

REUTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COM ENTULHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.

S. Gatti^{1,*}; R.G.S. Mussi¹

1- Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos – Professor Jessen Vidal
Av. Cesare Mansueto G. Lattes, 1350 – Eugênio de Melo – São José dos Campos/SP,
CEP 12247-014, Brasil. Telefone: (12) 3905-2423 – Fax: (12) 3905-4979

*eletricsarchock.bibly@hotmail.com

RESUMO: Como fonte de transformação de resíduos sólidos urbanos propôs-se um estudo que viabiliza a utilização de entulho e isopor juntos como elementos substituíveis ou mesmo incorporantes na monomassa padrão de concreto: cimento, areia e água. Para isso, os materiais foram submetidos à moagem, misturados em três diferentes proporções – resultando em três CDP's (corpos-de-prova) – e ensaiados segundo as normas NBR5738 e NBR5739 sob a configuração de compressão. A validação de seu emprego baseia-se em aplicações não estruturais já que sua capacidade apresentou-se 2/3 abaixo da monomassa padrão, sendo sugeridos para melhores performances novos estudos, proporções e inserção de aglutinante ao compósito. A aplicabilidade deste novo constituinte se estenderia, então, a projetos sem exigências estruturais, como: regularização de lajes, nivelamento de pisos, fabricação de lajetas e blocos vazados, paisagismo, dentre outros. O baixo peso adjunto a características isolantes do material otimizam seu emprego e vantagens na configuração da sociedade atual.

PALAVRAS-CHAVE: reciclagem, isopor, entulho, monomassa, civil.

ABSTRACT: How source of transformation of urban solid waste, study has been proposed that allows use of rubble and styrofoam together the substitutable or even incorporating elements in the standard concrete monomass: cement, sand and water. For this, the materials were submitted to grinding, mixed in three different proportions - resulting in three CDP's (proof bodies) - and tested according to standards NBR5738 and NBR5739 in compression. The validation of its use based on non-structural applications since its capacity was 2/3 below the standard monomass, and new studies, proportions and binder insertion are suggested for better performance of composite. The applicability of this new constituent would then extend to projects without structural requirements, such as: regularization of slabs, leveling of floors, fabrication of slabs and cast blocks, landscaping, etc. The low weight attached to the insulating characteristics of the material optimizes its use and advantages in configuration of the current society.

KEYWORDS: recycling, styrofoam, rubble, monomassa, civil.

1. INTRODUÇÃO

O poliestireno é uma resina termoplástica, sendo passível de moldagem e transformação quando submetida a altas temperaturas. Fabricado a partir do estireno define-se como um plástico derivado do petróleo, ao passo que sofrendo expansão transforma-se ao que se chama EPS [1].

Descoberto na Alemanha em 1949, o EPS é em plenitude, 100%, reciclável, todavia seu excessivo volume na contrapartida de seu peso constituinte torna-o, muitas vezes, economicamente inviável diante do processo de reaproveitamento, acarretando seu descarte inadequado e degradante ao meio ambiente. O isopor, constituído de 2% plástico e 98% ar, retrata em leveza e alta resistência a ser ideal na fabricação e no emprego de diversos itens como recipientes e

participantes de derivações industriais [1], onde sua confecção e seu modelamento em blocos tornam-se mais barato, rápido e ecologicamente correto se comparado à alvenaria convencional, podendo reduzir, inclusive, em 75% a demanda de água do processo [2].

Os entulhos, por sua vez desperdiçam bilhões de reais por ano, já que 60% dos lixos sólidos das cidades brasileiras provêm da construção civil [3]. A esse número referem-se reformas residenciais somadas a construções de grande porte, onde os resíduos gerados podem ser concretos, argamassas, alvenarias, restos de madeiras, metal, plástico, papelão, gesso, tintas, solventes, óleos e outros mais.

Em São José dos Campos, o setor da Construção Civil, a exemplo, movimenta 424.953 toneladas de entulho por ano, uma média de 587kg/habitante. A partir disso, calcula-se 1,71kg/dia de entulho, percentual maior que o de lixo domiciliar, cuja média é de 870g por habitante/dia. Do total dos resíduos gerados, 17% vêm de pequenas reformas e 77% provêm de construtoras, pequenos empresários e, inclusive, particulares. Na maioria dos casos, utiliza-se o serviço de transporte por caçamba, com 4% resultante em despejo ilegal em áreas públicas e demais casos com deposição no aterro sanitário [3].

Segundo a *Green Building Concil Brasil* [4], a construção civil é responsável por 1/3 dos gases lançados na atmosfera em todo o mundo. O desperdício de materiais acarreta custos para toda a sociedade: as construtoras despendem mais em seus empreendimentos, na contrapartida do poder público em recolher, tratar e descartar o entulho. O reaproveitamento dos resíduos favorece, sobretudo, uma diminuição proporcional da poluição, minimizando riscos de enchentes e assoreamento de rios e córregos. Ademais, o acúmulo de entulho é propulsor para doenças – dengue e febre amarela – e atrativo para insetos e roedores. Reciclar e reutilizar estes materiais alcança até 40% de economia se os descartassem em áreas apropriadas, como a lei determina, pois garante menos extração da matéria-prima, preservando áreas naturais e promovendo a sustentabilidade.

Às “sobras” de construções aliadas ao isopor propõe-se um novo horizonte de preparo e reuso totalmente sustentável e economicamente praticável, consolidando tecnologia com respeito ao meio ambiente, além de redirecionar matérias-primas seletas para o setor sempre crescente e dependente de recursos. Ecológica, a composição propõe substituir parcelas da alvenaria tradicional, barateando e otimizando o processo construtivo popularmente empregado no setor.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A obtenção da monomassa oriunda do isopor com cimento, areia e água resultou em proporções e sequências específicas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Proporções para preparo de concreto leve considerando 50kg de cimento.

Densidade Nominal (kg/m ³)	EPS (litros)	Cimento (kg)	Areia (litros)	Água Total (litros)
700	140	50	15	14,7
800	130	50	24	16,0
900	118	50	30	17,0
1000	109	50	39	22,5
1100	101	50	48	22,5
1200	95	50	60	22,8
1300	87	50	69	22,8
1400	80	50	80	23,0
1500	73	50	81	23,0
1600	65	50	102	23,3

Para a preparação do compósito os materiais inerentes a sua concepção, bem como o seu ensaio foram os seguintes recursos e/ou materiais:

- **Matéria-Prima:** agregados da monomassa padrão (cimento, areia, água e brita); isopor e entulho triturados; óleo mineral; cano PVC de diâmetro em 35mm.
- **Utensílios:** concha; haste; régua niveladora para CDP em concreto; ralador; martelo; paquímetro; régua dimensional e peneira.
- **Equipamento:** liquidificador e máquina universal TIME GROUP INC., modelo WDW – 100E, com capacidade máxima em 100kN, em seu modo de ensaio por compressão [5].

2.1 Procedimento:

O processo de reciclagem do compósito foi realizado utilizando-se os seguintes passos:

- 1 – Recolheu-se amostras descartáveis de isopor pré-moldadas: embalagem de refrigerador.
- 2 – O material adquirido foi granulado, sob aspecto de trituração, por intermédio de ralador convencionalmente culinário, a que se verifica mais simplificado ao caso (Figura 1).

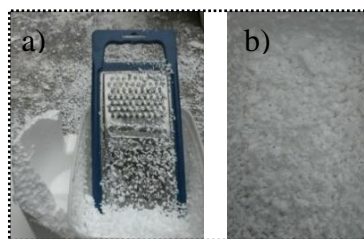


Figura 1. a) Moagem do Isopor; b) Isopor em flocos de 3mm.

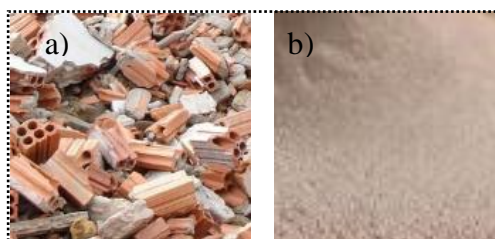


Figura 2. a) Entulho padrão obtido; b) Grânulos de entulho triturado.



Figura 3. Moldes e composições.

Ante o mesmo grau de aplicabilidade, o entulho (Figura 2) foi coletado, triado (a fim de distinguir componentes não minerais do entulho – madeira, papel, plástico), triturado e encaminhado para uso. Estes puderam ser reutilizados tanto como areia quanto pedra – variante inerente ao tamanho dos grãos obtidos no processo elegido de trituração, conforme sua característica de controle dimensional diante dessas distintas e possíveis aplicações.

Depois de sua moagem por intermédio de martelo foi realizada peneiração e refinamento dos grãos em liquidificador. O pó adquirido reservou-se para substituição da areia em sua tipologia fina.

Para os efeitos da Norma NBR5738 [6], aplicou-se a definição de dimensões básicas do corpo de prova junto à referência de seu diâmetro – uma vez elegido o modelo cilíndrico – ao qual se percorreu a especificação igual ao dobro da circunferência. Com diâmetro de 35mm e altura em 70mm, as medidas diametraais foram estabelecidas considerando-se uma tolerância de 1% e altura em 2%. Os planos das bordas circulares extremas dos moldes, categoricamente, se basearam na perpendicularidade ao eixo longitudinal dos mesmos – retas consecutivas.

Para o molde foi definida uma espessura de 2,4mm de parede, de modo garantir as condições:

- a) Corpo e base do molde não reagentes com o cimento, confiando resistência na forma e facilidades na operação de moldagem. Manteve-se a tampa superior do molde aberta, favorecendo a desmoldagem sem danificar o corpo de prova, e à base – tampa inferior – fechada, o que assegurou rigidez e planeza, com tolerância de 0,05mm. Material empregado: PVC.

- b) Periodicamente, acompanhou-se as dimensões geométricas com exatidão de 0,1mm, bem como condições de perpendicularidade e planeza para o controle de anomalias. Instrumento: paquímetro.

A amostra de concreto destinada à preparação de corpos-de-prova foi obtida de acordo com a NBR NM 33 [7]. Antes mesmo de proceder à moldagem, os moldes e suas bases foram revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral [6].

Ao todo foram confeccionados seis CDP's, dois para cada proporção especificada a seguir. A Figura 3, acima, demonstra três moldes com CDP's e suas respectivas composições enumeradas.

1. 20,5% de cimento, 29,6% de areia, 40,6% de pedra e 9,3% de água;
2. 22,8% de cimento, 7,0% de areia, 63,9% de isopor moído e de 6,3% água;
3. 20,5% de cimento, 29,6% de entulho, 44,3% de isopor e 5,6% de água.

Para assegurar a uniformidade do concreto, previamente fora feito uma remistura da amostra onde a mesma foi colocada dentro dos moldes pré-definidos e preparada. Ao introduzir o concreto, deslocou-se a concha ao redor da borda do exemplar para manter uma distribuição simétrica e, com a haste em movimento circular, nivelou-se o concreto antes de iniciar seu adensamento.

Segundo as diretrizes de adensamento manual, a primeira camada foi atravessada em toda sua espessura, quando adensada com a haste. Os golpes, quando necessários, foram distribuídos uniformemente em toda a seção transversal do molde, com a qual cada umas das camadas posteriores seguiram por sua adensação em toda sua superfície. Quando presenciados vazios na massa de concreto, levemente bateu-se na face externa do PVC, até que os mesmos se fechassem.

À última camada foi disposta quantidade abundante de concreto, de forma que ao ser adensado, completasse-se o volume do molde possibilitando o rasamento – eliminação do material em excesso. Para o rasamento empregou-se uma régua metálica.

Em vista da possibilidade da moldagem ser no próprio local de armazenamento, os CDPs não sofreram manuseios durante sua cura inicial, eliminando-se vibrações, golpes, inclinações e, sob qualquer forma, movimentos que poderiam perturbar o concreto. Durante as primeiras 24h, de acordo com a NBR5738 [6], os CDP's foram devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente (madeira), com finalidade de evitar a perda de água da massa. Segundo sua tipologia alguns dos CDP's poderiam ser desmoldados na variante pós 24h ao momento de sua moldagem, todavia, sob aguardo concomitante a secagem padrão de ambos os modelos – o concreto leve com média de cura de 7 dias – a desmoldagem deu-se após 20 dias do procedimento sendo os corpos-de-prova conservados ao ar (23 ± 2)°C a uma umidade relativa de (42 ± 16)% até o momento do ensaio.

Foi imprescindível para fins do ensaio que a superfície perpendicular ao corpo do CDP se mantivesse lisa, isenta de riscos, vazios e falhas de planicidade – Δ (variação) superior a 0,05mm – em qualquer ponto. Para tanto, ante a realização dos ensaios [5] tomou-se por métricas do processo:

1. Instalou-se a base fixa – típica para compressão – e aferiu-se os comandos, eixos e zero da máquina. Uma vez instaurados e salvos, fez-se a alocação do CDP e aproximou-se a garra móvel.
2. O enquadramento posicional do cabeçote móvel com relação ao CDP deu-se manualmente, alternativa aos comandos diretivos à máquina pelo painel de controle (Figura 4a), fixando o CDP.
3. Com a interface máquina – PC, o sistema interno de medição e controle, realizou-se o ajuste de zero, pré-carga de 10kN, inserção e leitura dos dados de cada CDP e sua tipologia (Figura 4a e b).

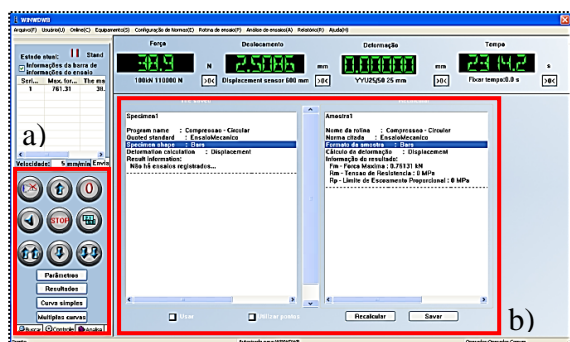


Figura 4. a) Comandos ao cabeçote por software; b) Resultados obtidos – exportação.

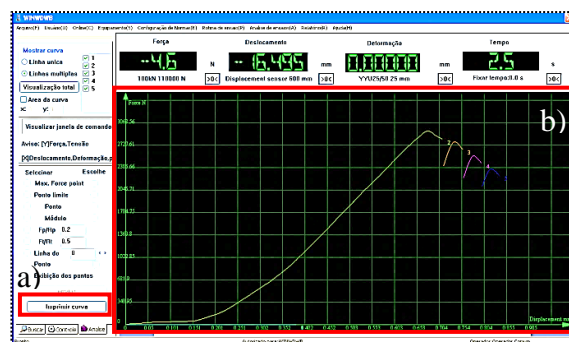


Figura 5. a) Impressão da curva; b) Resultado gráfico com parâmetros.

4. A programação de autocontrole da interface permitiu a inserção de características dos CDP, tais como: diâmetro (35mm), material (concreto convencional – padrão, concreto leve, concreto leve +

entulho), velocidade de ensaio configurável em 1mm/min, rotina de ensaio (compressão), adição e exclusão de amostras, bem como pastas para salvar os parâmetros resultantes pós-ensaio.

5. Multi-transdutores com apoio de fim de curso propiciaram segurança juntamente com sensores de contato que limitavam o deslocamento vertical do cabeçote de compressão a limites prévios.

6. Após fixado o CDP e instaurado seus dados, iniciou-se o ensaio pelo comando “play” do painel.

7. A função gráfica do software no computador possibilitou a ampliação, diminuição, igualdade, adição, exposição e cópia indicativa das curvas dos testes, favorecendo imprimir o gráfico ou salvá-lo no formato PDF. A Figura 5b) demonstra o gráfico MT1 pós-ensaio, e 5a) o botão de exporte.

8. Finalizado o ensaio um bip sonoro foi emitido e a plotagem gráfica fixada na tela. A partir disso, salvaram-se os dados sob extensões *ldb* e *mdb* (Figura 4b), recolheram-se as garras e removeu-se o CDP da máquina de ensaio, reiniciando o processo e aferições para o estudo de novo CDP.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A escolha do tipo de matéria-prima, sua miscigenação, sua composição e a regulação do processo de fabricação dos modelos de corpos-de-prova permitiram a obtenção de três resultantes físicas, com as quais foi possível extrair seus limiares de capacidade de carga e tensão máximas na contrapartida de sua deformação – compactação, conforme podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2. Comparação dos resultados.

Material (MT)	Carga Max (N)	Tensão (Mpa)	Peso (g)	Tempo (s)
1	2937,55	3,06	51,45	2,5
2	1031	1,07	26,94	843,1
3	770	0,80	32,88	2314,2

Os gráficos resultantes por tipo de concreto podem ser observados pelas Figuras 6, 7 e 8, respectivamente, em concordância com o exposto na Tabela 2 supracitada.

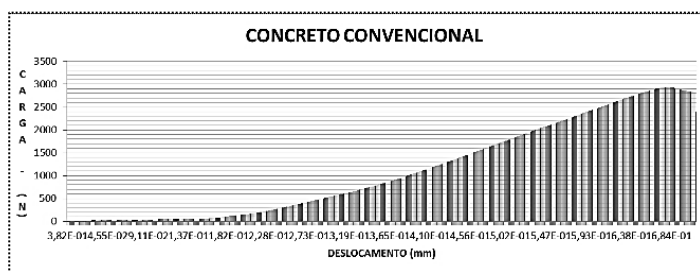


Figura 6. MT1: Concreto Convencional.

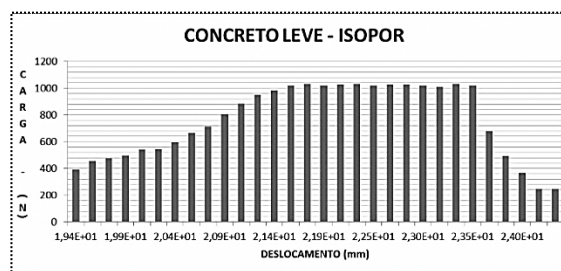


Figura 7. MT2: Concreto Leve.

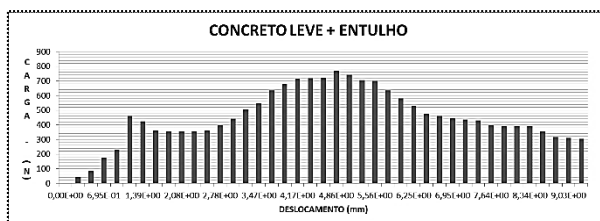


Figura 8. MT3: Concreto Leve com Entulho.

Aliada à alta resiliência e durabilidade perceptíveis em decorrência dos ensaios, tanto o concreto leve quanto o com inserção de entulho apresentaram capacidade de 1/3 do concreto convencional, o que lhes isentam apenas a empregos específicos não estruturais civis, reservando-se a várias outras aplicações como: paisagismo, contrapisos, lajotas e etc.

A resposta da baixa capacidade de carga obtida relaciona-se a falta de emprego de aglutinante (cola), visto que a zona de ruptura sem aderência dos flocos de EPS à estrutura do cimento é bem grande, rompendo sempre através do isopor. Este resultado evidencia a característica de interação impermeável do isopor em água, já que os flocos tendem a flutuar ao invés de absorvê-la favorecendo positivamente a redução de água à nova monomassa em proporções expressivas - 75%.

Ao processo da mistura, sugere-se dissolver inicialmente um adesivo à água numa relação de 10% da medida de EPS, para depois prosseguir com a agregação de parte do cimento ao qual se espera afixar tão logo no isopor. Sequencialmente, colocar-se-ia, de modo alternado, o restante do cimento, água e areia/entulho. A presença do entulho e isopor garante redução de custos de 35% a 50% no preço do m² construído, isso porque reverteria um alto índice de dejetos em matéria-prima.

Prevê-se assim, controlar o processo inserindo aglutinante ao compósito ao passo que se obtenha concretos com diferentes capacidades de carga, podendo ser empregados a setores cujo esforço requerido possa ser atendido segundo seus limites especificados em projeto de engenharia.

4. CONCLUSÃO

Os valores equacionados à qualidade de vida vão além de ganhos contábeis, uma vez que não apresentam risco à saúde humana e nem ao meio ambiente, evidenciando seguridade do produto, processo e a grande diversidade de fazê-lo, inclusive economicamente. Alguns dos proveitos notórios ao compósito são: redução no preço do m² (em relação à alvenaria convencional), mais de 80% de redução de resíduo da obra, economia no consumo de água, baixo peso volumétrico, excelente desempenho térmico e acústico, dentre outros.

A essa inovação, render-se-iam – a partir da produção de pedriscos, britas e areia por intermédio do isopor e entulho – moradias a menor custo para a população em geral com segurança.

5. REFERÊNCIAS

- [1] BERLOFA, A.S. *A Viabilidade do uso do poliestireno expandido na indústria da construção civil*. Trabalho de Graduação. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, Centro Tecnológico de São Paulo, 2009.
- [2] HELENE, P. R. L., TERZIAN, P. *Manual de Dosagem e controle do concreto*. Brasília, DF: Editora Pini, 1992.
- [3] MEON. Redação sobre Construção Civil em São José dos Campos. Disponível em: <http://www.meon.com.br/noticias/regiao/construcao-civil-de-s-jose-movimenta-424-toneladas-de-entulho-por-ano>. Acesso em 13/05/2017.
- [4] PENSAMENTO VERDE. Redação sobre Construção Civil e Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/construcao-civil-meio-ambiente-entulho-afeta-sustentabilidade/>. Acesso em 13/05/2017.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 (2007): *Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 (2003): *Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. Rio de Janeiro, 2003.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 33 (1998): *Concreto: Amostragem de concreto fresco*. Rio de Janeiro, 1998.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 30 (2001): *Agregado miúdo: Determinação da absorção de água*. Rio de Janeiro, 2001.
- [9] CONAMA. *Dispõe diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil*. Rio de Janeiro: DOU nº 188, resolução 416, 2009.