Copyright 2010, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Estudo E Caracterização Do Resíduo De Chumbo Como Revestimento Aplicado Pelo Processo De Aspersão Térmica A Chama

Frieda S. Barros[1], Ramón S. C. Paredes[2]

Abstract

Thermal spray is the name given to a group of procedures used for the deposit of metallic or non-metallic coating in steel or plastic substrate. In these procedures the coating material, powdered or in wire form, is melted by a chemical or electrical heat source and thrown sprayed against a surface that was previously prepared considering cleanliness, roughness and heating. The sprayed particles adhere to the substrate by mechanical, metallurgical and chemical-physical mechanisms depending on the temperature of the heat source and speed imposed on the particles, which form, by the overlapping of layers, layers of lamellar structure with oxides and pores. This paper's main objective was to assess the behavior of the use of powdered lead residue, obtained from the recycling of car batteries, as metallic coating deposited by thermal spray flame. The microstructures, hardness, amount of oxides and attenuation properties were evaluated, in order to be used in radiological installations and recovery of personal protection equipment. The results show that the coatings have satisfactory characteristics and can be applied successfully for several purposes.

Key words: lead residue, thermal spray, radiological protection.

Resumo

Aspersão térmica é o nome dado a um grupo de processos utilizados para a deposição de revestimentos metálicos ou não metálicos em substrato de aço a plásticos. Nestes processos o material do revestimento, na forma de pó ou arame, é fundido por uma fonte de calor química ou elétrica e impulsionado por ar comprimido ou outros gases de encontro a uma superfície previamente preparada no que diz respeito a limpeza, rugosidade e aquecimento. As partículas aspergidas aderem ao substrato por mecanismos de natureza mecânica, química-metalúrgica e física dependendo da temperatura da fonte de calor e velocidade imposta as partículas, que pela sobreposição formam camadas de estrutura lamelar com óxidos e poros. Este trabalho tem como objetivo principal verificar o comportamento da utilização de resíduo de chumbo em forma de pó, obtido por meio da reciclagem de baterias automotivas, como revestimento metálico depositado por aspersão térmica a chama. São avaliadas as microestruturas, dureza, quantidade de óxidos e propriedades de atenuação, para serem aplicados em instalações radiológicas e recuperação de equipamentos de proteção individual. Os resultados mostram que os revestimentos apresentam características satisfatórias e podem ser aplicados, com sucesso, para diversas finalidades.

Palavras-chave: resíduo de chumbo, aspersão térmica, proteção radiológica.

[1] Doutora, Engenheiro Civil, Professora de Ensino Superior – UTFPR – Campus Curitiba
[2] Doutor, Engenheiro Mecânico, Professor de Ensino Superior – UFPR

Introdução

A técnica da aspersão térmica, dentro da Engenharia de Superfícies, mantém-se como uma das promissoras alternativas para a produção de novos materiais com características para atender as crescentes exigências do mercado em relação às suas propriedades físicas, químicas e tribológicas[1]. Este processo apresenta grande versatilidade, decorrente da larga faixa de materiais que podem ser depositados, além de diferentes formas e tamanhos de substratos. Esta técnica também pode ser aplicada como revestimento nas paredes das instalações radiológicas e para a recuperação de equipamentos de proteção individual usados nesta área[2]. Diferentes materiais podem ser estudados como alternativa ao chumbo e a argamassa baritada[3], disponíveis comercialmente, além de haver ainda a possibilidade de desenvolvimento de novos tipos de materiais, tais como: os polímeros[4], os cerâmicos[5] e os compósitos poliméricos misturados com óxido de chumbo[6,7]. A LDAI[8] informa que mais de 50 % do chumbo consumido no mundo é obtido a partir da reciclagem ou da reutilização de materiais. A reciclagem dos resíduos de chumbo é mais fácil e consome muito menos energia do que para produzi-lo a partir de minério de chumbo primário (a produção de chumbo reciclado requer 35 – 40 % da energia necessária para a sua produção). O processo de reciclagem reduz a dispersão do chumbo no meio ambiente, conservando os recursos minerais para o futuro. Estima-se que pelo menos 85 % do chumbo consumido poderiam ser reciclados. No Brasil, em 2007, o percentual de reciclagem de baterias automotivas[9] chegou a 99,5 %. Neste processo, todo o chumbo contido nas placas positivas e negativas, nas grelhas e conexões pode resultar num material reciclado com as mesmas características do mineral primário[10,11]. Portanto, além de servir de material para a confecção de novas baterias, pode-se justificar o seu uso também em barreiras para Proteção Radiológica.
Este trabalho tem como objetivo principal verificar o comportamento da utilização de resíduo de chumbo em forma de pó, obtido por meio da reciclagem de baterias automotivas, como revestimento metálico depositado por aspersão térmica a chama. São avaliadas as microestruturas, dureza, quantidade de óxidos e propriedades de atenuação, para serem aplicados em instalações radiológicas e recuperação de equipamentos de proteção individual.

Materiais e Métodos

Para a confecção dos corpos de prova foram utilizados o resíduo de chumbo na forma de pó, obtido através da reciclagem de baterias (atomização das partes contendo chumbo), cedido pela empresa Rondopar Energia Acumulada Ltda. como revestimento e chapas de aço carbono 1020 para o substrato. O revestimento foi depositado através do processo de aspersão térmica à chama. O sistema de aspersão térmica à combustão utilizado neste trabalho é constituído de quatro unidades principais: pistola, unidade de alimentação de pó, unidade de controle e medida de fluxo de gases e unidade de controle do fluxo de ar. As pressões dos gases utilizados nesse processo: oxigênio, nitrogênio e ar comprimido – são controladas através de válvulas conectadas diretamente nos cilindros de armazenamento.

Para a deposição dos revestimentos, foi utilizada uma pistola de aspersão à chama (FS) da marca SULZER METCO, modelo 6P-II Thermospray Gun, instalada no Laboratório de Aspersão Térmica da UFPR. A deposição do metal foi executada respeitando-se um máximo de duas horas após a operação de jateamento para evitar a oxidação da superfície. A Figura 1 mostra a aplicação de pó de chumbo (resíduo) nos substratos, por aspersão térmica.

Figura 1 – Deposição do resíduo de chumbo na forma de pó em substrato metálico – Laboratório de Aspersão Térmica – UFPR.

Para a confecção dos corpos de prova obtidos pelo processo de aspersão térmica, foram seguidas as recomendações da norma NBR IEC61331-1[12] no que se refere a foco estreito. Foram confeccionadas placas com dimensões de 130 mm x 130 mm, com espessura de aspersão de resíduo de chumbo variável (cinco espessuras diferentes de resíduo depositados em substratos de mesma espessura). Estas dimensões foram adotadas, pois, segundo a norma, para feixe estreito, o corpo de prova deve ter dimensões com pelo menos 100 mm x 100 mm. A Figura 2 mostra um revestimento metálico. Os parâmetros usados no processo estão relacionados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros para Aspersão Térmica.

PARÂMETRO	PRESSÃO (PSI)	UNIDADE DE MEDIDA (mm)
Ar comprimido	50	
Oxigênio	50	
Acetileno	50	
Distância pistola - corpo de prova		120
Diâmetro do pó		0,063

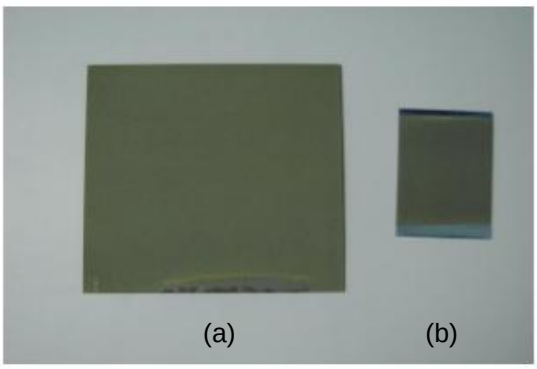


Figura 2 – Revestimento metálico – faces aspergidas. (a) Placa de aço carbono revestida com resíduo de chumbo na forma de pó – 130 x 130 mm (placa utilizada para irradiação). (b) Placa de aço carbono revestida com resíduo de chumbo usada para o ensaio de dobramento.

A caracterização dos revestimentos metálicos foi feita por meio de ensaios de dobramento, medição da rugosidade, da dureza e da espessura média do revestimento.

Para o ensaio de dobramento foi utilizado um equipamento montado no Laboratório de Aspersão Térmica, do Departamento de Engenharia Mecânica, da UFPR, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Equipamento para o ensaio de dobramento.

O ensaio de dobramento fornece uma avaliação qualitativa da ductilidade do revestimento, com a apresentação ou não de trincas na superfície da camada. A metodologia do ensaio seguiu o recomendado pela norma Petrobrás N-2568 [13].

A medição da rugosidade superficial dos revestimentos, pós jateamento abrasivo, foi realizada com o auxílio do rugosímetro digital MITUTOYO SJ-201, seguindo as recomendações da Norma DIN 4768[14]. Foram feitas dez leituras em posições aleatórias no substrato (aço carbono) e outras dez após a deposição do revestimento (resíduo de chumbo na forma de pó). Nas medições de rugosidade foram avaliados o desvio médio aritmético Ra (μm), a altura das irregularidades em dez pontos Ry (μm) e a altura máxima das irregularidades Rz (μm).

A medição da dureza *Vickers* é aplicável a todos os materiais metálicos, de qualquer dureza, especialmente para materiais muito duros ou muito moles, muito finos, pequenos e irregulares, como é o caso do resíduo de chumbo em pó. As medições foram realizadas diretamente sobre a seção transversal de amostras metalográficas. Para cada amostra, cinco pontos foram ensaiados ao longo de uma linha eqüidistante da superfície do revestimento e da interface deste com o substrato. A medida da microdureza foi feita no Labats – Laboratório de Aspersão Térmica, do Departamento de Engenharia Mecânica, da UFPR. A microdureza foi determinada a partir de tabelas que fornecem o valor da dureza *Vickers* em função da média das cinco medições das diagonais da impressão formada e da carga utilizada, no caso, 300 g.

Para a observação das estruturas (metalografia), quantidade de poros no material de revestimento, medida das espessuras das camadas depositadas e controle do processo de aspersão térmica dos revestimentos metálicos, foi utilizado um microscópio ótico Olympus BX 51M com câmera digital, do LaMaTS – Laboratório de Materiais e Tratamentos Superficiais, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR.

A espessura dos revestimentos foi estimada por microscopia ótica[15], com análise visual direta da seção transversal de amostras metalográficas dos corpos de prova. As imagens foram projetadas em um monitor de vídeo e, através de um programa digital de medição, os revestimentos puderam ser medidos em diferentes ampliações. Para cada revestimento, a

espessura foi avaliada ao longo de toda a seção da amostra, sendo realizadas cinco medições e anotada os valores máximos e mínimos.

A análise da morfologia dos revestimentos metálicos foi feita utilizando o microscópio eletrônico de varredura Philips XL 30 do Laboratório de Materiais do LACTEC.

As medidas experimentais para a determinação das propriedades de atenuação da radiação X dos revestimentos metálicos foram realizadas utilizando o arranjo experimental apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Arranjo experimental IEE-USP.

Os ensaios foram realizados no laboratório do IEE-USP, credenciado pelo INMETRO, de acordo com a norma ABNT NBR/IEC 61331-1, empregando um equipamento de raios X Philips MCN 323, que opera entre 15 e 320 kV, foco grosso, corrente variável para as tensões de 80 e 150 kV, com filtração adicional de 0,15 mm e 0,7 mm Cu, respectivamente, utilizando câmaras de ionização RADCAL CORPORATION de volume interno igual a 6cm^3 e monitor de radiação, modelo 1515.
O material analisado foi colocado sobre o suporte metálico e posicionado entre a câmara de ionização e na direção do equipamento radiológico. Tal procedimento foi repetido variando a espessura das placas para obter as medições de atenuação. Foram realizadas medições nos corpos de prova para verificar a determinação e a indicação de suas propriedades de atenuação com as características: 80 kV - 40 mA - 0,15 mm Cu e 150 kV - 24 mA - 0,7 mm Cu, em conformidade com os métodos descritos pela norma ABNT NBR IEC 61331-1: 2004 - Dispositivos de proteção contra radiação X para fins de diagnóstico médico - Parte 1: Determinação das propriedades de atenuação de materiais. As medidas foram feitas na temperatura de 23,8 C e com 35% de umidade relativa do ar, uma vez que estas condições interferem nas leituras de atenuação.

Resultados e Discussões

Caracterização do Resíduo de Chumbo

ANÁLISE MINERALÓGICA (difratograma): Pb ou PbO
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (difração de raio laser): diâmetro médio 9,90μm
AVALIAÇÃO DA FORMA DO PÓ (MEV): pó bastante fino – aglomeração dos grãos
AVALIAÇÃO DA FORMA DO PÓ POR MEIO DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA: A Figura 5 mostra a forma do pó obtido por meio da

reciclagem das placas de baterias automotivas. Pelas fotomicrografias do pó de chumbo (resíduo) pode-se perceber que se trata de um pó bastante fino, com granulometria variada, o que facilita a aglomeração dos grãos.

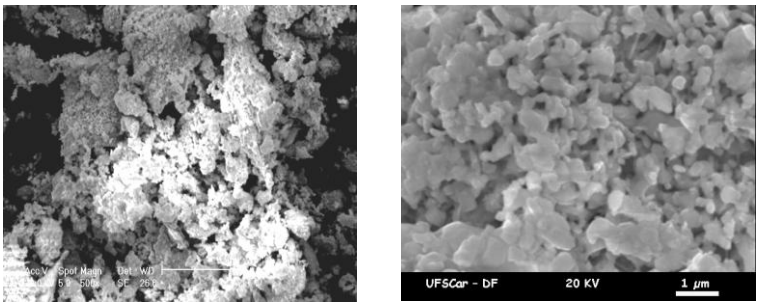


Figura 5 – Fotomicrografia do resíduo de chumbo em forma de pó. (a) Aumento de 500X. (b) Aumento de 16.000X.

Análise Química por Fluorescência de Raios X

A composição química experimental dos revestimentos metálicos está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição química semiquantitativa das amostras de revestimentos com resíduo de chumbo (pó).

COMPOSIÇÃO	QUANTIDADE (%)				
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
Pb	93,4	68,6	93,7	88,9	93,1
Fe	5,8	28,9	5,3	9,3	6,4
Al	0,6	1,3	0,6	1,0	0,3
Si	0,2	0,8	0,3	0,4	0,1
Mg	< 0,1	0,3	0,1	0,3	< 0,1
Cr	< 0,1	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1
Ni	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1

A análise química dos revestimentos metálicos mostra os teores de resíduo de chumbo associado aos outros elementos que formam a liga de aço carbono. Os valores obtidos podem variar, uma vez que a espessura dos revestimentos aspergidos com resíduo de chumbo é variável.

Ensaio de Dobramento

Após as placas de aço ser aspergidas com o resíduo de chumbo, as amostras foram colocadas em uma prensa hidráulica para fazer o dobramento da chapa. A Figura 6 mostra os corpos de prova após o ensaio de dobramento.

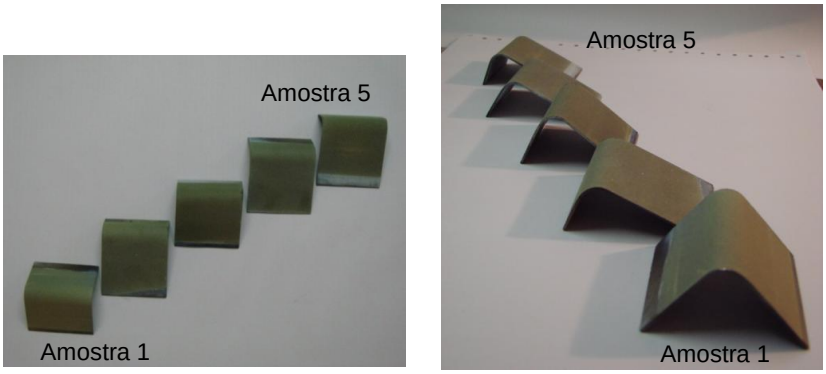


Figura 6 – Resultado do dobramento das amostras aspergidas com resíduo de chumbo (pó). (a) Imagem superior e (b) Imagem lateral das amostras revestidas.

Observa-se, que o revestimento submetido ao ensaio de dobramento não apresenta trincas a olho nu. Isso se deve à boa aderência no substrato e a boa coesão entre as lamelas (panquecas). Conforme a norma Petrobras N-2568, o revestimento não pode ter indícios de laminação, trincamento grosseiro e *debonding* (deslocamento do revestimento). Pode-se afirmar, então, que o revestimento está aprovado e tem excelente aderência e coesão da camada, classificado como ideal. Esses resultados demonstram que as cinco amostras são qualificadas para avaliar a porosidade e a aderência.
O ensaio de dobramento é somente qualitativo. No entanto, é mais adequado que o ensaio de aderência por tração, muito dependente da qualidade do adesivo para colar os corpos de prova, pois, na maioria dos casos, a ruptura ocorre no adesivo. Além disso, o ensaio de aderência por dobramento submete o revestimento a esforços extremos, superiores aos submetidos no ensaio de tração.

Rugosidade

Com o intuito de avaliar a influência da rugosidade na aderência do revestimento e consequentemente nas propriedades de atenuação, foram feitas dez medidas das rugosidades em cada corpo de prova antes e após o processo de aspersão térmica. Os valores médios encontrados foram 7,846±0,698 μm para R_a e 48,203±4,377 μm para R_y respectivamente, valores suficientes para manter a boa aderência do revestimento ao substrato, como verificado no ensaio de dobramento.

Microdureza Vickers

O valor médio obtido para a microdureza transversal da camada foi de 85,641±18,791 HV. Pode-se afirmar que a dureza superficial do revestimento de resíduo de chumbo é pequena, se comparada aos valores do aço carbono – 2100 HV, por exemplo. Porém, todos os valores obtidos foram superiores ao valor de referência para chumbo metálico – 60 HV existente na literatura. Pode-se inferir que a presença de óxido de chumbo no revestimento propicia revestimentos mais resistentes ao desgaste.

Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)

Na Figura 7, observa-se que o revestimento está composto de panquecas e que estas conservam a rugosidade do substrato.

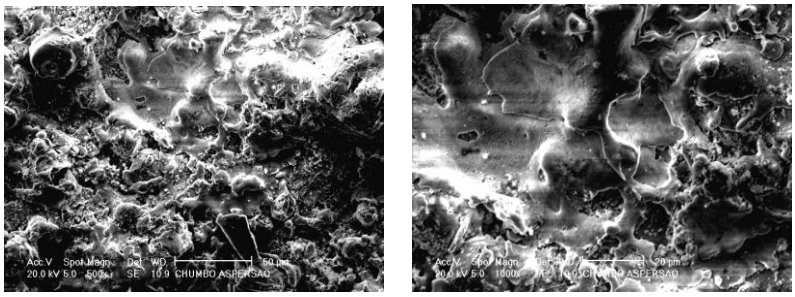


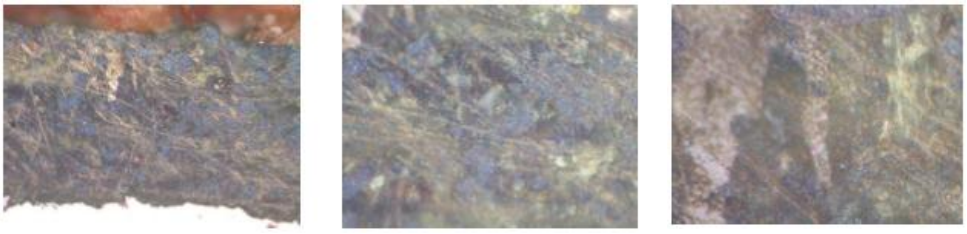
Figura 7 – Fotomicrografia de uma das amostras de aço carbono + RC (pó). Aumento de (500X) e (1000X).

Microscopia Ótica (OM)

As Figuras 8 e 9 mostram o aspecto do revestimento (resíduo de chumbo em forma de pó) sobre o substrato (aço carbono), depositado por aspersão térmica.

(a) (b) (c)

Figura 8 – Micrografia ótica de placas aspergidas com resíduo de chumbo (pó). (a) Superfície do revestimento numa resolução de 200X. (b) Resolução de 500X. (c) Resolução de 1000X.



(a) (b) (c)

Figura 9 – Micrografia ótica de placas aspergidas com resíduo de chumbo (pó). (a) Seção transversal do revestimento numa resolução de 200X. (b) Resolução de 500X. (c) Resolução de 1000X.

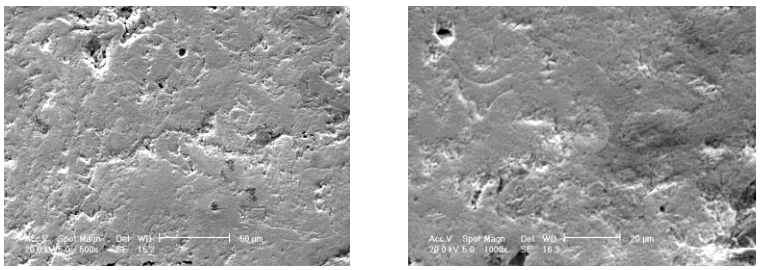
O resultado da espessura média, considerando cinco leituras, do revestimento foi de 51,04 ± 9,65 μm. Após a análise das imagens, percebe-se que houve aderência da camada de resíduo de chumbo em relação ao substrato.

Para a pistola 6P-II – Thermospray Gun da marca SULZER METCO utilizada, observou-se que as partículas de resíduo de chumbo não volatilizaram, devido ao resfriamento no interior da pistola.

Nas Figuras 8 a 9, observam-se a disposição típica de revestimentos aspergidos em camadas tipo panquecas, bastante homogêneos e com pequena quantidade de salpicos. As regiões mais escuras são poros ou vazios, enquanto que as regiões cinza são óxidos formados pelo

contato com o oxigênio. Em geral, pode-se observar que nas amostras, os revestimentos são bastante homogêneos, com pouca oxidação, indicando uma boa aderência.
O controle das espessuras das camadas é uma das características mais relevantes na proteção radiológica. Quanto maior a espessura da camada depositada, melhor será a capacidade de atenuação deste material. Deve-se levar, também, em consideração que a espessura deve ser uniforme, para não haver variação na quantidade de exposição do material. Porém, esta é uma dificuldade real, pois a deposição foi feita manualmente, ocorrendo alguma variação nas espessuras das camadas depositadas.

Com base na Figura 10 obtida por microscopia ótica, que mostra a vista superficial do revestimento, pode-se notar em (a), que o revestimento é bastante homogêneo, com pequenos poros alocados nos contornos das panquecas, e em (b), que na superfície do revestimento é mais notória ainda a homogeneidade, o que caracteriza um excelente revestimento para atuar como barreira.



(a) (b)

Figura 10 – Fotomicrografia da vista da superfície do revestimento de resíduo de chumbo depositado por AT a chama. (a) Aumento de 500X. (b) Aumento de 1000X.

Índice de Atenuação por meio da Irradiação com Raios X

O revestimento metálico que apresentou maior equivalência de espessura em chumbo, no ensaio de raios X para 80kV e 150kV, foi o que teve o valor de rugosidade (R_a) menor, tanto antes como após a aplicação do revestimento. Isto significa que a superfície do revestimento ficou mais plana, com pouca rugosidade.
Os valores das espessuras equivalentes em chumbo resultante das duas condições: 80 kV e 150 kV foram: 1,60 mm do revestimento associado ao aço carbono equivale a 0,31 mm de chumbo para 80 kV e 1,60 mm do revestimento associado ao aço carbono equivale a 0,19 mm de chumbo para 150 kV.
A Tabela 3 e 4 apresentam o Índice de Atenuação (admensional) em relação à espessura do revestimento associado a chapa de aço carbono (mm). As incertezas apresentadas correspondem ao desvio padrão da média de cinco medições em cada posição no corpo de prova.

Tabela 3 - Média dos valores do Índice de Atenuação (*I/Io*) para radiação X, resultantes das medições para diferentes espessuras dos revestimentos (mm) – *(80kV – 40mA - 0,15mmCu).*

ASPERSÃO TÉRMICA			
CHUMBO SÓLIDO		**REVESTIMENTO**	
ESPESSURA MÉDIA (mm)	$F = I/I_O$ (admensional)	ESPESSURA MÉDIA (mm)	$F = I/I_O$ (admensional)
0,000	1,0000 ± 0,0022	0,00	1,0000 ± 0,0000
0,123	0,2114 ± 0,0014	1,51	0,0620 ± 0,0017
0,246	0,0810 ± 0,0028	1,52	0,0608 ± 0,0014
0,369	0,0367 ± 0,0017	1,60	0,0532 ± 0,0014
0,492	0,0158 ± 0,0000	1,72	0,0614 ± 0,0017
0,615	0,0032 ± 0,0000	1,84	0,0582 ± 0,0017

Tabela 4 - Média dos valores do Índice de Atenuação (*I/Io*) para radiação X, resultantes das medições para diferentes espessuras dos revestimentos (mm) – *150kV – 24mA - 0,7mmCu).*

ASPERSÃO TÉRMICA			
CHUMBO SÓLIDO		**REVESTIMENTO**	
ESPESSURA MÉDIA (mm)	$F = I/I_O$ (admensional)	ESPESSURA MÉDIA (mm)	$F = I/I_O$ (admensional)
0,000	1,0000 ± 0,0056	0,00	1,0000 ± 0,0000
0,123	0,5204 ± 0,0009	1,51	0,4374 ± 0,0023
0,246	0,2911 ± 0,0016	1,52	0,4223 ± 0,0026
0,369	0,1694 ± 0,0020	1,60	0,4019 ± 0,0034
0,492	0,0994 ± 0,0023	1,72	0,4271 ± 0,0025
0,615	0,0606 ± 0,0012	1,84	0,4343 ± 0,0027

Conclusões

Esta pesquisa teve como objetivo principal verificar a utilização do resíduo de chumbo em forma de pó, obtido da reciclagem de baterias como revestimento metálico depositado por aspersão térmica, para serem utilizados como barreira de proteção em ambientes sujeitos à radiação ionizante.

A metodologia de deposição por aspersão térmica à chama indica a viabilidade da blindagem de equipamentos que produzem radiações. A deposição do metal por aspersão térmica, que é uma tecnologia que produz revestimentos de metalurgia diferentes da clássica fundição, não é tão difundida quando se trata do metal chumbo, uma vez que ele pode ser perigoso no que se refere à contaminação das pessoas. Neste caso, faz-se necessária uma ampla pesquisa para verificar quais propriedades e características devem ter os revestimentos de resíduo de chumbo, quando produzidos por aspersão térmica, e a forma de aplicação para garantir os riscos à saúde.

No que se refere aos revestimentos metálicos, à contribuição foi o estudo do processo de revestimento do substrato, neste caso, aspersão térmica à chama. Estes materiais também confirmaram sua eficácia para a finalidade especificada (proteção radiológica). Isso se deve à presença de poucos poros nas camadas do revestimento e pela boa aderência ao substrato.

Este processo pode ser aplicado na confecção de blindagens de tubos de raios X e para recuperação de equipamentos de proteção individual, por exemplo, aventais danificados.
Mesmo se tratando de um material classificado como perigoso (RC), de acordo com as normas referentes ao meio ambiente, quando o resíduo de chumbo é reaproveitado na forma de placas ou de revestimentos, aumenta a vida útil do produto (resíduo de chumbo), diminuindo assim o dano ambiental.

Referências bibliográficas

1. NUNES, R. A. X.; SADE, W.; BRANCO, J. R. T.. **Atrito e desgaste de recobrimentos de PET, politeraftalato de etileno, pós-consumo processados por aspersão térmica**. *Polímeros* [online]. 2007, vol.17, n.3, pp. 244-249. ISSN 0104-1428.
2. BARROS,F.S. **Utilização de resíduo de chumbo em forma de pó em compósitos poliméricos e como revestimento em superfícies metálicas, para serem aplicados em instalações radiológicas**. Tese de Doutorado. PIPE – UFPR, Curitiba, 2009.
3. BARROS, F. S. **Determinação das Propriedades de Atenuação de Tijolos Cerâmicos Maciços e Argamassas Baritadas para sua Utilização como Barreira de Proteção em Salas de Radiodiagnóstico**. Dissertação de Mestrado. CPGEI – CEFET-PR, Curitiba, 2001.
4. ARTEL, B. W. H. **A Tolerância dos Polímeros à Radiação. Efeitos da Radiação em Polímeros**. Revista Plástico Moderno, agosto/2000.
5. FRIMAIO, A. **Desenvolvimento de um Material Cerâmico para Utilização em Proteção Radiológica Diagnóstica**. Dissertação de Mestrado. IPEN – USP, São Paulo, 2006.
6. HUSSAIN, R.; ZIA-UL-HAQ; MOHAMMAD, D. **A Study of the Shielding Properties of Poly Ethylene Glycol – Lead Oxide Composite**. Radiation Physics, p. 81-84, 1997. (Journal of Islamic Academy of Sciences 10:3, 81-84, 1997).
7. ABDO, E.; ALI, M. A. M.; ISMAIL, M. R. **Natural Fibre High-density Polyethylene and Lead Oxide Composites for Radiation Shielding**. Radiation Physics and Chemistry, p. 185-195, March 2003.
8. LDAI. **The International Lead A**ssociation. Disponível em: http://www.ldaint.org. Acesso em: 10 jul. 2008.
9. CEMPRE. **Compromisso Empresarial para Reciclagem**. Disponível em: http://www.cempre.org.br. Acesso em: 15 jan. 2009.
10. FERRACIN, L. C. **Desenvolvimento de Processo de Produção de Chumbo Eletrolítico a partir de Sucata de Baterias Automotivas**. 2001. 92 páginas. Relatório Individual Final (Projeto RHAE / CNPq, Processo Institucional No. 610044/98-2). 2001.
11. CHACÓN-SANHUEZA, A. E. ; FONTANETTI, A. R. & BOCCHI, N. **Sistemas Innovadores de Producción de Plomo**. In: International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, VI CTMI, 2004, Concepción, Chile. Anais em CD, 2004.
12. NBR/IEC 61331-1. **Dispositivos de proteção contra radiação-X para fins de diagnóstico médico** - Parte 1: Determinação das propriedades de atenuação de materiais. ABNT, 2004.
13. Norma Petrobrás: **N-2568 – Revestimentos anticorrosivos aplicados por aspersão térmica**. Janeiro, 2003.
14. DIN 4768. **Ermittlung der Rauheitskenngrössen Ra, Rz, Rmax mit Elektrischen Tastschnittgeräten**. Deutsches Institut für Normung e.V., Mai 1990.
15. ASTM B487. **Test Method for Measurement of Metal and Oxide Coating Thickness by Microscopical Examination of a Cross Section**. American Society for Testing and Materials,2007.