

## ESTUDOS DE INCORPORAÇÃO DE LAMA DE ACIARIA EM CONCRETO PARA BLINDAGEM DE CÂMARAS RADIOATIVAS

Maria Aparecida Faustino Pires\* Nilce Ortiz \*Paulo Miranda \*  
Paulo R. Rela \*José Vanderlei de Abreu\*\* Everaldo Marciano Jr \*\*\* .  
Antonia Jadranka Suto\*\*\*

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-Div. Química Ambiental  
Travessa R, no 400 – Cidade Universitária - Butanta USP  
Cep 05508-090 São Paulo – SP nortiz@net.ipen.br

\*\* Grupo Holdercin-Div. Ciminias  
Av. Firestone,581 Sto André- SP  
Cep 09015-390

\*\*\*ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland  
Av. Torres de Oliveira,76 São Paulo- SP  
Cep 05347-902

### RESUMO

O concreto é certamente o material mais utilizado para a blindagem de radiação em câmaras radioativas, devido à sua eficiência de blindagem, seu baixo custo e suas propriedades estruturais. A utilização de resíduos industriais em concreto de câmaras de blindagem é muito favorável porque, além de utilizar resíduos, este procedimento promove a redução dos custos com material de construção. As adições do resíduo à formulação de concreto foram executadas sempre respeitando as características estruturais, não comprometendo a qualidade do concreto final. Os resíduos para serem adicionados ao concreto de blindagem devem apresentar algumas características básicas, como: estabilidade química frente aos componentes do concreto em diversas condições ambientais e elevados valores de densidade. O resíduo em estudo é predominantemente constituído por magnetita e a sua adição ao concreto teve como resultado o aumento da densidade e o conseqüente aumento da eficiência de blindagem nas paredes da câmara radioativa. Foram feitas medidas de atenuação de radiação e testes quanto à estabilidade estrutural e química do concreto com resíduo. Os corpos de prova foram submetidos a atmosfera de ozônio, característica de câmaras radioativas, e aos ensaios comuns para concreto, como: ensaio de resistência à compressão, coeficiente de permeabilidade, profundidade teórica de penetração e índice de vazios. Os resultados demonstraram que não houve significativas mudanças nas características estruturais do concreto após a adição do resíduo férrico. Estudos complementares estão sendo feitos para determinar a estabilidade dos corpos de prova de concreto e resíduo quando expostos ao meio ambiente, através da permanência dos corpos de prova em câmaras de ensaio de desgaste acelerado e testes de lixiviação e solubilização.

**Key words:** Concreto, resíduo, blindagem, reciclagem e magnetita.

### 1. INTRODUÇÃO

O desafio da ciência moderna é a busca de nova tecnologia com o emprego de novos materiais[1], de origem natural ou artificial, visando a melhoria nos processos industriais e a diminuição do impacto ambiental das

atividades produtivas. A sociedade tem, nos últimos, anos se preocupado com a melhoria ou ainda com a manutenção da qualidade ambiental. Este movimento social tem exigido que os governos legislem sobre a matéria, estabelecendo leis cada vez mais restritivas.

As indústrias têm tentado se adequar aos novos tempos. No entanto, muitas dificuldades devem ser superadas. A primeira delas é o custo elevado de tratamento e disposição dos resíduos gerados no processo produtivo. A indústria siderúrgica passa por este mesmo processo[2][3][4]. Apesar dos resíduos gerados não serem propriamente tóxicos, eles são produzidos sempre em quantidades muito elevadas, ocupando grande área de deposição.

A utilização do resíduo siderúrgico em formulações de concreto, usados em blindagem de câmaras radioativas, não apresenta uma solução para a disposição do resíduo siderúrgico, porque o resíduo seria consumido em quantidades muito modestas em relação às quantidades resultantes do processo siderúrgico. Este trabalho, no entanto, adicionará importantes informações quanto à estabilidade de resíduos adicionados em formulações de concreto e importante informação para a utilização deste resíduo em concretos usados em construção civil[4].

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O resíduo siderúrgico a ser utilizado nas formulações de concreto foi coletado diretamente na linha de produção. Este resíduo é produzido na aciaria, na etapa de produção do aço, aonde o ferro gusa é oxidado através da injeção de ar comprimido sob pressão[4] ( Conversor). A etapa de injeção de ar comprimido tem como produto o aço, mas ha também a produção de poeira e de sólidos em suspensão. Estes sólidos em suspensão são removidos do ambiente utilizando-se um sistema de filtros-manga, que filtros são lavados, sendo os sólidos retidos e a água resultante da lavagem dos filtros manga dão origem à Lama de Aciaria. Esta lama é bombeada para espessadores e em seguida filtrada em filtro prensa. As tortas obtidas são transportadas por esteira para serem carregadas em caminhões (quantidade de aproximadamente de 17 ton/dia) daonde serão transportadas para uma área de deposição, a 4 km de distância da unidade de obtenção do resíduo.

O resíduo, originariamente coletado do ar, apresenta granulometria fina e é constituído predominantemente de  $Fe_3O_4$  ou  $(FeO.Fe_2O_3)$  óxido de ferro III (Magnetita). Este resíduo coletado foi analisado utilizando-se as técnicas de difratometria de raios X, fluorescência de raios X e análise térmica.

O concreto foi preparado a partir de: cimento, agregado graúdo (pedra), agregado miúdo (areia) e água. As quantidades relativas deste componentes (o traço do concreto) [5] podem variar conforme a necessidade do projeto de construção a ser executado. Os cimentos Portland brasileiros são produzidos de acordo com as especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Do ponto de vista de especificação, os elementos são designados pelo tipo e classe dependendo de sua composição química e de suas propriedades. No presente trabalho foi utilizado o cimento Portland comum simples o CPS (NBR 5732/1988), aqui designado como CPII e o cimento Portland de alta resistência inicial, ARI (NBR 5733/1980), o CPV.

O cimento Portland comum antes de 1988 era dividido em apenas três classes CP-25, CP-32 e CP-40. O cimento CP-32, utilizado neste estudo, foi obtido através da moagem do clíquer com sulfato de cálcio e escória granulada de alto-forno, num limite de 10 % em massa total de aglomerante. O cimento Portland especial é assim chamado porque apresenta altos valores de resistência, mesmo em baixas idades (como 100 kgf a 24h de cura). Este cimento apresenta estas características por ter sido preparado a partir de um clínquer mais fino e também por possuir maior proporção de silicato tricálcico, o que também confere uma maior facilidade na formação de fissuras e menor durabilidade, pois apresenta maior proporção de  $Ca(OH)_2$ .

O concreto preparado no presente trabalho utiliza o resíduo rico em ferro como parte do agregado miúdo. Este resíduo entra nesta formulação no lugar de parte da areia em duas composições diferentes: no concreto com resíduo e cimento simples (o CPII) e concreto com resíduo e cimento de alta resistência inicial (o CPV).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resíduo coletado foi analisado utilizando-se difratometria de raios X, fluorescência de raios X, análise térmica e a distribuição granulométrica em peneiras. A difração de raios X foi efetuada no aparelho RINT 2000 da Rigaku e os resultados apresentados confirmaram que o resíduo é constituído predominantemente por magnetita ( $Fe_3O_4$ ). A análise química de elementos preponderantes efetuada pelo aparelho de fluorescência de raios X confirmou a presença de teor mínimo de 80% de óxido de ferro. Estes ensaios no entanto não forneciam maiores informações sobre a possível presença de carbono no resíduo, o que foi posteriormente confirmado com a análise térmica, onde observou-se a inexistência de compostos de caráter energético do resíduo (apenas observaram-se picos de secagem e de desidratação). Finalmente foi efetuada a análise granulométrica do resíduo em estudo, demonstrando que possui cerca de 30 % abaixo da peneira série Tyler 325 mesh.

A preparação do concreto foi feita de modo habitual (60 kg de cimento, 73 kg de areia, 110 kg de brita, água e aditivos, conforme o projeto de aplicação), apenas com a substituição de parte da areia utilizada pelo resíduo férrico. Algumas formulações foram realizadas e em seguida foram feitos testes de “abatimento”. Estes testes tem como objetivo a avaliação da consistência do concreto preparado, isto é, a estabilidade do concreto na hora da aplicação. O teste é feito colocando-se parte da massa do concreto preparada em um molde em forma de cone que, após preenchido, é virado e quando é desmoldado, deverá manter as mesmas características do cone. O concreto apresentará boa característica de moldagem quando o cone conformado se mantém íntegro, sem escoamento, sem trincas e sem desmoronamento.

Foram testadas formulações crescentes de resíduo e o teste de desmoronamento demonstrou que a quantidade máxima de adição do resíduo férrico para a formulação do concreto com o cimento e os aditivos utilizados foi de 30

%. Quantidade acima de 30% de resíduo na formulação de concreto resulta em cones com trincas e que apresentam desmoronamento. Foram preparados corpos de prova de concreto com 0%, 10%, 20% e 30% (Tabela 1) de resíduo férrico, como substituinte de parte da areia adicionada no concreto como agregado miúdo.

Tabela 1 : Formulação e massa dos corpos de prova de concreto (preparados com cimento CII e CPV com substituição da areia por resíduo de siderurgia).

Formulação Corpos de prova	Número de Amostra	Composição % de Resíduo	Massa (kg)
0 % CPV	3	0	13,00
0% CII	4	0	12,60
10% CPV	5	10	13,00
10% CII	2	10	12,60
20% CPV	8	20	13,20
20% CII	6	20	12,80
30% CPV	1	30	13,20
30% CII	7	30	13,10
30% CPV	10	30	13,20
30% CII	9	30	12,65

O concreto preparado a partir do concreto CPV, de um modo geral, tem apresentado peso superior ao concreto preparado a partir do cimento CII. Este efeito pode ser explicado devido à diminuição de vazios, característica de concretos preparados a partir de cimento AR (a partir de clínquer mais fino). Os blocos de cimento CPV são, de um modo geral, mais densos que os blocos de cimento CII.

Tabela 2 : Dados de densidade, contagem e número de atenuação para as amostras de concreto analisadas.

Número de Amostra	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Contagem m (cps)	Atenuação (Nº de vezes)
1	2,538	100206	4,94
2	2,423	108181	4,57
3	2,500	135846	3,63
4	2,423	113714	4,35
5	2,500	145025	3,40
6	2,46	105936	4,67
7	2,529	99797	4,96
8	2,538	107434	4,60
9	2,433	115131	2,65
10	2,538	102527	4,82

As amostras de concreto composto por misturas de cimento e resíduo apresentaram maior densidade que as amostras de concreto sem o resíduo. Estas amostras foram submetidas a ensaios de blindagem de câmaras radioativas com dose total de radiação gama de 510 Gy (média) sendo que os corpos de prova foram irradiados no sistema

panorâmico. A atmosfera presente na câmara utilizada para os testes é de 2ppm de ozônio. Os corpos de prova medidos possuíam espessura padrão de 130 mm.

A atenuação máxima observada foi de 4,96 vezes para o corpo de prova 7. Este corpo de prova é composto por 30% de resíduo siderúrgico e este efeito era esperado uma vez que a magnetita apresenta densidade superior a aquela característica da areia, aumentando de um modo geral a densidade do concreto.

Ensaio adicionais foram executados visando estabelecer se houve alguma mudança nas características estruturais do concreto. Na tabela 3 observa-se que, de um modo geral, nas condições testadas e para o intervalo de tempo analisado, não houve significativa perda das condições estruturais do concreto formulado com resíduo férrico em estudo.

Tabela 3 : Ensaio de estabilidade estrutural do concreto formulado com resíduo férrico.

Número de Amostra	Coefficiente de Permeabilidade de $kT(10^{-16} m^2)$	Profundidade teórica de penetração L(mm)	Tensão ruptura à compressão (MPa)
1	0,026	6	70,5
2	0,026	6	80
3	0,083	10	64,5
4	0,066	9	73,0
5	0,186	14	80
6	0,046	7	78,0
7	0,017	4	72,0
8	0,040	7	76,5
9	0,015	4	69,5
10	0,022	5	70,7

Os resultados da tabela 3 demonstram que a adição de resíduo siderúrgico rico em ferro em substituição à areia no preparo do concreto, não alterou significativamente o desempenho estrutural do concreto.

#### 4. CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou que é possível a utilização de resíduo férrico siderúrgico em formulações de concreto utilizado para a construção de câmaras radioativas. Este concreto apresentaria a vantagem de aumento de blindagem, pois apresentaria maior atenuação que aquela observada para o concreto comum. Apresenta possivelmente menor custo por se tratar de substituição de areia de construção civil por um resíduo industrial. Além disto, tem valor ecológico devido, à utilização de um resíduo que tem sido depositado em pátio aberto durante todos estes anos.

Estudos posteriores com o concreto preparado estão sendo efetuados. Estes testes visam determinar a estabilidade do concreto misturado com resíduo frente a

atmosferas agressivas. São testes executados em meio úmido, salino e com variação de temperatura ambiente.

A possível preparação de esferas a partir do resíduo férrico também está sendo analisada. Esta conformação do resíduo permite que este seja adicionado à formulação do concreto como agregado graúdo, o que vem a aumentar sua contribuição de densidade e consequentemente para blindagem de câmaras radiativas.

with increase of temperature and also the increase of the humidity will be tested. Other study will be developed using others wastes in the concrete formulations, those wastes will be composed mainly by heavy metals of electron deposition plants.

## REFERÊNCIAS

[1] Alloway B.J. and Ayres D.V.- **Inorgânic pollutants - Heavy metals**. 1a Ed. Chapman&Hall. Boundary row- Londres Inglaterra, 1993pp140-165.

[2] Cavalcanti J.E.W.A. - **Gestão de resíduos sólidos : Disposição Final**. Expo - Labornews set / out, 1997 Ano 4 No 22 São Paulo- SP.

[3] Rachner I.H.G. - **Steel plant waste threatment** .In: 49 o Congresso Internacional de Tecnologia Metalurgica e de materiais. Anhembi São Paulo, out/1994 ABM Vol4- Tecnologia Mineral de Resíduos de processos, reciclagem de Materiais metalicos, pp473-491.

[4] Masuero A.B.; Geyer T.R., Vilela A.C.F. e Molin D.C.C.D. - **Aproveitamento de escórias siderúrgicas na construção civil** In: 50 o Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais- Vol. Materiais Não Ferrosos - Produção, Propriedades e Aplicações No IV - São Pedro-SP-ago/1995 .Ed Édile Serviços Graficos- pp693-711.

[5] Mehta, P.K. e Monteiro P.J.M.- **Concreto - Estrutura, propriedades e materiais** - São Paulo - Ed. Traduzida, 1a. Edição - Editora Pini, 1994.

## ABSTRACT

Common concrete used on radiation shielding show some desired properties like compress structural resistance, durability and low cost. The addition of the magnetite (steel work waste) in the concrete formulation was done trying to maintain the desirable structural properties. The chosen wastes to be used in concrete formulations must not change the structural characteristics of the concrete, they must be chemically stable in contact with the elements of the concrete, it also must show increase in density. The addition of magnetite waste shows an increase of the density on the combined concrete. This effect is desirable when the radioactive shielding is needed. The target is the maintenance of the structural properties of the concrete, showed by the specific concrete measurements. Many studies are being carried in this project trying to determine the stability of the foreigner ions present in the concrete matrix. The influence of the aggressive ambient conditions on the stability of the composed concrete is focuses at the progress of this work. The results of the influence of aggressive conditions, like the exposure on saline chamber