

# IMOBILIZAÇÃO DE CARVÃO ATIVO PROVENIENTE DO REATOR DE PESQUISA DO IPEN, IEA R-1m

Júlio Takehiro Marumo, Vera Lúcia Keiko Isiki e Laura Sakiko Endo

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CNEN/SP  
Travessa R, 400 - Cidade Universitária  
05508-900, São Paulo - SP Brasil  
e-mail: jtmarumo@net.ipen.br

## RESUMO

O Departamento de Rejeitos Radioativos do IPEN mantém, em seu depósito, rejeitos de carvão contendo Cs-137 e Co-60, provenientes do reator de pesquisa do Instituto, o IEA R-1m. Esses rejeitos estão acondicionados em tambores metálicos que, por serem radioativos e por possuírem elevado teor de água, precisam ser transformados em monolitos estáveis para que não ofereçam riscos de contaminação. Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos com amostras de pasta de cimento contendo carvão ativo, avaliados quanto ao tempo de pega e resistência à compressão.

**Palavras-chave:** rejeito radioativo, carvão, imobilização, cimento.

## I. INTRODUÇÃO

O carvão ativo é um material largamente utilizado em sistemas de tratamento de ar e água, devido à sua excelente propriedade de adsorção. Nos reatores nucleares, o carvão é empregado, juntamente com resinas de troca-iônica, na purificação da água de refrigeração do circuito primário. Após a saturação, esses materiais não podem ser reaproveitados e são classificados como rejeitos radioativos, por possuir elevada concentração de radionuclídeos.

O Departamento de Rejeitos Radioativos do IPEN mantém, em seu depósito, rejeitos de carvão provenientes do reator de pesquisa do Instituto, o IEA R-1m. A Tabela 1 apresenta os radionuclídeos mais relevantes, em termos de atividade, presentes nesses rejeitos. A análise foi realizada por espectrometria gama e os radionuclídeos que estavam abaixo dos limites especificados na Norma CNEN-NE-6.05 [1] foram desconsiderados. Esses rejeitos possuem elevado teor de água e estão acondicionados em embalagens de polietileno, inseridas em 7 tambores metálicos de 200 L. Por

causa da atividade e da corrosão dos tambores, não podem permanecer nesse estado e devem ser convenientemente tratados para que não ofereçam riscos de contaminação.

Tabela 1. Principais radionuclídeos presentes no carvão.

Radionuclídeo	Atividade Específica (Bq/g)
Cs-137	100
Co-60	$15 \times 10^3$

A proposta de tratamento apresentada neste trabalho é a imobilização desse rejeito em cimento portland, que é uma prática habitualmente adotada por fornecer um produto com boas propriedades a um custo relativamente baixo. Para a viabilização da proposta, no entanto, alguns testes preliminares devem ser efetuados para verificar a compatibilidade entre o cimento e o tipo de rejeito. Estes testes são efetuados com simulados de rejeitos, preferencialmente os mesmos materiais que

os compõem, porém inativos, e, posteriormente, para confirmação dos resultados, com amostras do rejeito real. Neste trabalho, são apresentados os resultados obtidos com amostras preparadas em laboratório e avaliadas quanto à resistência à compressão e tempo de pega de formulações contendo até 15 % em massa de carvão e relações água/cimento (A/C) de 0,35; 0,40 e 0,50 [2].

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos-de-prova foram confeccionados com água deionizada, cimento portland composto Eldorado CPII-F-32 da Camargo Corrêa Cimento S/A e carvão ativado da Minasolo comércio e representações Ltda, o mesmo utilizado no reator IEA R-1m. Os moldes cilíndricos descartáveis empregados foram da marca Bahi, com 5,0 cm de diâmetro e 12,0 cm de altura, para o ensaio de resistência à compressão e com 6,0 cm de diâmetro e 5,7 cm de altura, para o ensaio de tempo de pega.

**Preparação do Carvão.** O carvão utilizado foi previamente saturado com água deionizada, para evitar a segregação dos grãos na pasta de cimento. Cerca de 800 g de carvão foram colocados em um béquer de 4 L e o volume foi completado com água deionizada. A mistura foi, então, aquecida até a ebulição e mantida até que não fosse mais verificada a flotação dos grãos de carvão.

Após a saturação, a mistura foi filtrada em um funil de buchner e uma amostra foi retirada para a determinação do teor de sólidos. Este valor foi empregado na correção da massa de carvão e água. O teor de sólidos foi obtido por meio de uma balança determinadora de umidade da marca Ohaus, modelo MB 200.

**Confecção dos Corpos-de-prova.** Foram confeccionados 6 corpos-de-prova para cada formulação de pasta, com e sem carvão.

A quantidade de água empregada foi calculada utilizando-se dois critérios. No primeiro, adotou-se o volume de água corrigido na preparação dos corpos-de-prova com relação  $A/C = 0,4$  e  $0,5$ ; 5 e 10 % de carvão, ou seja, o volume total menos o volume de água contido no carvão. Para facilitar a apresentação e a discussão dos resultados, estas amostras foram reunidas no grupo 1.

No segundo (grupo 2), adotou-se o volume de água total na preparação dos corpos-de-prova com relação  $A/C = 0,35$  e  $0,4$ , com 5, 10 e 15 % de

carvão, e  $A/C = 0,5$ , com 15 % de carvão, por ter sido verificada durante a confecção dos corpos-de-prova, com 10 % de carvão, preparados de acordo com o primeiro critério, que a quantidade de água já estava no limite para a obtenção de uma massa com boa trabalhabilidade. Assim, as massas de água que seriam empregadas na preparação dos corpos-de-prova  $0,4/15\%$  e  $0,5/15\%$ , de acordo com o primeiro critério, foram corrigidas conforme o segundo critério. Na prática, a mistura resultante mostrou-se pouco consistente e imprópria para aplicação por causa do risco de contaminação e da segregação do carvão.

O procedimento de preparação foi o mesmo nos dois casos. Inicialmente, a água e o carvão foram homogeneizados na cuba do misturador mecânico, marca Pavitest e, em seguida, o cimento foi lentamente adicionado. A mistura foi mantida sob agitação por 2 minutos, em média, e transferida para os moldes cilíndricos em três camadas, até a altura de 10 cm, para o ensaio de resistência à compressão, e 4 cm, para o ensaio de tempo de pega. O excesso de bolhas de ar incorporado foi removido de cada camada por meio de suaves golpes aplicados contra a bancada. Procedimento idêntico foi adotado para as pastas.

Os corpos-de-prova para o teste de resistência à compressão foram tampados e mantidos em cura selada por 28 dias.

**Ensaio de Determinação do Tempo de Pega Final.** Para a realização deste ensaio, consultou-se a norma da ABNT NBR 11581 [3]. Empregou-se o aparelho de Vicat, marca Bender.

**Ensaio de Resistência à Compressão Axial.** Antes do ensaio de compressão, determinou-se a densidade dos corpos-de-prova mantidos em cura por 28 dias. Posteriormente, foram capeados, com uma mistura fundida de pozolana e enxofre, e rompidos em uma prensa hidráulica da marca EMIC, modelo PCE 100-20. Para realização deste ensaio, consultou-se a norma da ABNT NBR 7215 [4].

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Teor de Sólidos.** O teor de sólidos do carvão empregado nas misturas foi cerca de 45 %.

**Tempo de Pega.** Na Tabela 2 são apresentados os tempos de pega final observados.

Tabela 2. Tempo de pega final das misturas.

Mistura	Relação A/C	Carvão (%)	Pega Final (h:min)
Pasta	0,35	0	6:12
	0,4	0	6:30
	0,5	0	8:10
Grupo 1	0,4	5	6:24
	0,4	10	3:49
	0,5	5	8:13
	0,5	10	7:00
Grupo 2	0,35	5	6:31
	0,35	10	7:15
	0,35	15	7:10
	0,4	5	7:46
	0,4	10	7:37
	0,4	15	7:20
	0,5	15	10:18

A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que todos os corpos-de-prova atingem a

pega final em menos de 11 horas e é suficiente para o caso de uma mistura em escala real. Em relação à pasta, a quantidade maior de água utilizada nas misturas do grupo 2 retardou o tempo de pega final em todos os casos e o maior aumento observado foi para a amostra A/C=0,5 com 15%. O inverso foi observado nas misturas do grupo 1, com 10 % de carvão.

**Resistência à Compressão.** Os valores da densidade e os resultados da resistência à compressão estão apresentados na Tabela 3. Os valores da resistência representam a média dos dados para um intervalo obtido com um grau de confiança de 95 %, aplicando-se a equação de Student.

Tabela 3. Densidade e resistência à compressão das misturas.

Mistura	Relação A/C	Carvão (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Resistência aos 28 dias (MPa)
Pasta	0,35	0	2,05	15,1±0,2
	0,4	0	1,98	13,1±0,3
	0,5	0	1,91	13,1±1,3
Grupo 1	0,4	5	1,93	17,5±3,8
	0,4	10	1,84	24,2±0,5
	0,5	5	1,83	15,0±1,8
	0,5	10	1,77	16,7±1,7
Grupo 2	0,35	5	1,87	18,4±0,2
	0,35	10	1,75	20,5±0,1
	0,35	15	1,67	19,6±0,1
	0,4	5	1,83	17,1±1,6
	0,4	10	1,72	17,8±0,7
	0,4	15	1,63	13,6±1,4
	0,5	15	1,61	11,7±0,7

De um modo geral, as pastas apresentaram resistência inferior ao das amostras contendo carvão. Nos casos em que isso não ocorreu, A/C=0,4 e 0,5 com 15 % de carvão, é possível que tenha sido ocasionada pela quantidade elevada de água utilizada. O aumento da resistência das amostras com carvão também foi observado por Dutta e colaboradores em uma investigação sobre a hidratação do clínquer de cimento portland na presença de carvão. Neste trabalho, sugerem que a

sílica, presente no carvão, reage com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento para formar a fase C-S-H e, portanto, contribuir para o aumento da resistência [5]. Deve-se ressaltar que a fase C-S-H representa cerca de 50-60% do volume de sólidos de uma pasta de cimento completamente hidratada e é, portanto, o componente mais importante na definição das propriedades da pasta [6].

Todas as amostras do grupo 1 apresentaram bons resultados e o maior valor observado foi para a amostra com A/C=0,4 e 10 %. Apesar disto, estes resultados não foram considerados, pois durante a confecção, a mistura apresentou-se ruim em termos de trabalhabilidade.

As amostras do grupo 2, exceto as 0,4 e 0,5 com 15 %, também apresentaram bons resultados e os maiores valores observados foram para as amostras com A/C=0,35. No Brasil, os critérios de aceitação de embalados para repositórios ainda estão em discussão, mas sabe-se que o valor mínimo de resistência mecânica será provavelmente 17 MPa. Assim, pode-se afirmar que a maioria das amostras contendo carvão apresentaram resistência igual ou superior a esse valor e que, portanto, seriam aceitas para disposição final. No entanto, de todas as formulações, a única que possibilitou uma incorporação de 15 % de carvão com resistência superior a 17 MPa foi a de relação A/C=0,35. Esta também foi a que apresentou os menores desvios.

#### IV. CONCLUSÃO

Diante dos resultados alcançados, pode-se afirmar que a formulação mais indicada para ser aplicada na imobilização do carvão é a de relação A/C=0,35, sendo admissível uma incorporação de, no máximo, 15 % em massa de carvão.

#### V. REFERÊNCIAS

- [1] Comissão Nacional de Energia Nuclear. Gerência de rejeitos radioativos, 1985. (CNEN-NE-6.05).
- [2] Marumo, J. T. e Isiki, V. L. K. Imobilização de carvão em cimento portland. IPEN-CNEN/SP. Relatório Interno NR-RT-002-00, 2000.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega; 1991. (ABNT NBR 11581).
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão; 1996. (ABNT NBR 7215).
- [5] Dutta, D.K., Bordoloi, D. and Borthakur, P.C. Hydration of Portland cement clinker in the presence of carbonaceous materials. *Cement and Concrete Research*, 25(5): 1095-1102, 1995.

- [6] Marumo, J.T. Difusão de cloretos e ataque por sulfatos em pastas e argamassas de cimento portland. São Paulo: 1997. (Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).

#### ABSTRACT

The Radioactive Waste Department of IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) maintains, at its interim storage, spent charcoal, contaminated with Cs-137 and Co-60, used at the IPEN's research reactor (IEA R-1m). The waste must be treated soon because of its activity level and the corrosion of the drums where it is packed. This work describes the immobilization experiments carried out with cement pastes and charcoal, evaluated by compressive strength and setting time assays.