

## Sumário

RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA A CORROSÃO E A MACROESTRUTURA DE ZAMAC 5 INJETADO SOB PRESSÃO.....	2
CARACTERIZAÇÃO DO FARELO DE COURO <i>WET BLUE</i> E SEU POTENCIAL DE USO EM ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND.....	7
MATERIAIS MAGNÉTICOS MACIOS OBTIDOS POR METALURGIA DO PÓ COM APLICAÇÃO EM MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS.....	16

# RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA A CORROSÃO E A MACROESTRUTURA DE ZAMAC 5 INJETADO SOB PRESSÃO

Luciane Taís Führ, FEEVALE<sup>1</sup>

Gustavo Alberto Ludwig, FEEVALE<sup>2</sup>

Nínian Roberta Flores Lucas, FEEVALE<sup>3</sup>

Felipe Dalla Vecchia, FEEVALE<sup>4</sup>

Claudia Trindade Oliveira, FEEVALE<sup>5</sup>

**Palavras-chave:** Zamac; porosidades; corrosão; ligas de zinco

## 1. INTRODUÇÃO

O Zamac é uma família de ligas hipoeutetóides de zinco, alumínio, magnésio e cobre, muito utilizada industrialmente [2; 3]. Dentre essas ligas, o Zamac 5 destaca-se como um substituto ao latão para a fabricação de metais sanitários, os quais devem atender normas de resistência à corrosão. Como os metais sanitários são obtidos pelo processo de injeção sob pressão, este trabalho tem por objetivo determinar a relação entre a resistência à corrosão da liga de Zamac 5 e a presença de defeitos de solidificação em peças sem revestimento.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Zamac apresenta grande facilidade de processamento devido ao seu baixo ponto de fusão ( $\pm 380^{\circ}\text{C}$ ) colaborando na durabilidade do molde de injeção. Além disso, a grande fluidez dessas ligas, permite a obtenção de peças de dimensões complexas com paredes finas, representando uma economia de material [4; 5]. Alia-se a isso a facilidade na obtenção de revestimentos protetores e decorativos, com operações de polimento e espelhamento, eletrodeposição de camadas metálicas (cobre, níquel, cromo), camadas de conversão química (fosfatização, cromatização, anodização), pintura e metalização à vácuo [4]. A resistência à corrosão do Zamac é intrínseca às características do próprio metal puro (zinco). Pannonini [6] descreve que, em atmosferas úmidas, o zinco é oxidado, com a formação de hidróxido de zinco, que reage com os constituintes presentes no ar, formando os sais de zinco correspondentes a cada constituinte na interface hidróxido/ar [6]. A corrosão de ligas de zinco ainda é um mecanismo complexo e pouco compreendido [7]. Uma hipótese é que os elementos

<sup>1</sup> Engenheira Industrial Mecânica, mestranda em Tecnologia dos Materiais e Processos Industriais pela Universidade FEEVALE.

<sup>2</sup> Engenheiro Industrial Mecânico, estagiário da Universidade FEEVALE, bolsista

<sup>3</sup> Técnica Química, estudante da Universidade FEEVALE

<sup>4</sup> Doutorando em Engenharia dos Materiais, professor na Universidade FEEVALE

<sup>5</sup> Doutora em Ciência dos Materiais, professora da Universidade FEEVALE

de liga podem concentrar-se na superfície metálica, à medida que o zinco é solubilizado pela corrosão, criando uma barreira de proteção. Outra hipótese refere-se às características de corrosão na microestrutura da liga. Nessa ótica, a corrosão intergranular ganha força, onde há a formação de pequenas pilhas eletroquímicas entre o contorno de grão e as fases ricas em zinco. Formam-se assim vários poros que criam caminhos para que as agressões do ambiente se espalhem pela matriz metálica [5]. Industrialmente, o Zamac 5 é utilizado basicamente em processo de injeção sob pressão. Neste tipo de processo, é comum a formação de porosidades [8; 9; 10]. As porosidades são devidas a gases retidos, que não foram eliminados durante o preenchimento da cavidade do molde. O formato do defeito é arredondado, como uma bolha, de paredes lisas [10]. A solubilidade dos gases retidos aumenta conforme o acréscimo da pressão externa aplicada. Se a pressão aplicada não for suficiente, a nucleação de gases ocorrerá, formando as porosidades [1; 8; 11; 12; 13]. As porosidades, junto com outras características de formação morfológica da matriz metálica, influenciam na resistência a corrosão do material [14; 15; 16].

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho foi utilizada a liga Zamac 5, cuja composição química está mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do Zamac 5 [5]

Composição Química do Zamac 5 (%)							
Al	Cu	Mg	Fe	Pb	S	Cd	Zn
3,9 a 4,3	0,75 a 1,25	0,03 a 0,06	0,075 máx.	0,004 máx.	0,002 máx.	0,003 máx	diferença

As peças em Zamac 5 foram obtidos junto a uma Metalúrgica da Região do Vale dos Sinos, que tem foco de mercado no produto em estudo. A empresa produz peças de paredes finas, em injetoras sob pressão de 125 ton de fechamento. O molde, de duas cavidades, é refrigerado em sistema de geladeira. Com a finalidade de avaliar a influência da temperatura do molde no desempenho das peças, foram coletados corpos-de-prova durante a injeção em diferentes temperaturas de matriz, conforme tabela 2.

Um corpo-de-prova de cada temperatura de molde foi submetido à ensaio de névoa salina, norma ABNT NBR 8094, em ciclos de 8h e 23h de exposição, para verificar a tendência à corrosão. Observaram-se nas peças regiões com diferentes intensidades de corrosão das quais foram cortados corpos de prova para as análises metalográficas por microscopia ótica. Essas regiões foram chamadas de Base (região que não apresentou corrosão), Meio (região com corrosão moderada) e Topo (região com intensa corrosão). Uma

peça não ensaiada em névoa salina foi também cortada, nas mesmas regiões que os corpos-de-prova ensaiados. Nenhum dos corpos-de-prova foi revestido com acabamentos metálicos ou orgânicos.

Tabela 2 – Temperaturas de molde na obtenção dos corpos-de-prova

Amostra	Temperatura do molde	Condição do refrigerante	Amostra	Temperatura do molde	Condição do refrigerante
A	28°C	Fluxo normal	D	40°C	Fluxo normal
B	119,8°C	Fluxo máximo	E	118,3°C	Fluxo máximo
C	149,5°C	Sem fluxo	F	123,1°C	Sem fluxo

#### 4. ANÁLISES

Os corpos-de-prova ensaiados em névoa salina apresentaram em todos os ciclos comportamento similar. Houve presença de corrosão generalizada e por pites em algumas regiões da peça, enquanto que em outras regiões aparentemente não houve corrosão. Observou-se comportamento espelhado em peças de cavidades opostas, onde a região com corrosão em peças de uma cavidade é a região sem tendência à corrosão na outra. Além disso, a temperatura de molde em que foram coletadas as amostras, não apresentou influência no desempenho frente à corrosão.

Observando essas diferenças, escolheu-se aleatoriamente um corpo-de-prova, no qual foi feita metalografia para análise por microscopia ótica. No ensaio, a Base não apresentou defeitos, mostrando uma estrutura de grãos pequenos, homogênea e compacta. No corpo de prova Meio, ao contrário, houve uma quantidade significativa de porosidades. O corpo de prova de Topo apresentou uma quantidade maior de porosidades que o Meio. Resultado similar obteve-se no corpo-de-prova não ensaiado em névoa salina.

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a finalidade de correlacionar a resistência a corrosão da liga de zamac 5 com a presença de defeitos oriundos do processo de injeção da liga, observou-se que a presença de porosidades na estrutura da liga influencia diretamente a resistência à corrosão da liga. Isto foi verificado de acordo com as áreas da amostra apresentaram tendência à corrosão, as quais foram as que também apresentaram porosidades. Além disso, quanto maior a quantidade de defeitos, menor a resistência à corrosão, já que o Topo foi a região que mais apresentou defeito de porosidades e que mais sofreu agressão no ensaio de corrosão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MASOUMI, Mohsen; HU, Henry. Influence of applied pressure on microstructure and tensile properties of magnesium Mg-Al-Ca alloy. **Materials Science And Engineering A**, Canada, n. , p.3589-3593, abr. 2011.
- [2] FAN, C.h. et al. Effects of the casting temperature on microstructure and mechanical properties of the squeeze cast Al-Zn-Mg-Cu alloy. **Journal Of Alloys And Compounds**, China, n. 5042010, p.L42-L45, 01 jun. 2010.
- [3] RUN-XIA, Li et al. Effect of specific pressure on microstructure and mechanical properties of squeeze casting ZA27 alloy. **Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China**, Shenyang, n. 20, p.59-63, 18 mar. 2009.
- [4] METALS HANDBOOK. Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. Editora ASM. Vol.2.
- [5] FLÁVIO PENHA JÚNIOR. Engenheiro. **Apresentação sobre ligas de zinco para fundição**. São Paulo: Grupo Votorantim, 2008.
- [6] FÁBIO DOMINGOS PANNONI (São Paulo). **Princípios da Galvanização à Fogo**. Disponível em: <[www.ztecmetais.com.br](http://www.ztecmetais.com.br)>. Acesso em: 01 maio 2011.
- [7] METALS HANDBOOK. Corrosion. Editora ASM. Vol.13.
- [8] VIJIAN, P.; ARUNACHALAM, V. P.. Optimization of squeeze cast parameters of LM6 aluminium alloy for surface roughness using Taguchi Method. **Journal Of Materials Processing Technology**, India, v. 180, n. , p.161-166, dez. 2006.
- [9] VERRAN, Guilherme Ourique; MENDES, Ruy Patrick Konrad. Simulação numérica e DOE aplicados na melhoria do processo de fundição sob pressão de ligas de alumínio. **Estudos Tecnológicos**, São Leopoldo, v. 2, n. 1, p.13-25, 2006
- [10] FONSECA, Mauro Túlio da. **Geração de defeitos em peças de alumínio obtidas pelo processo de fundição sob pressão**. Itaúna: Senai- Dr.mg, 2004. 93 p.
- [11] KIM, E.s.; LEE, K. H.; MOON, Y. H.. A feasibility study of the partial squeeze and vacuum casting process. **Journal Of Materials Processing Technology**, Korea, n. 105, p.42-48, set. 2007.

- [12] ZHANG, Ming et al. Effect of pressure on microstructures and mechanical properties of Al-Cu-based alloy prepared by squeeze cast. **Transaction Of Nonferrous Metals Society Of China**, China, v. 17, n. , p.496-501, abr. 2007.
- [13] MALEKI, A.; NIROUMAND, B.; SHAFYEI, A.. Effects of squeeze casting parameters on density, macrostructure and hardness of LM13 alloy. **Materials Science And Engineering A**, Irã, n. 428, p.135-140, 2006.
- [14] OSÓRIO, Wislei Riuper et al. Efeito da Macro e Micromorfologia Estruturais na Resistência à Corrosão de Amostras de Zn Puro e da Liga Zn-4%Al. **Revista Materia**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p.428-436, 2005. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10663>>. Acesso em: 29 jul. 2011.
- [15] OSÓRIO, Wislei Riuper. EFEITO DAS DIFERENTES MORFOLOGIAS ESTRUTURAS E TAMANHO. In: CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS, 6., 2002, Salvador. **COTEQ**. Salvador: Coteq, 2002. p. 1 - 12.
- [16] GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1996. 345 p.

## CARACTERIZAÇÃO DO FARELO DE COURO *WET BLUE* E SEU POTENCIAL DE USO EM ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND

Wagner Agnelo Porfirio<sup>1</sup> - Universidade Feevale

Alexandre Silva de Vargas<sup>2</sup> - Universidade Feevale

Patrice de Monteiro Aquim<sup>3</sup> - Universidade Feevale

Palavras chave: Cromo. *Wet blue*. Resíduo. Argamassa.

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria coureiro-calçadista gera grande impacto sobre o meio ambiente. Entretanto, algumas pesquisas estão sendo feitas no sentido de reduzir emissões de resíduos e, conseqüentemente, custos.

O tema abordado nesta pesquisa será a caracterização de farelo de couro *wet blue*, buscando utilizá-lo em argamassas de cimento Portland. Este tema está delimitado no encapsulamento do resíduo tóxico presente no farelo de couro através de sua incorporação em argamassas.

Devido à possibilidade de oxidação do cromo presente no farelo de couro, procurou-se determinar uma forma de utilização do resíduo sem a necessidade de processá-lo, manipulando-o o mínimo necessário. Dessa forma, justifica-se a simples adição das fibras naturais à argamassa.

Durante o processo de curtimento do couro, emprega-se entre 1,5% e 5,0% de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) em relação à massa das peles (PACHECO, 2005). Após o processo de curtimento o couro passa pela etapa de rebaixe, a qual tem por objetivo definir e uniformizar a espessura do couro gerando o resíduo que é um farelo oriundo da rebaixadeira. Este resíduo, é classificado como resíduo classe 1 (Perigoso), devido à presença de cromo III ( $\text{Cr}^{+3}$ ), altamente solúvel em condições de oxidação, podendo transformar-se em cromo VI ( $\text{Cr}^{+6}$ ), carcinogênico. O beneficiamento de uma tonelada de pele pode gerar em torno de 100kg de farelo de couro. Atualmente, o Brasil gera aproximadamente 375 toneladas deste resíduo diariamente (SERRA E OLIVEIRA, 2006).

---

<sup>1</sup> Especialista em Gestão Empresarial, Graduado em Engenharia Civil, Universidade Feevale, acadêmico *stricto sensu*;

<sup>2</sup> Doutor e mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Graduado em Engenharia Civil, Universidade Feevale, Professor e pesquisador;

<sup>3</sup> Doutora e mestre em Engenharia Química, Graduado em Engenharia Química, Universidade Feevale, Professora e pesquisadora;

Diante do problema de destinação final do resíduo contaminado com cromo, buscou-se neste trabalho, caracterizar os resíduos de *wet blue* e incorporá-lo à argamassas de cimento Portland de forma a buscar o encapsulamento do cromo presente na serragem do couro, dentro dos limites permitidos pela norma técnica de resíduos sólidos NBR 10.004.

Quanto ao procedimento, trata-se de uma pesquisa experimental, de abordagem quantitativa e explicativa. Para Gil (2002), pesquisa experimental se dá quando se determina um objeto de estudo, selecionam-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

A coleta de dados se deu através de observação em laboratório, sendo a tabulação e apresentação dos dados efetuada com auxílio de técnicas estatísticas e ferramentas computacionais.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Já foram propostas diversas aplicações e/ou tratamentos para estes resíduos, desde incineração e recuperação dos sais a partir das cinzas até utilização como revestimento acústico na forma de chapas prensadas.

Abreu e Toffoli (2009) testaram o uso dos resíduos solubilizados e eliminados de matéria orgânica como pigmento em esmaltes para cerâmicas convencionais com sucesso. Serra e Oliveira (2006) estudaram o aproveitamento de resíduos de raspas de couro na produção de pisos, sob a ótica de gestão ambiental e de projetos. Dettmer, et al (2010), propôs a recuperação do cromo contido nas cinzas do resíduo incinerado produzindo sulfato de cromo básico. Na Argentina, Trezza e Scian (2007) verificaram que a incorporação dos resíduos de couro contaminados com cromo III na produção de clínquer cimentício gera oxidação para cromo (VI) durante o processo de clínquerização, entretanto consegue-se boa imobilização mantendo os valores de lixiviado abaixo dos limites permitidos.

Conforme Muniz, apud Silva (2006), a resistência à compressão diminui com o aumento percentual de cloreto de sódio adicionado ao concreto. Isto se deve à interferência na cristalização dos produtos de hidratação, tendo em vista que o cloreto de sódio tende a reagir com o aluminato tricálcico e, em consequência, diminuindo a formação da etringita.



De acordo com Trezza e Scian (2007), o cromo pode ser imobilizado na matriz de cimento Portland por meio de uma combinação química com produtos da hidratação do cimento, como por exemplo o silicato de cálcio hidratado ( $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$  ou C-S-H), a etringita ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$  ou  $\text{C}_6\text{-A-S}_3\text{-H}_{32}$ ) ou formando novos compostos (Na-Cr-AFt). No mesmo trabalho também relaciona-se a eficiência da imobilização de metais pesados nas matrizes de cimento Portland à porosidade e distribuição dos poros na microestrutura.

Para o cromo, a legislação brasileira, através da norma técnica ABNT NBR 10004/2004, estabelece como limite máximo, 5mg/L para lixiviação e 0,05mg/L para o ensaio de solubilização. Para o cloreto, é estabelecido limite de 250mg/L no ensaio de solubilização.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Lakatos e Markoni (2007) este item é considerado como o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista.

#### 3.1. Materiais

O farelo de couro foi fornecido por uma indústria de couro situada no Vale do Sinos, Rio Grande do Sul, importante pólo coureiro calçadista do Brasil. O farelo é obtido do rebaixamento do couro *wet blue* curtido ao cromo.

Para preparação da argamassa, foi utilizada areia média comercial, proveniente do rio Jacuí, (densidade de 2,64 t/m<sup>3</sup> e módulo de finura 2,43) extraída na região metropolitana de Porto Alegre. O cimento utilizado foi o tipo Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CPV-ARI-RS) da marca Cimpor.

#### 3.2 Métodos

A caracterização e teste dos resíduos do rebaixamento do couro seguiram quatro etapas: a) caracterização inicial do resíduo através do ensaio de lixiviação; b) determinação do teor de óxido crômico e cloretos no resíduo; c) preparação das argamassas adicionadas de farelo de couro e avaliação do seu desempenho no estado fresco e endurecido; d) verificação da imobilização do cromo incrustado nas argamassas.

## 4. ANÁLISE

### 4.1 Preparação das argamassas e avaliação do desempenho

Diante da necessidade de imobilização do elemento tóxico (cromo) através da adição do resíduo em argamassas de cimento portland, optou-se por utilizar apenas um traço de argamassa, variando-se apenas o teor do resíduo de couro adicionado na mesma. Dessa maneira, neste estudo, foi utilizada uma argamassa 1:3, de grande capacidade de suporte, muito indicada para execução de chapiscos, revestimento de pisos e assentamento de blocos estruturais, ou seja, tem-se um traço caracterizado da seguinte maneira: 1 parte de cimento, 3 partes de areia, 0,48 partes de água e adição de farelo de couro, todos em massa (1:3:0,48:farelo couro).

Através desta definição, partindo-se de um volume mínimo para moldagem de 4 corpos de prova por variação, pode-se expor a mistura de um traço com 1,5% de adição a título de exemplificação: 500g de cimento, 1500g de areia média, 240g de água e 7,5g de raspa de couro.

Foram preparadas quatro amostras de argamassas com adições de 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,5% de farelo de couro em relação à massa de cimento. Além dessas amostras, como amostras de controle, foram preparadas amostras sem adição de resíduo. Todas as variações foram dosadas na mesma seqüência e misturadas em argamassadeira por 1,5 minutos na rotação baixa e 1 minuto na rotação alta.

Após a mistura, fez-se a caracterização da argamassa no estado fresco através do ensaio de consistência com o uso do equipamento flow table. Com a argamassa preparada moldou-se quatro corpos de prova por traço e reservou-se para período de cura, submetendo-os ao ensaio de resistência à compressão aos 7 e 28 dias.

### 4.2 Verificação da imobilização do cromo nas argamassas

Percentuais de cromo obtidos em ensaios de lixiviação do clínquer cimentício produzido com raspas de couro foram semelhantes aos obtidos em raspas de couro *in natura*, indicando grande quantidade de cromo solubilizável. Isso pode explicar a oxidação de Cr (III) em Cr (VI) durante a clínquerização, efetuado em forno elétrico, cuja atmosfera considera-se oxidante (TREZZA e SCIAN, 2007).

### 4.3 Caracterização do farelo de couro e determinação dos teores de óxido crômico e cloretos

Após secagem do material, uma pequena parte foi utilizada para ensaio de lixiviação e solubilização. Os resultados encontrados estão descritos na tabela 1.

**Tabela 1 - Caracterização do farelo de couro *Wet blue*.**

Farelos de Rebaixadeira					
Descrição	Resultados	Unidade	Especificação		Normas
			Mínimo	Máximo	
Teor de Óxido de Cromo	2,02	%	3,5		
Teor de voláteis	45,33	%			NBR 11029
Obs.: Teores obtidos através de titulometria.					

Pode-se verificar que o farelo de couro, submetido à lixiviação, apresenta grande concentração de cromo, comprovando os resultados obtidos por Trezza e Scian (2007), justificando a necessidade do encapsulamento deste resíduo.

Na tabela 2 são apresentados os resultados obtidos para argamassa no estado fresco, com auxílio da *flow table*.

**Tabela 2 – Consistência das argamassas em estado fresco.**

QUANT. FARELO DE COURO	0,00%	0,50%	1,50%	2,50%
Espalhamento (diâm. em cm)	22,05	19,00	14,50	13,50

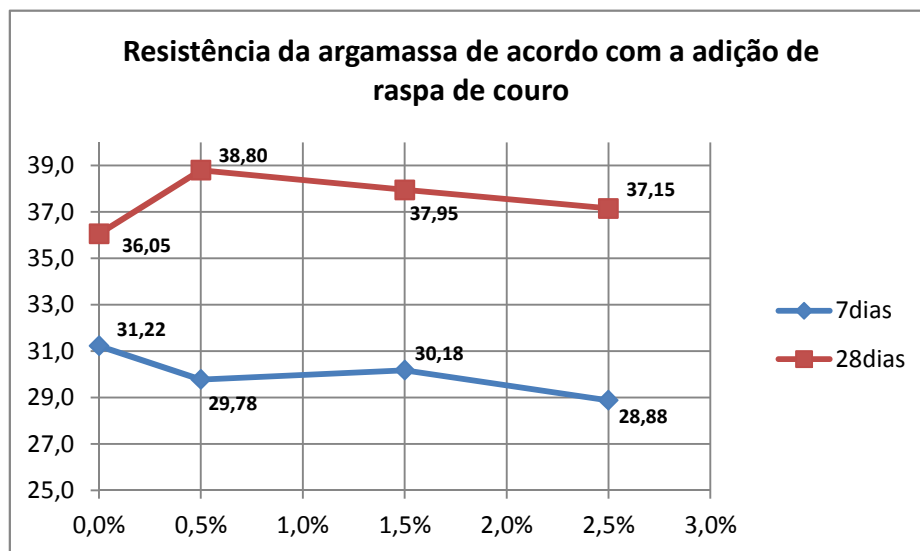
Analisando-se a tabela 2, evidencia-se que a adição de raspas de couro à argamassa prejudica a trabalhabilidade da mesma. Isto é explicado pela capacidade de absorção de água das fibras naturais, reduzindo a água disponível para amassamento da matriz de cimento Portland. Entretanto, pode-se considerá-la como agregado leve, o que normalmente gera menores resistências mecânicas.

Aos sete e aos vinte e oito dias de cura, efetuou-se ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa conforme recomendado pela norma de concreto NBR 5739/1994, obtendo-se os valores da tabela 3.

**Tabela 3 – Resistência à compressão de corpos de prova adicionados de farelo de couro.**

QUANT. FARELO DE COURO	0,00%	0,50%	1,50%	2,50%	2,50% REPET.
RESISTENCIA 7 DIAS	31,22	29,78	30,18	28,88	24,25
RESISTENCIA 28 DIAS	36,05	38,80	37,95	37,15	33,90

A partir da análise da tabela 3, pode-se verificar que a resistência à compressão aos sete dias é diretamente influenciada pela adição do farelo de couro, vindo a reduzir a resistência conforme o nível de adição deste resíduo é aumentado. Entretanto, esta implicação não se repete na idade de controle de 28 dias, sendo que as resistências de todos os corpos de prova estão praticamente em um mesmo patamar, havendo uma certa compensação da deficiência inicialmente apresentada, até o nível de 2,5% de adição, desconsiderando-se a repetição da moldagem de 2,5% por ter apresentado resultados díspares. Este comportamento pode ser mais bem verificado através do gráfico apresentado na figura 2.



**Figura 2 – Resistência de argamassas adicionadas de farelo de couro *Wet blue*. Fonte: autor**

Aplicando-se a análise de variância (ANOVA) para as resistências em função dos teores de raspa utilizados, tabela 4, pode-se afirmar que, as variações de adição de farelo de couro não são significativos para 7 ou 28 dias, ou seja, não se pode afirmar que um percentual de adição resulta melhor resistência que outro. Por outro lado, o fator idade de controle é significativo, conforme esperado para argamassas de cimento Portland.

**Tabela 4 – ANOVA - Análise de variância para resistência x adição de raspa.**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas (idade)	111,788628	1	111,789	66,222099	0,0038801 <sup>1</sup>	10,128
Colunas (teores)	1,88738438	3	0,62913	0,3726871	0,7804625 <sup>2</sup>	9,27663
Erro	5,06425937	3	1,68809			
Total	118,740272	7				

<sup>1</sup> P<0,01: considera-se significativo o fator idade de controle;  
<sup>2</sup> P>0,01: considera-se que não existe diferença significativa entre os teores de raspa.

Para as duas idades de controle, o desvio padrão fica muito próximo de 1MPa, considerado aceitável pela norma de concreto NBR 7212/1984 que preconiza desvio de 1,5MPa para concretos dosados em laboratório. Portanto, de acordo com os ensaios executados, não há contra-indicações para adição do farelo de couro em argamassas, considerando-se apenas os efeitos gerados na resistência à compressão.

#### 4.4 Verificação da imobilização do cromo incrustado nas argamassas

Percebe-se que, aos sete dias, o resíduo tóxico presente no farelo de couro adicionado à argamassa já está encapsulado de forma muito eficiente, sendo que os valores obtidos nos ensaios de lixiviação encontram-se próximos de 1% do limite que norma técnica ABNT NBR 10004/2004 preconiza como aceitável. No caso da solubilização, nem sequer foi possível detectar a presença de cromo, pois a limitação do ensaio é de 0,005mg/L. Entretanto, mesmo que fosse percebida esta concentração mínima para detecção do ensaio, ainda seria considerado aceitável pelos limites estabelecidos em norma. Para a solubilização dos cloretos, a situação é muito semelhante, atingindo aproximadamente 2% do limite tolerável (250mg/L).

Portanto, através dos resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização, pode-se afirmar que, para as argamassas produzidas, em todos os níveis de adição apresentados, existe grande capacidade de retenção do cromo impregnado às fibras de couro adicionadas à mistura já aos sete dias. Pode-se afirmar ainda, de acordo com os ensaios de lixiviação, que houve total encapsulamento do cromo presente nas amostras com idade de controle de 28 dias, quando as reações do cimento já se tornam extremamente reduzidas.

**Tabela 5 – Ensaios de lixiviação, solubilização e resistência à compressão de argamassas (1:3:0,48) adicionadas de farelo de couro wet blue. Para solubilização foram efetuadas três repetições (A, B e C).**

QUANTIDADE COURO	0,00%		0,00% REPET.		0,50%		1,50%		2,50%		2,50% REPET.	
ELEMENTO QUÍMICO	Cloretos	Cromo	Cloretos	Cromo	Cloretos	Cromo	Cloretos	Cromo	Cloretos	Cromo	Cloretos	Cromo
CONCENTRAÇÃO	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
LIXIVIADO 7 DIAS	5,5	0,041	6,3	0,021	5,9	0,058	5,1	0,063	7,2	0,039	6,3	n.d.
LIXIVIADO 28 DIAS	8,5	n.d.	13,5	n.d.	7,3	n.d.	15,5	n.d.	13,3	n.d.	-	-
METODOLOGIA	Titulom.	FAAS	Titulom.	EAAC	Titulom.	FAAS	Titulom.	FAAS	Titulom.	FAAS	Titulom.	EAAC
SOLUBILIZADO 7 DIAS	20,5	n.d.	5,1	n.d.	9,3	n.d.	12,0	n.d.	17,0	n.d.	6,5	n.d.
SOLUBILIZADO 28 DIAS	5,5	n.d.	4,8	n.d.	5,3	n.d.	6,9	n.d.	8,2	n.d.		
METODOLOGIA	Titulom.	EAAC	Titulom.	EAAC	Titulom.	EAAC	Titulom.	EAAC	Titulom.	EAAC	Titulom.	EAAC
RESISTENCIA 7 DIAS	31,22				29,78		30,18		28,88		24,25	
RESISTENCIA 28 DIAS	36,05				38,80		37,95		37,15		33,90	
<b>Limites NBR10004/2004:</b> Para o cromo 5mg/L na lixiviação e 0,05mg/L para solubilização. Quanto aos cloretos, 250mg/L na solubilização.												

## 5 CONCLUSÕES

A adição da raspa de couro até 2,5% em relação à massa de cimento não influenciou de forma negativa na resistência à compressão da argamassa. Além disso, não houve desprendimento do cromo por lixiviação ou solubilização da argamassa no estado endurecido, especialmente para idades de controle acima de 28 dias.

Demonstrou-se, através dos ensaios, que há possibilidade de evitar a destinação do farelo de couro para depósitos de resíduos perigosos, incorporando-o, de maneira muito simples à processos corriqueiros da construção civil. Esta incorporação é eficiente para encapsular o cromo retido no farelo e pode ser uma oportunidade de negócio àqueles que se sujeitem a utilizá-lo na composição de argamassas.

Por outro lado, considerando-se que não foram feitos ensaios de longa duração, recomenda-se a continuidade desta avaliação verificando-se à capacidade da manutenção do encapsulamento do cromo em longo prazo.

## 5 REFERENCIAS

PACHECO, José Wagner Faria. **Curtumes**. São Paulo : CETESB, 2005. 76 p. (1 CD) : il. ; 30 cm. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acessado em: 25/03/2011

SILVA, Djalma Ribeiro. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade**. Tese (Doutorado), UFRN, Natal, RN, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005: Lixiviação de resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7212: Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro, 1984.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo, Atlas, 2002.

SERRA, José Roberto; OLIVEIRA, Otávio José de. **Um estudo inicial sobre a oportunidade de aproveitamento de resíduos de raspas de couro na produção de pisos**. XIII SIMPEP. Bauru, SP, Brasil, 2006.

ABREU, M. A.; TOFFOLI, S.M.. **Characterization of a chromium-rich tannery waste and its potencial use in ceramics**. *Ceramics International* 35 (2009) 2225-2234. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/ceramint](http://www.elsevier.com/locate/ceramint)>

DETTMER, A.; NUNES, K. G. P.; GUTERRES, M.; MARCÍLIO, N. R.. **Production of basic chromium sulfate by using recovered chromium from ashes of thermally treated leather**. *Journal of Hazardous Materials* 176 (2010) 710-714. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/jhazmat](http://www.elsevier.com/locate/jhazmat)>

TREZZA, M.A.; SCIAN, A.N.. **Waste with chrome in the Portland cement clinker production**. *Journal of Hazardous Materials* 147 (2007) 188-196. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/jhazmat](http://www.elsevier.com/locate/jhazmat)>

## 1. Título

### **Materiais magnéticos macios obtidos por metalurgia do pó com aplicação em máquinas elétricas rotativas**

#### 1.1. Autores

**Moisés de Mattos Dias** – Doutor em Engenharia Metalúrgica – UFRGS. Engº eletricista – UFRGS. Professor Titular Engenharia Elétrica - FEEVALE

**Raul Faviero de Mesquita** – Esp. em Eletrônica de Potência - UFSC. Engº eletricista - PUCRS. Aluno no Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais da FEEVALE.

#### 1.2. Palavras-chave

Materiais. Magnéticos. Macios. Metalurgia. Pó.

#### 1.3. Justificativa

Necessidade de se estabelecer comparativos de características de funcionamento e de custos de produção com relação à produção de motores de iguais dimensões e potência, mas com processo distinto de fabricação.

#### 1.4. Objetivo

Construir núcleos de materiais magnéticos macios compactados a partir de processos da metalurgia do pó (M/P), com vistas à aplicação em máquinas elétricas rotativas de tamanho reduzido e baixa potência.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Metalurgia do pó

A metalurgia do pó (M/P) é um processo da metalurgia de transformação, onde as peças são obtidas a partir dos pós constituintes. Os processos básicos da M/P são [8]:

- Obtenção do(s) pó(s)
- Mistura
- Compactação
- Sinterização
- Retificação (quando necessário)

Para a obtenção do pó, onde o tamanho, a forma e a distribuição dos grãos são características importantes para a produção de peças sinterizadas, é empregado, dentre outros, o método mecânico da moagem do material. Esta é executada, em geral, em um moinho de bolas, o qual é constituído de um tambor horizontal rotativo contendo esferas metálicas em seu interior.



O tambor é colocado a girar em baixa rotação e as esferas são elevadas pela atuação da força centrífuga em conjunto com o atrito da parede interna, ao atingirem determinada altura no interior do tambor, caem sobre os grãos do material, ao mesmo tempo em que também se chocam entre si com os grãos entre elas, isto proporciona a desintegração gradativa dos grãos do material, transformando-os em pó.

Antes da compactação, o pó é misturado até obter-se uma mistura homogênea. Nesta etapa, a mistura tem a finalidade também de diminuir algumas imperfeições (dimensões dos poros), devendo ser executada igualmente para pós puros. O próximo passo consiste em inserir o pó numa matriz e compactá-lo, procedimento realizado pela pressão exercida por dois punções, um superior e outro inferior, à temperatura ambiente. A força dos punções sobre o pó na matriz proporciona o aumento na densidade do material, devendo ocasionar uma deformação plástica dos grãos, de modo que após a ejeção da matriz a peça compactada permaneça em sua forma final.

A peça compactada e ainda não sinterizada recebe a denominação de compactado verde, sendo uma peça frágil. A resistência mecânica é obtida somente após o processo de sinterização, que consiste em colocar-se a peça compactada em um forno contínuo com atmosfera controlada. O forno é constituído de três zonas de operação: zona de preaquecimento, zona de aquecimento, onde a temperatura tem valor de 70% a 80% da temperatura do ponto de fusão do metal base, e zona resfriamento. Em cada um dos estágios do forno a peça deverá permanecer por um período de tempo de acordo com as características desejadas para a peça sinterizada.

O emprego do processo da M/P na fabricação de núcleos de máquinas elétricas apresenta as seguintes vantagens com relação aos processos tradicionais:

- Menor custo de produção;
- Menor energia inercial;
- Maior torque para o mesmo volume;
- Menor tempo de produção;
- Possibilidade da construção em dimensões reduzidas.

O material magnético empregado na construção dos núcleos do estator e do rotor de máquinas elétricas rotativas deve apresentar as seguintes propriedades [20]:

- Alta permeabilidade magnética relativa;
- Baixa resistividade elétrica;

- Baixa coercitividade magnética;
- Baixas perdas por ciclos de histerese;
- Elevada indução magnética de saturação.

Os materiais sinterizados mais comumente empregados na fabricação dos núcleos magnéticos de máquinas elétricas (materiais magnéticos macios) são os seguintes [10]:

- Ferro Puro;
- Ligas Ferro-Fósforo;
- Ligas Ferro-Silício e ligas Ferro- Fósforo-Silício;
- Ligas Ferro-Níquel.

Portanto, as máquinas elétricas rotativas fabricadas a partir da Metalurgia do Pó encontram aplicações de imediato no ramo da biomedicina, onde são exigidas dimensões reduzidas para sua utilização no corpo humano, na indústria automobilística, com a substituição dos motores CC nos veículos por motores CA controlados por inversores.

Logo, um desafio que se apresenta para os engenheiros de tecnologia de materiais está na obtenção de materiais magnéticos com custos mais baixos que atendam as propriedades descritas acima, ou seja, materiais magneticamente macios, em que os ciclos de histerese formam curvas estreitas com alta indução magnética de saturação.

### **3. METODOLOGIA - PARTE EXPERIMENTAL**

#### **3.1. OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA**

Para a análise das propriedades físicas do material sinterizado há a necessidade da sinterização de peças que servirão para a execução dos testes necessários para o levantamento das propriedades mecânicas, magnéticas e de resistividade elétrica com o objetivo de verificar se os núcleos sinterizados atenderão às propriedades desejadas.

Assim, para tal intuito o pó de ferro puro obtido por moagem é primeiramente colocado em um misturador, de forma a se obter uma melhor homogeneização dos grãos na amostra. A seguir, o pó é inserido em uma matriz e prensado.

Os corpos de prova são compactados a uma pressão de 600 MPa [20].

#### **3.2. Obtenção do Pó de ferro puro**

O pó de ferro puro será obtido pelo método da moagem úmida em um moinho de bolas, visto que quando as dimensões dos grãos atingem valores menores que a micra, estes têm a

tendência de se incendiarem. Assim, a moagem será realizada até que se obtenham os grãos de ferro com a menor dimensão possível.

### **3.3. Mistura do pó**

A fim de homogeneizarem-se os grãos, pois estes são produzidos com forma e tamanho diversos durante o processo de moagem, será feita a mistura do pó de ferro. Com isto, obtém-se uma maior ocupação dos interstícios pelos grãos, conseqüentemente, um aumento na densidade quando é feita a compactação do pó na matriz.

### **3.4. Compactação**

Para a compactação do pó deve ser construída uma matriz específica para cada parte do núcleo do motor, ou seja, uma para o estator e outra para o rotor.

A seguir, o pó é inserido nas respectivas matrizes e compactados em uma prensa com pressão calculada a partir das dimensões das peças.

### **3.5. Sinterização**

Os compactados verdes das peças magnéticas são colocados em um forno com atmosfera e temperatura controladas de forma a serem sinterizados, sendo levados à temperatura de 500°C em 30min, permanecendo nesta temperatura durante 40min, a seguir são levados à temperatura de 1120°C em 45min, permanecendo nesta temperatura por 40min, em seguida são resfriados naturalmente [20].

## **3.6. OBTENÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS CORPOS DE PROVA**

### **3.6.1. CICLOS DE HISTERESE**

Na determinação das propriedades magnéticas básicas dos materiais utilizados em núcleos de máquinas elétricas rotativas faz-se o uso da norma ASTM A773 (*Standard Test Method for dc Magnetic Properties of Materials Using Ring and Permeameter Procedures with dc Electronic Hysteresigraphs*), a qual determina o método e as condições para realizar-se a “plotagem” das curvas de magnetização dos materiais magnéticos.

### **3.6.2. RESISTIVIDADE ELÉTRICA**

A obtenção da resistividade elétrica de uma peça sinterizada é realizada por método indireto. Para uma maior precisão em materiais com resistência elétrica muito baixa, aplica-se

uma corrente elétrica constante à peça e mede-se a tensão resultante. Assim, para a determinação da resistividade elétrica da amostra sinterizada utiliza-se a equação dada por

$$\rho = R \frac{A}{l} = \frac{V}{I} \cdot \frac{A}{l}$$

Onde:

**R** : Resistência Elétrica[Ω]

**V** : Tensão Elétrica Aplicada [V]

**I** : Corrente Elétrica Aplicada [A]

**A** : Área da Seção Transversal da Barra [m<sup>2</sup>]

**l** : Comprimento da Barra [m]

### 3.6.3. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Para as características mecânicas dos corpos de prova tem-se especial interesse na ductibilidade e na resistência à tração, tendo em vista os esforços a que o motor será submetido em operação.

Assim, os corpos de prova serão submetidos aos ensaios de Dureza Brinell e de resistência à tração segundo as normas ASTM E10 (Standard Test Methods for Brinell Hardness of Metallic Materials) e ASTM E9 (Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature).

## 4. RESULTADOS ESPERADOS

Para os resultados a partir dos vários ensaios realizados aqui descritos espera-se obter núcleos com baixa coercitividade, alta indução magnética máxima e perdas magnéticas compatíveis com os núcleos produzidos pelos processos convencionais de motores de maior porte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – NASAR, S.A. Handbook of Electric Machines. New York, McGraw-Hill, 1987.
- [2] – FITZGERALD, A.E, KINGSLEY, Jr. C, UMANS, S.D. Electric Machinery. New York, McGraw-Hill Inc, 1990. 599p.
- [3] – JANSSON, P. Soft Magnetic Materials for A.C. Applications. Hoeganes A.B., Hoeganes Swed, Powder Metallurgy, v.35, n.1, 1992. p.63-66.
- [4] – KRAUSE, R.F., BULARZIK, J.H., KOKAL, H.R. New Soft Magnetic Material for AC and DC Motor Applications. Magnetics Inc, Burns Harbor, IN, USA. Journal of Materials Engineering and Performance, v.6, n.6, Dec. 1997. p.710-712.
- [5] – JILES, D. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials. London, Chapman and Hall, 1991.440p.
- [6] – KRAUS, J.D. & CARVER, K.R. Eletromagnetismo. R.Janeiro, Guanabara, 1978. 780p
- [7] – BRADBURY, S. Powder Metallurgy Equipment Manual. New Jersey, USA, MPIF, 1986. 199p.
- [8] – GERMAN, R.M. Powder Metallurgy Science. New Jersey, Metal Powder Industries Federation, 1984, 279p.
- [9] – LUBORSKY, F.E., LIVINGSTON, J.D., CHIN, G.Y. Magnetic Properties of Metals and Alloys. Physical Metallurgy. Amsterdam: Elsevier Science, 1996. [08]
- [10] – LALL, C; BAUM L.W. High Performance Soft Magnetic Components by Powder Metallurgy and Metal Injection Molding, Modern Developments in P/M, v.18, 1998. p.363-389.
- [11] – LALL, C. The Effect Sintering Temperature and Atmosphere on the Soft Magnetic Properties of P/M Materials, Advances in Powder Metallurgy, v.3, 1992.
- [12] – JAMES, B. A., WILLIAMS, G. Review of the Magnetic Properties of Sintered Iron. Powder Metallurgy, v.22, n.2, 1979. p.75-85.
- [13] – LANDGRAF, F.J.G., PLAUT, R.L. Efeito do Tamanho de Grão na Permeabilidade Magnética Máxima da Liga Ferro 47,5% Níquel, Metalurgia – ABM, v.45, n.380, 1989. p.677-681.
- [14] – MOYER, K.H. The Effect of Proposity on the Properties of Iron Compacts. Riverton, N.J. Hoeganes Corporation, 1980.
- [15] – LENEL, F.V. Magnetic Applications. Metals Hadbook, v.7, 1984. p.638-641.

- [16] – BAS, J. A., PUIG, J., MOLINS, C.B. Soft Magnetic Materials in P/M: Current Applications and State-of-the-Art. Modern Developments in Powder Metallurgy, Princeton, New Jersey. Metal Powder Industries Federation, v.18, 1988. p.745-756.
- [17] – ESSWEIN JUNIOR, JORGE ALBERT LEWIS – Desenvolvimento de Compósitos Magnéticos Macios Utilizados em Núcleos de Máquinas Elétricas - Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – UFRGS – 2009
- [18] – SITE [www.essel.com.br/cursos/material/01/ProcessosFabricacao/65proc.pdf](http://www.essel.com.br/cursos/material/01/ProcessosFabricacao/65proc.pdf), acessado em 26/06/2011.
- [19] – TELECURSO 2000 PROFISSIONALIZANTE – Mecânica, vol. 4
- [20] – Dissertação de Mestrado “Desenvolvimento de Compósitos Magnéticos Macios Utilizados em Máquinas Elétricas” – Jorge Alberto Lewis Esswein Junior – UFRGS -2009