produção do concreto.

Adotou-se um desvio padrão segundo (14)Petrucchi(1976):

Desvio padrão = 55 (Sdj)

K = 190

Utilizando-se o método (15) Campiteli (2004), para as características dos agregados, o traço unitário de referência foi 1:1,25:3,77:0,41,(cimento:areia:seixo:água).

Durante a execução do traço percebeu-se que **não** havia consistência e trabalhabilidade da mistura, logo se tornou necessária a correção do traço, passando a ser 1:1,87:2,58:0,41.

Traço unitário de Referência = Traço I = 5:9,35:12,54:123litros de água(para 5Kg de cimento).

Abatimento do tronco cone = 5cm

Traço II = 5:9,35:11,76:1,54

Abatimento do tronco de cone = 3cm

Traço III = 5:9,35:10,99:1,84

Abatimento do tronco de cone = 2cm.

M = 5,03(massa da composição)

A = 25% (percentual de areia)

S = 75% (percentual de seixo)

Teor de Argamassa Ta = 37,31%

Teor de água/materiais secos Ta/m = 6,63%

O traço foi confeccionado pretendendo-se a obtenção de um slump de 5cm, porém ao executar esse ensaio, observou-se que o concreto não apresentava trabalhabilidade e consistência, fornecendo um slump abaixo de 2cm. Optou-se então, fazer correções no traço constituinte, ficando o traço com as seguintes características:

Traço Unitário de Referência Corrigido = 1:1,87:3,14:0,52

M = 5,01

A = 37,33%

S = 62,67%

Teor de Argamassa Ta = 47,75%

Teor de água/material seco Ta/m = 8,65%

Consumo de Cimento após as correções:

CC = 364,96 Kg/m³

Durante a confecção do concreto observou-se através do Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone que o mesmo apresentava trabalhabilidade e consistência satisfatória fornecendo ao concreto o Slump pretendido.

Traço final:

Traço de Referência = 1:1,87:3,14,0.52

Para 20% de PET = 1:1,87:2,51 de seixo e 0,63 de PET

Para 25% de PET = 1: 1,87:2,35 de seixo e 0,79 de PET

Para 30% de PET = 1: 1,87 : 2,20 de seixo e 0,94 de PET

Assim com estes traços moldou-se os corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de compressão aos 3 (três), 7 (sete) e 28 (vinte e oito) dias, após deixá-los em câmara úmida durante todo este período.

NOVO EXPERIMENTO

2º Fase – Percentuais de substituição de 25%, 30% e 100%.

Como os resultados obtidos não foram satisfatórios, resolveu-se trabalhar com uma areia mais fina, vinda do leito do Rio Negro nas proximidades do município de Manacapuru, com módulo de finura igual a 1,2 no entanto o seixo rolado e o PET permaneceram inalterados com a mesma proveniência e os mesmos índices físicos já descritos anteriormente. Modificou-se também o percentual de substituição do seixo em relação ao PET, que foi para 25%,30% e 100%, traduzindo nas seguintes novas composições:

SEIXO:

Módulo de Finura = MF= 5,8

Diâmetro Máximo = 19mm

PET:

MF = 5,65

Peso Unitário do agregado seco em estado solto, de acordo com a NBR 7251, é 0,645Kg/dm³

Peso Específico Real ou Densidade = 1,25 kg/dm³.

AREIA:

MF 1,2.

O Diâmetro Máximo é de 0,6mm.

Peso Unitário do agregado seco em estado solto, de acordo com a NBR 7251, é 1,45Kg/dm³

Peso Específico Real ou Densidade = 2,617g/dm³.

Novo traço confeccionado a partir destes dados: (figuras3,figura4 e figura5)

Traço final do novo experimento usando areia fina e percentuais de 25%,30% e 100%:

Traço de Referência = 1:1,29:2,29:0,42 (cimento:areia:seixo:água)

Para 25% de PET = 1:1,29:1,71:1,209:0,42 (cimento:areia:seixo:PET:água)

Abatimento (slump) obtido=0,7cm

Para 30% de PET = 1: 1,29: 1,605:0,24:0,42 (cimento:areia:seixo:PET:água)

Abatimento (slump) obtido=0,4cm

Para 100% de PET = 1: 1,29: 2,29: 0,42 (cimento: areia: PET)

Abatimento (slump) obtido=1,0cm (foto 2)



Figura 3- Traço com pet executado em Betoneira.



Figura 4- Abatimento do tronco de cone.



Figura 5- Verificação da trabalhabilidade e teor de água.

Da mesma forma que o procedimento anterior, com estes traços foram moldados corpos de prova, os quais foram submetidos a ensaios à compressão que foram rompidos aos 3 (três), 7 (sete) e 28 (vinte e oito) dias, (fig.6 e 7), após deixá-los em câmara úmida durante todo este período.



Figura 6- Corpo de prova seccionado



Figura 7- Ensaio de resistência à compressão

Resultados dos ensaios de Resistência à compressão.

Após a realização dos ensaios físicos de cada material o cálculo da dosagem pelo método (15) Campiteli (2004), e os ensaios mecânicos de resistência à compressão, foram obtidos os resultados mostrados na tabela 3. Dos resultados obtidos, observa-se que a melhor possibilidade de utilização é o percentual de substituição de 25% (vinte e cinco por cento), devido não ter apresentado perdas significativas na trabalhabilidade e nas resistências a compressão, que comparado ao traço de referência teve o valor mais próximo, muito embora não tenha chegado a resistência desejada para pavimentação.

Tabela3. Comparação entre as resistências aos 28 dias.

1º Experimento (Areia média e proporções de 20%, 25% e 30% de pet)

Traços	Resistência Média a compressão aos 28 dias
De Referencia	34,71 mpa
Pet 20%	22,87 mpa
Pet 25%	23,05 mpa
Pet 30%	20,62 mpa

2º Experimento (Areia Fina e proporções de 25%, 30% e 100% de pet)

Traços	Resistência Média a Compressão aos 28 dias
De Referencia	29,92% mpa
Pet 25%	22,36% mpa
Pet 30%	17,29% mpa
Pet 100%	16,12% mpa

4.0 CONCLUSÃO

Desta forma ainda que este estudo não tenha sido totalmente completo, o qual necessita de ensaios químicos para analisar suas propriedades ao longo do tempo, 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 seixo, um recurso natural cuja extração tem causado grandes danos ao ecossistema dos rios e suas margens.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, autor de toda criação, que criou e formou a cada um de nós, nos dando a oportunidade de criarmos algo através do que Ele nos deu, a inteligência.

Aos nossos familiares por sua compreensão nos momentos de nossas ausências.

Aos professores orientadores do nosso trabalho professor Raimundo Vasconcelos, Nilton Campelo e Raimundo Kenedy.

Aos laboratoristas do laboratório de Ensaio de Materiais da UFAM pela paciência em se disponibilizarem a nos ajudar apesar dos nossos mais variados horários de ensaio.

REFERÊNCIAS

Artigo

1. FORMIGONI, Alexandre. Reciclagem de PET. *1st International Workshop Advances in Cleaner Production*, São Paulo, Universidade Paulista, 2007. Disponível em: ipdacamp@uol.com.br.

2. SICHIERI, Eduvaldo Paulo. Materiais de Construção III (Polímeros na Arquitetura e na Construção Civil et al. São Carlos, 2005.

3. CANELLAS & SUSAN SALES (2005). Publicação de Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Livro

4. BAUER, Luiz Alfredo Falcão, Materiais de Construção – 4.ed. – Rio de Janeiro, 1992.

5. ABIPET - Associação Brasileira da Indústria do PET, ABIPET. Notícias. Disponível em: [HTTP://www.abipet.com.br](http://www.abipet.com.br).

Tese:

6. FORLIM, F.J. ; FARIAS, J. S. **Considerações sobre Reciclagem de Embalagens Plásticas**, 2007, Departamento de Tecnologia de Alimentos. FEA/UNICAMP/SP.

7. SONCIM, S.P.; ATHAIDE JR., GILSON; FERRARI, M.J.; ALMEIDA, M.O., **O emprego do Resíduo de Reciclagem de garrafas PET (Polietileno Tereftalato) como agregado em reforço de subleitos de rodovias**, 2007, Faculdade de Engenharia, Universidade Vale do Rio Doce.

Normas Técnicas

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Comissão de Estudo de Documentação. Normas Brasileiras em Documentação. Rio de Janeiro: Atual, NBR9780.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Comissão de Estudo de Documentação. NBR9781.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Comissão de Estudo de Documentação. NBR5734.
 11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Comissão de Estudo de Documentação. NBR7217.
 12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Comissão de Estudo de Documentação. NBR7211.
 13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Comissão de Estudo de Documentação. NBR7251.
- Livro**
14. PETRUCCI, E.G. R., Materiais de Construção , 1976.
 15. CAMPITELI, V.C., Concreto de Cimento Portland: um método de dosagem. 2004.

THE USE OF PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) SOLID RESIDUE IN STRUCTURAL CONCRETE BLOCKS MANUFACTURE FOR RIGID PAVEMENTS

ABSTRACT.

The industry of the civil construction, is one of the generating greater of residues, and consumes great amounts of natural resources, had to this, a great number of studies for substitution of natural goods did not renew is being carried through in this sector, uniting material alternative conventional. Of these research, it is distinguished those with used packing's of politereftalato of ethylene (PET), which has had in recent years a considerable growth in the composition of the urban garbage. This work aims at a new perspective of use of this material, considering the partial substitution of the rolled pebble, for granular material in gotten flocos of bottles of PET, with the objective to produce blocks of structural concrete for rigid floors. For in such a way, the characterizations of the materials had been made, using the norms of the ABNT. The dosages had been gotten through the Campiteli method (2004), having the results of the assays of reached compressive strength of the order of 23 mpa. In this way, the use of the gotten residue of bottles of PET as added for production of "pavers" is presented as promising.

Keywords: Concrete, Concrete Blocks, PET, Recycling, Waste.