

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR POLIURETANO PÓS-CONSUMIDA NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Salma Seleme Mariano, amicitates@hotmail.com¹

Thais H.Sydenstricker Flores-Sahagun, tsydenstricker@gmail.com¹

Gilberto Walter Gogola, gilberto@utfpr.edu.br²

¹Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19011 CEP 81.531-990, Curitiba, PR

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3156, Curitiba, PR.

RESUMO - Neste trabalho, espumas rígidas de PU pós-consumidas foram utilizadas na composição de concretos como alternativa de reintroduzir este material na cadeia produtiva com vantagens sociais, ambientais e econômicas. Espumas rígidas de PU usadas em isolamento térmico foram moídas e acondicionadas para substituir diferentes porcentagens de areia na composição de concretos. Três traços piloto para os concretos com resistência à compressão de 20 MPa, 30 MPa e 40 MPa foram identificados como A, B e C respectivamente, sendo calculado a quantidade de areia, pedra brita, água, e cimento para a composição de cada traço. Em seguida, os mesmos traços foram preparados com a substituição de areia por espuma rígida de PU nas porcentagens de 75%, 50% e 25%. Corpos-de-prova cilíndricos foram avaliados através de ensaios de resistência à compressão, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade, absorção de água máxima e índice de vazios no seu estado endurecido. No estado fresco os concretos foram avaliados pelo ensaio de abatimento do tronco de cone para verificação de sua consistência. Apesar da perda da morfologia original da espuma de PU após a moagem, observado por microscopia eletrônica, os resultados permitem concluir que é possível utilizar parcialmente a substituição da areia pela espuma rígida de PU moída em concretos de cimento Portland.

Palavras - chave: espuma rígida de poliuretano (PU); concretos; areia; substituição

1. INTRODUÇÃO

A espuma rígida de poliuretano (PU) é um excelente material para isolamento térmico (Kossaka, 2002; Oertel, 1985; Sato, 1998; Vilar, 2002), apesar de o polímero constituir um grande passivo ambiental após o seu descarte. O setor de refrigeração utiliza em grande escala a espuma rígida de PU para o isolamento térmico de congeladores, refrigeradores e outros sistemas térmicos. As empresas que o fabricam são responsáveis por seu descarte final em aterros especiais já que a legislação proíbe sua incineração ou descarte aleatório devido à sua toxidez. A utilização de espuma de PU pós-consumida no concreto dá melhor destinação final para este resíduo tóxico (Grijó, Baasch, 2003; Lima, 2003; Siqueira, Stramari, Folgueiras, 2004). A areia usada em concretos é uma matéria-prima de fonte não renovável cuja extração causa impactos ambientais (Brandt, 1998; John, 2000). Existem restrições legais impostas à extração de agregados miúdos naturais porque ela colabora com a degradação ambiental, e tem-se procurado pelo meio técnico, alternativas para substituir os agregados miúdos naturais. Com a escassez da areia próxima aos grandes centros, e com distâncias cada vez mais longas para sua extração, o custo da areia é muito alto. A espuma rígida de PU, proveniente de geladeiras e congeladores, é um rejeito industrial e representa um grande passivo ambiental, e, quem a fabrica é obrigado pela legislação a dispor este material em aterros especiais, por causa de sua toxicidade. Assim, dar um destino final às espumas de PU, além de ser uma solução econômica, é também uma ajuda a questão ambiental.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as propriedades e o comportamento mecânico do concreto estrutural, com substituição parcial do agregado miúdo areia pela espuma rígida pós-consumida de poliuretano proveniente de descartes de refrigeradores e congeladores. Os objetivos específicos foram: estudar as características físicas dos agregados utilizados; estudar as propriedades e parâmetros da composição do concreto estrutural com a substituição da areia pela espuma rígida pós-consumida de poliuretano; avaliar a relação entre as características físicas e mecânicas do concreto produzido com e sem a substituição da areia pela espuma rígida pós-consumida de poliuretano; avaliar a viabilidade econômica da substituição da areia pelo espuma rígida de PU pós-consumida.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O método de pesquisa para o desenvolvimento deste trabalho teve seu ponto principal a determinação do traço piloto, onde se tem a dosagem dos materiais necessários para elaboração do concreto e posterior substituição da areia pela espuma rígida de poliuretano pós-consumido.

Para elaboração do concreto são utilizados agregados graúdos, miúdos, aglomerante e água. Como aglomerante foi utilizado o cimento Portland CII-Z 32, como agregado graúdo foi usada brita 1 com diâmetro máximo 19 mm e como agregado miúdo utilizou-se areia natural lavada com partículas menores que 4,8 mm, bem como espuma rígida de PU moída. Estas espumas foram provenientes de isolamento térmico de refrigeradores, doadas pela Electrolux S.A e moídas em moinho de facas.

A dosagem dos traços pilotos A(20MPa), B(30MPa) e C(40MPa) ou foi determinada segundo o método ABCP, o abatimento adotado foi de 60 ± 10 mm e a Tab. (1) mostra o consumo de materiais empregados nos concretos. Utilizando o mesmo traço determinado para cada traço piloto, o volume de areia foi substituído pelo volume de espuma rígida de PU expandido moído, nas porcentagens de 25%, 50% e 75%.

Tabela 1 - Consumo de material por m³ de concreto

Traço	Cimento	Areia	Brita	Água
	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(L)
A	294,6	948,4	951,3	195
B	375,0	877,7	951,3	195
C	469,9	796,5	951,3	195

O concreto foi testado pelo ensaio de abatimento do tronco de cone no estado fresco e no estado endurecido segundo normas da NBRNM 67 (ABNT, 1998), pelos ensaios de resistência à compressão segundo a norma NBR 5739 (ABNT, 2007), resistência à tração segundo a norma NBR 7222 (ABNT, 1994), módulo de elasticidade segundo a norma NBR 8522 (ABNT, 2008-a), índice de vazios e absorção de água segundo a norma NBR 9778 (ABNT, 2005). Corpos de prova cilíndricos foram preparados, segundo NBR5738 (ABNT, 2008), para cada traço para ensaios de resistência à compressão com as dimensões de 10 x 20cm para ensaios em 7, 28 e 91 dias, corpos de prova com dimensões de 15 x 30cm foram preparados para testes de tração por compressão diametral, absorção por imersão e índice de vazios e corpos de prova com dimensões de 10 x 20cm foram preparados para testes de módulo de elasticidade em 28 dias.

Amostras de PU foram previamente recobertas com uma fina camada de ouro por deposição com um equipamento BALTEC para análise por microscópio eletrônico de varredura (MEV), PHILIPS XL 30, utilizando feixe de elétrons com potência de 15KV.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura (1) mostra micrografias de MEV da espuma antes e após a moagem, enquanto a Fig. (2) mostra o histograma de tamanho de partículas do PU moído.

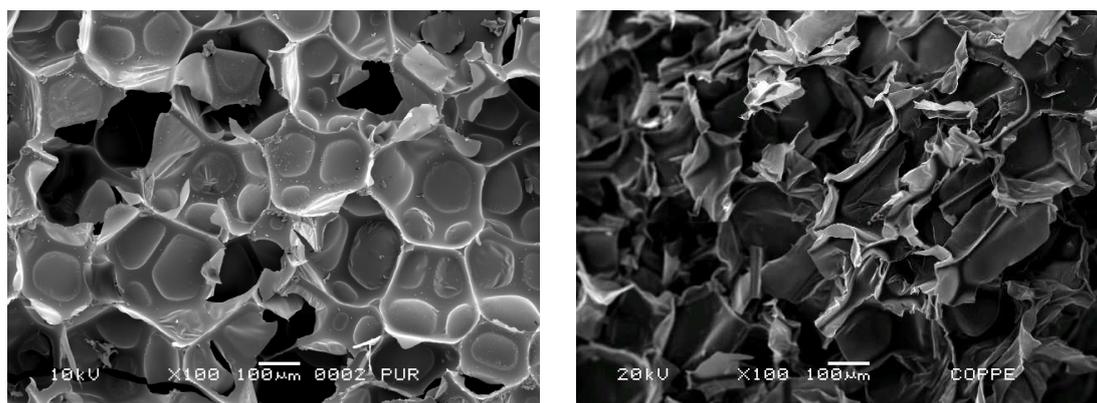


Figura 1 – Micrografias da espuma de PU antes e após a moagem

Na Fig. (1) é possível observar os poros bem definidos com estrutura hexagonal da espuma rígida de PU antes da moagem. A espuma rígida de PU moída perde sua morfologia original após a moagem ficando constituída por filmes finos aglomerados de poliuretano.

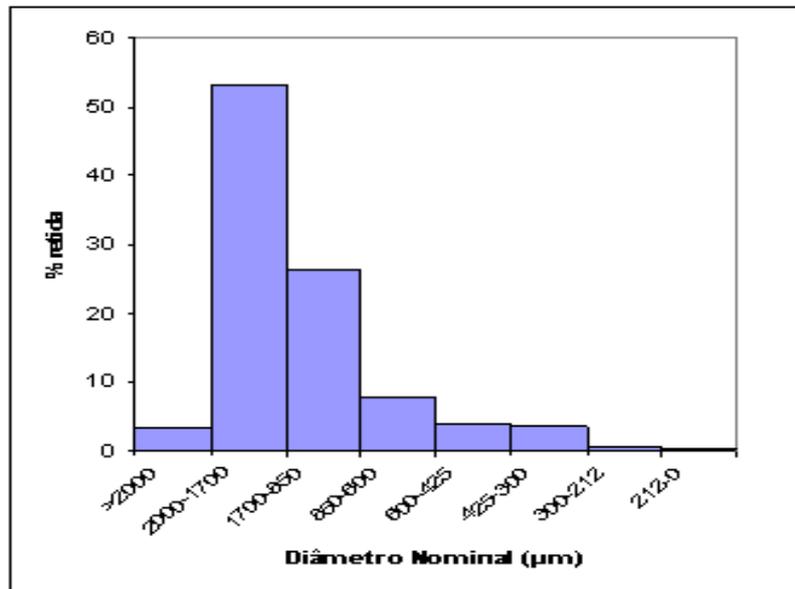


Figura 2 – Histograma de frequências do PU rígido moído

Observa-se que 53,4% das espumas moídas apresentaram granulometria entre 1,7 e 2,0mm, e 23,4% estiveram na faixa de 1,7mm a 850µm.

O método utilizado para determinar a consistência do concreto foi o ensaio de abatimento Cone de Abrams. A maior parte das misturas atingiram o slump desejado de 60 ± 10 mm (Fig. (3)) pois a água foi controlada na execução da mistura na betoneira. O concreto apresentou homogeneidade e coesão, havendo um completo envolvimento dos agregados pela pasta. No traço A-75% o slump ficou fora do estabelecido pois como o consumo de cimento no traço A é menor que no traço B e C, o concreto ficou muito plástico devido ao fator água/cimento. Considerando que a substituição de areia por PU é de 75% e que o PU absorve pouca água, isto resultou em um alto valor de abatimento.

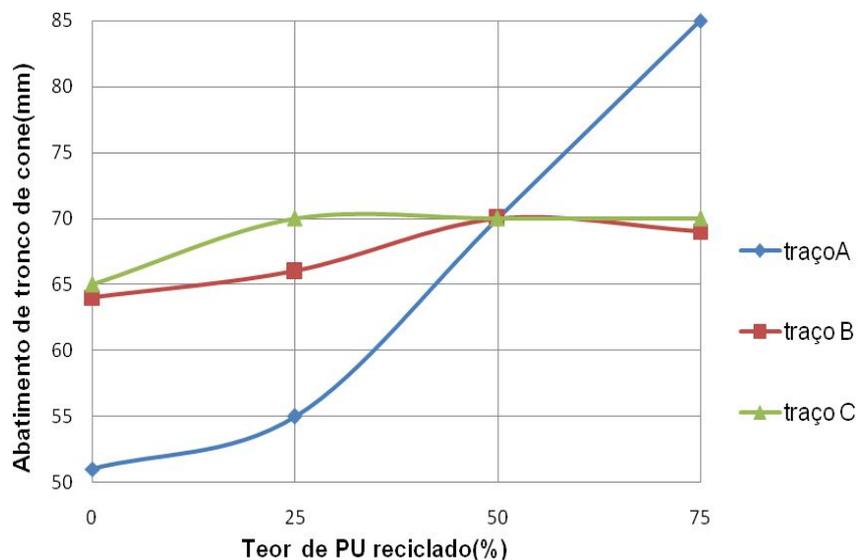


Figura 3 – Abatimento do tronco do cone

A Tab. (2) mostra a resistência à compressão dos traços A,B e C com a idade do concreto para 7, 28 e 91 dias. As resistências à compressão aumentaram significativamente a cada idade, de acordo com cada traço de concreto previamente estipulado. As resistências para cada classe de concreto diminuiu na medida em que houve aumento de substituição da areia pelo PU.

Tabela 2 - Resistência à compressão

% de PU Aplicado	Rompimento (dias)	Resistência à Compressão (MPa)		
		Traço A	Traço B	Traço C
0%(PU)	7	23,4	25,2	23,8
	28	27,0	31,2	36,5
	91	32,4	36,9	39,4
25%(PU)	7	16,7	21,0	24,5
	28	23,5	32,1	37,4
	91	27,1	35,5	41,3
50%(PU)	7	11,9	20,1	19,2
	28	17,1	26,0	26,5
	91	18,6	33,9	33,9
75%(PU)	7	7,4	13,8	14,4
	28	10,9	19,3	21,1
	91	12,7	22,9	29,0

Com os dados da Tab. (2) foi elaborado o gráfico apresentado na Fig. (4).

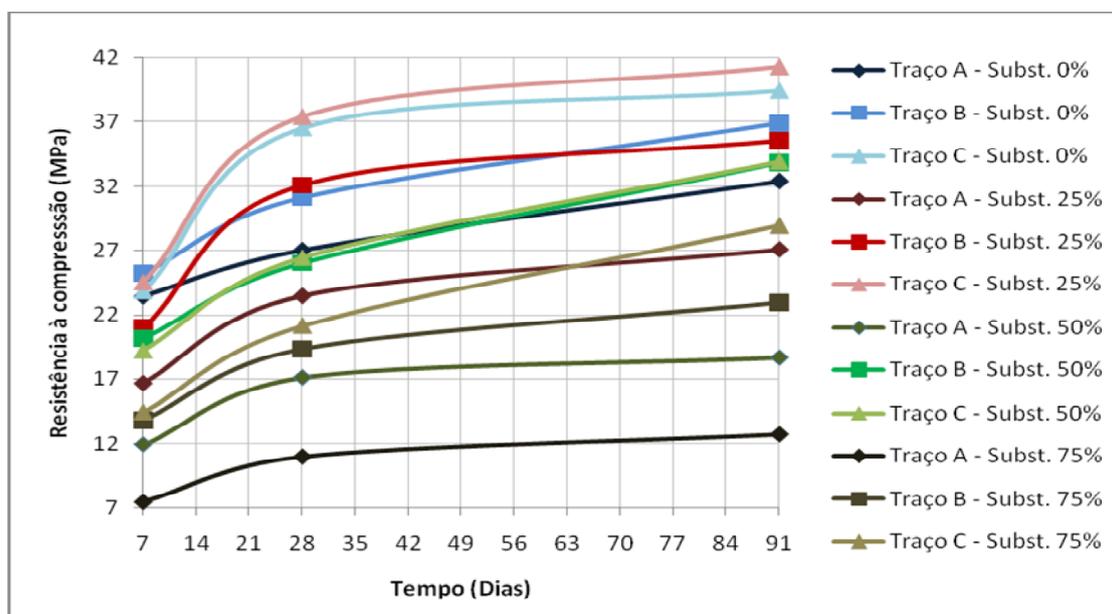


Figura 4 – Resistência à compressão(MPa) x tempo(dias)

Através da análise do gráfico da Fig. (4), observa-se que a evolução da resistência do concreto ao longo do tempo não se alterou significativamente nos concretos gerados com espuma rígida de PU. Na prática, é mais interessante que uma estrutura de concreto possa ser desenformada em menos tempo, ou seja, em até 28 dias, que é o tempo para que o concreto atinja a resistência de projeto. No entanto, pode ser economicamente vantajoso utilizar concretos com maiores teores de espuma de PU uma vez que em 91 dias a resistência desejada é obtida.

Pode-se afirmar que, quanto maior a resistência à compressão axial desejada, melhores foram os resultados encontrados com os traços onde se utilizou a substituição da areia pela espuma rígida de PU.

Nas adições de 25% de PU os concretos testados tiveram seu melhor resultado em relação à compressão axial, sendo que o traço A-25% chegou a 87% do valor atingido no traço piloto A em 28 dias. Nos traços B-25% e C-25% o valor atingido aos 28 dias superou o traço piloto em 3%. Portanto, com um eficiente controle de produção, é possível produzir concretos com resistência estrutural, e, dependendo do traço utilizado, os concretos produzidos com PU atingirão resistência maior que concretos produzidos com agregados naturais.

Os concretos obtiveram resistência à tração por compressão diametral conforme Tab. (3).

Tabela 3 – Dados de resistência à tração por compressão diametral e axial dos concretos

% mistura	Resistência à Tração por Compressão diametral (Rt)			Resistência à compressão axial (Rc)			Relação Rc / Rt		
	Traço			Traço			Traço		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	4,40	3,90	4,00	27,05	31,16	36,52	6,15	7,99	9,13
25	2,63	3,35	3,96	23,48	32,10	37,40	8,93	9,58	9,44
50	2,20	2,75	3,13	17,10	26,03	26,45	7,77	9,47	8,45
75	1,50	2,03	3,13	10,94	19,30	21,15	7,29	9,51	6,76

Observando os dados da Tab. (3), é possível perceber que todas as composições com espuma rígida de PU apresentaram resultados de tração por compressão diametral inferior aos respectivos traços piloto. Nos concretos com maior consumo de cimento, os teores de PU alteram em menor intensidade o comportamento da queda de resistência à tração. Para todos os traços, à medida que se aumenta a substituição da areia por PU, a resistência à tração por compressão diametral diminui. Na medida em que se tem um concreto mais resistente, tem-se resistência à tração por compressão diametral menor, o que era esperado. Devemos ressaltar que, nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, todos os traços, analisando cada traço individualmente, alcançaram valores já consagrados na relação resistência à compressão axial pela resistência por compressão diametral, que é de 1/10.

Em relação aos traços piloto A, B e C, é possível visualizar que quanto maior foi a resistência desejada, menor foi a resistência a tração. Este comportamento pode ser relacionado à quantidade de cimento na mistura, pois o cimento é o material que de maior rigidez na mistura e dá resistência ao concreto.

Estudando a Tab. (3) relacionada aos traços piloto A, B e C e suas substituições de areia por espuma rígida de PU, pode-se concluir que quanto maior quantidade de PU no traço, menor será a resistência à tração.

Os valores encontrados nos ensaios de absorção de água e índice de vazios estão apresentados na Tab. (4).

Tabela 4 - Absorção d'água e índice de vazios dos concretos preparados

Mistura %	Absorção de água (%)			Índice de vazios (%)		
	Traço			Traço		
	A	B	C	A	B	C
0	5,15	3,79	4,38	12,04	9,18	8,6
25	5,95	6,66	6,16	13,96	14,8	18,78
50	6,74	4,12	5,99	15,54	9,56	13,78
75	9,31	7,06	4,79	19,6	15,56	11,18

Quando se relaciona índice de vazios e absorção de água máxima para os traços A, B e C (Tab. (4)), percebe-se que quanto maior a resistência do concreto, menor será o índice de vazios, e, a absorção de água.

Estudando a Tab. (4), pode-se observar que quanto maior a porcentagem de substituição da areia pela espuma rígida de PU para os traços A, maior foi índice de vazios e maior foi a absorção de água. Apesar da perda da estrutura porosa da espuma após a moagem, o poliuretano na forma de filme é também um material pouco denso, o que justifica o aumento do índice de vazios e absorção de água. É importante salientar, no entanto, que o poliuretano não tem afinidade pela água. Se pode observar, também, que quanto maior a porcentagem de substituição da areia pela espuma rígida de PU para os traços B-25%, B-50% e B-75%, e, C-25%, C-50% e C-75%, em relação ao traço piloto B, e, C, maior será o índice de vazios e maior será a absorção de água. Neste ensaio é possível afirmar que o índice de vazios aumentou com a substituição do PU ao concreto, o que é era esperado, pois apesar de a espuma rígida de PU moída não ser porosa, ela é formada por filmes finos de poliuretano e é pouco densa.

No Traço A os valores de absorção aumentaram com o aumento do teor de substituição de PU. No traço B não se identifica um comportamento que possibilite uma conclusão. No Traço C os valores indicam que para 25% de substituição de PU, os resultados de absorção atingiram os máximos valores.

Para o módulo de elasticidade foram analisados os seguintes fatores influentes como: diferentes relações água/cimento, diferentes consistências do concreto fresco, diferentes volumes de pasta por metro cúbico de concreto, diferentes resistências à compressão e diferentes teores de agregado. Os resultados obtidos para a resistência à compressão e o módulo de elasticidade estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos concretos preparados

Traço	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à compressão simples (MPa)
A-00	34,6	30,3
B-00	32,9	32,0
C-00	35,4	40,6
A-25	21,4	22,1
B-25	25,1	29,8
C-25	32,9	38,6
A-50	18,9	13,6
B-50	28,4	30,6
C-50	24,8	27,4

Analisando a Tab. (5), pode-se afirmar que concreto de maior resistência à compressão também será o de maior módulo de elasticidade. Comparando o traço piloto A com os traços A-25% e A-50%, pode-se afirmar que quanto maior o teor de substituição da areia pela espuma rígida de PU, menor será o módulo de elasticidade e, conseqüentemente, será menor a resistência à compressão. Nos traços B e C, o módulo de elasticidade diminuiu à medida em que se aumentou o teor de substituição de areia pela espuma rígida de PU, mas em proporção menor que no traço A. Com a substituição de 25% da areia pelo PU pós-consumido os valores se aproximam. Os valores dos ensaios do módulo de elasticidade diminuíram na medida em que foram aumentadas as porcentagens de substituição da areia pela espuma rígida de PU.

O módulo de elasticidade avalia a resistência do material à deformação elástica, que é uma medida da sua rigidez e materiais com baixo módulo deformam muito elasticamente quando sujeitos a solicitações mecânicas. Apesar do agregado e a pasta apresentarem comportamento elástico, o mesmo não acontece com o concreto, pois ele apresenta microfissuras antes do carregamento que ficam localizadas na zona de transição (pasta-agregado) afetando o módulo de elasticidade. Os valores obtidos neste ensaio ficaram dentro do esperado.

A Tab. (6) refere-se ao estudo simplificado da viabilidade financeira do uso da espuma rígida de PU em concretos para a substituição de 25% da areia pela espuma rígida de PU, onde foi considerado preço da areia por m³, custo do transporte, disposição e moagem da espuma rígida de PU.

Tabela 6- Análise financeira simplificada para concretos com 25% de espuma de PU

Material	Item	Descrição	Traço A	Traço B	Traço C
AREIA	a	Volume de areia para 1 m ³ de concreto	0,362	0,335	0,304
	b	Volume de areia substituído (25%)	0,091	0,084	0,076
	c	Custo areia por m ³ (R\$)	52,00	52,00	52,00
	d	Custo da areia substituída(R\$)	4,71	4,36	3,95
PU	e	Volume de PU para 1 m ³ de concreto	0,091	0,084	0,076
	f	Custo transporte e disposição do PU por m ³ (R\$)	13,50	13,50	13,50
	g	Custo transporte e disposição(R\$)	1,22	1,13	1,03
	h	Custo moagem do PU por m ³ (R\$)	0,10	0,10	0,10
	i	Custo de moagem(R\$)	0,01	0,01	0,01
TOTAL ECONOMIZADO NO PROCESSO (d + g - i)			5,92	5,48	4,97
TOTAL ECONOMIZADO PELA INDÚSTRIA POR m ³ DE PU (f - h)				R\$ 13,40	

Com os dados da Tab. (6), para elaboração do concreto com 25% de espuma rígida de PU economiza-se 25% de areia natural (b) quando substituída pela espuma rígida de PU pós-consumida (e). Para a avaliação econômica deve ser considerado o custo da areia substituída (d), o custo de transporte e disposição do mesmo volume de PU (g), além custo de moagem deste volume de espuma rígida de PU (i).

O custo de areia por m³ foi fornecido pela empresa J A Gai Comércio e Extração de Areia (c). O custo de transporte e disposição do resíduo de PU (f) foi fornecido pela empresa Electrolux do Brasil. O custo de moagem do PU por m³ (h)

foi considerado igual ao custo de moagem de cerâmica, disponível no site da empresa Manfredini e Schianchi (2009), sendo calculado por:

$$\begin{aligned} &\text{Considerando que o PU tem } 40 \text{ kg / m}^3, \text{ terá } 25 \text{ m}^3 / \text{ t} \\ &(h) = 0,08 \text{ euros/t} \times \text{R\$ } 3,06 \text{ (cambio do dia 15/02/2009)} \times 25 \text{ m}^3 / \text{ t} \\ &(h) = \text{R\$}0,10 / \text{ m}^3 \end{aligned}$$

As demais linhas foram calculadas através de:

$$\begin{aligned} \text{Volume de areia substituído:} & \quad (b) = (a) \times 0,25 \\ \text{Custo da areia substituída:} & \quad (d) = (c) \times (b) \\ \text{Volume de PU para 1m}^3 \text{ de concreto:} & \quad (e) = (a) \\ \text{Custo de transporte e disposição:} & \quad (g) = (f) \times (e) \\ \text{Custo de moagem:} & \quad (i) = (h) \times (e) \\ \text{Total economizado no processo:} & \quad (d + g - i) \\ \text{Total economizado pela indústria por m}^3 \text{ de PU} & \quad (f - h) \end{aligned}$$

Na Tab. (6) pode-se verificar que o traço com maior o consumo de areia terá a maior economia dentro do processo de produção do concreto. Para a indústria que possui a espuma rígida de PU o total economizado será de R\$13,40 (treze reais e quarenta centavos) por m³ do material, pois ela não terá o gasto com transporte e aterro especial, devendo somente fazer a moagem. Assim, ao colocar o material a disposição do mercado, a empresa torna-se ecologicamente correta ao reutilizar espumas rígidas de PU e reduzir o consumo de areia.

4. CONCLUSÕES

Com os resultados apresentados neste estudo sobre o concreto com a substituição do agregado miúdo pela espuma rígida de PU pós-consumida podem ser estabelecidas as seguintes conclusões:

- A espuma rígida de PU, em substituição à mesma proporção do volume de areia na elaboração do concreto, alterou a trabalhabilidade da mistura somente no traço A-75%, sendo que os outros traços atingiram o slump de projeto 60±10 mm no ensaio de tronco de cone;
- As maiores perdas mecânicas do concreto com a substituição da areia por espuma rígida de PU foram verificadas na resistência à compressão;
- Os resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias, para o traço A, B e C, comparado com o teor de substituição de 75% da areia pela espuma rígida de PU, apresentaram resultados muito aquém quando comparados com o traço de referência. Nos ensaios com teor de 50% de substituição da areia pela espuma rígida de PU, os traços A, B e C obtiveram resistência à compressão aos 28 dias inferiores aos resultados do traço de referência. Para o teor de 25% de substituição da areia pela espuma rígida de PU, os ensaios resistência à compressão aos 28 dias foram ótimos, sendo que no traço B e C, os resultados ultrapassaram os valores de referência;
- Todas as composições de concreto onde foi usada a espuma rígida de PU apresentaram resultados de tração por compressão diametral inferior aos respectivos traços piloto;
- O índice de vazios e a absorção de água do concreto endurecido aumentaram com o aumento do teor da substituição da areia pela espuma rígida de poliuretano para os traços A, B e C, comparado com os traços de referência;
- Os valores dos ensaios do módulo de elasticidade diminuíram na medida em que foram aumentadas as porcentagens de substituição da areia pela espuma rígida de PU;
- A substituição de 25% da areia pela espuma rígida de PU pós-consumida é potencialmente viável gerando uma economia diferenciada para o processo de elaboração do concreto conforme o traço e economia para a indústria de R\$ 13,40 por m³ de espuma rígida de PU pós consumido;
- Os concretos pesquisados podem ser utilizados em alguma aplicação, tais como em residências térreas em elementos de vedação, em peças de pequena responsabilidade estrutural, desde que a resistência exigida (requerida) seja atendida e não haja solicitação ao desgaste. Também pode ser utilizado na indústria de artefatos de cimento e concreto nas mesmas condições de solicitações, em elementos construtivos auxiliares ou complementares como: meio fio, sarjetas, canais simples, bueiros, calçadas, blocos, elementos de decoração e adorno.

A espuma rígida pós-consumida de PU é um material que pode ser aproveitado no concreto. Sua utilização é desejável do ponto de vista ecológico, por aumentar a vida útil de um resíduo tóxico e substituir parcialmente a areia natural, um recurso limitado. É importante ressaltar, no entanto, que a utilização da espuma rígida de PU não resolve o problema ambiental ligado à exploração da areia, visto que sua produção anual é muito inferior ao consumo anual de areia. Assim, a utilização de PU em concretos reduz minimamente a exploração da areia, mas sua grande vantagem é dar um melhor destino às espumas de PU pós-consumidas, evitando a necessidade de se utilizar aterros especiais para o

seu descarte. Sua utilização é viável do ponto de vista técnico apresentado neste estudo, desde que os traços de concreto sejam bem dosados e tenham um bom controle tecnológico na sua produção.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Eduardo Fairbairn da UFRJ por sua contribuição na discussão deste trabalho e por nos enviar fotos de MEV, ao Curso Técnico de Petróleo da UFPR por nos fornecer a estagiária Magda Carvalho da Silva, à Eletrolux do Brasil S.A. por nos fornecer as espumas rígidas de PU, e, a engenheira Leila Seleme Mariano por ter acompanhado e auxiliado em todas as etapas deste estudo.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1998. “NBRNM 67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2008. “NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova”.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2007. “NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1994. “NBR 7222 - Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos”.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2008-a. “NBR 8522 - Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão”.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2005. “NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica”.
- BRANDT, W. 1998. “Avaliação de cenários em planos de fechamento de minas”. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (Eds.). Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, MG: UFV / DPS / Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p. 131-134.
- GRIJÓ, P.E.A., BAASCH, S.S.N. 2003. “Estudo para usos dos dejetos da indústria do surf”. Saneamento Ambiental, nº 100, p. 42-47.
- JOHN, V. M. 2000. “Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Uma Contribuição para Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento”. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo.
- KOSSAKA, J., 2002. “Método de reciclagem de espuma rígida de poliuretano de refrigeradores e congeladores de uso doméstico”. 66p., Projeto de Dissertação. UFPR, Curitiba.
- LIMA, A.J.M de, 2003. “Estudo da utilização poliuretano expandido reciclado como adição na produção de blocos de concreto”. 290p., Projeto de Dissertação. UFPR, Curitiba.
- OERTEL, G. 1985. “Polyurethane Handbook”, Hanser Publishers , P.234-324,NY.
- SATO, N, M, N. 1988. “Propriedades do poliestireno expandido, do poliestireno extrudado e da espuma de poliuretano para fins de isolamento térmica”. Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas ,IPT, São Paulo.
- SIQUEIRA, L.V.M., STRAMARI, M.R., FOLGUERAS,M.V. 2004.” Adição de poliuretano expandido para a confecção de blocos de concreto leve”. Revista Matéria, vol. 9, p. 399 – 410.
- VILAR, W. 2002. “Química e Tecnologia dos Poliuretanos”. 3 ed., Rio de Janeiro.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

EVALUTION OF THE EFFECT OF THE SUBSTITUTION OF SAND FOR POST-CONSUMED RIGID POLYURETHANE FOAMS IN THE PROPERTIES OF PORTLAND

Salma Seleme Mariano, amicitates@hotmail.com¹

Thais H.Sydenstricker Flores-Sahagun, tsydenstricker@gmail.com¹

Gilberto Walter Gogola, gilberto@utfpr.edu.br²

¹Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19011 CEP 81.531-990, Curitiba, PR

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3156, Curitiba, PR.

ABSTRACT - In this work rigid polyurethane foams were utilized in concretes compositions as an alternative to introduce again this material into the productive chain with social, environmental and economic advantages. Rigid post-consumed PU foams were ground and conditioned to substitute different percentages of sand in concrete compositions. Three standard concrete compositions with compression strengths of 20MPa, 30MPa and 40MPa were determined and identified as A,B and C respectively with the calculation of the amounts of brick stone, water and cement for each composition. Following, the same compositions were prepared with the substitution of sand for rigid PU foams in the percentages of 75%, 50% and 25%. Cylindrical specimens were evaluated in tests of compression strength tension in diametral compression, elasticity modulus, maximum water absorption and void index in their harden state. In the fresh state the concretes were evaluated through slump tests for consistency check. Although SEM results show that there is a loss in the PU foam original morphology after it is ground, it is possible to parcial substitute sand for rigid ground PU foams in concretes of Portland cement.

Key words: Rigid polyurethane foams, concretes, sand, substitution