

- 3.03.99 - Engenharia de Materiais e Metalúrgica

## **APLICAÇÃO DE REJEITOS DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA DE CORUMBÁ-MS COMO AGENTE ESPUMANTE NA FABRICAÇÃO DE ESPUMAS VÍTREAS**

Gleicy Kelly M. Lauro<sup>1\*</sup>, Felipe Fernandes de Oliveira<sup>2</sup>

1. Estudante do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Mato Grosso do Sul (IFMS)
2. Professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Mato Grosso do Sul (IFMS), *campus* Corumbá / Orientador

### **Resumo**

A preocupação com o meio ambiente tornou-se uma pauta de enorme importância na contemporaneidade, desta forma o aproveitamento de resíduos sólidos são bem-aceitos tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Por esta razão a utilização de espumas vítreas vem crescendo constantemente na área de materiais e construção civil, permitindo o uso como isolamento térmico em edificações e maior conforto térmico. O presente trabalho tem como propósito estudar a viabilidade da utilização dos rejeitos siderúrgicos de Corumbá-MS como agentes espumantes das espumas vítreas. Os corpos de provas foram moldados utilizando 5% de agente espumante (escória (E), finos de carvão vegetal (FCV) e pó de balão (PB)) em matriz vítrea. As composições foram queimadas a 900°C por 30min. Para a caracterização tecnológica foram realizados ensaios de FRX, DRX, granulometria e expansão volumétrica. Os resultados apresentam potencial de produção de espumas empregando FCV e PB, com expansão volumétrica de até 82%.

**Palavras-chave:** cerâmicas porosas; resíduos sólidos; expansão volumétrica.

**Apoio financeiro:** CNPq

### **Introdução**

A preocupação com o meio ambiente tornou-se muito recorrente no cenário contemporâneo, tendo por conseguinte o anseio de reciclar e dar uma destinação adequada aos resíduos sólidos, possibilitando ademais a fabricação de novos materiais com maior valor agregado. Casagrande et al. (2008) afirmam que as indústrias de fabricação e transformação de materiais produzem, em maior ou menor grau, uma certa quantidade de resíduos que nem sempre são reaproveitados ou têm um destino ecologicamente correto<sup>[1]</sup>.

O vidro é o resíduo sólido que mais demora a se decompor na natureza. Apesar de ser 100% reciclável, no Brasil, apenas 46% das embalagens de vidro são recicladas, totalizando cerca de 390 mil toneladas por ano<sup>[2]</sup>. Um outro viés com alto potencial para fabricação de materiais a base de vidro são as chamadas vitrocerâmicas.

As espumas vítreas são vitrocerâmicas economicamente rentável que não apenas possibilita o uso das sucatas de vidro como também abre um leque de possibilidades para adição de agentes espumantes à base de outros resíduos sólidos. São obtidos através da queima acima da temperatura de amolecimento do vidro, juntamente com a temperatura de decomposição dos agentes espumantes, ambos finamente moídos.

Os poros desejados no material são formados pelos agentes espumantes que durante a queima produzem gases que resultam em poros de tamanho dependente das partículas do agente, podem ser sintéticos ou naturais<sup>[3, 4]</sup>. Por este motivo, a utilização de um agente porogênico de baixo impacto ambiental viabiliza a fabricação de um material alternativo 100% reciclável, agregando enorme valor ao produto final obtido.

Devido suas propriedades como baixa condutividade térmica, baixa densidade aparente com alta resistência mecânica, incombustibilidade e trabalhabilidade, as espumas vítreas possuem boa empregabilidade no ramo de isolamento térmico. Nesta circunstância, o presente trabalho tem por objetivo o estudo da viabilidade da utilização dos rejeitos siderúrgicos de Corumbá-MS na atuação como agentes espumantes das espumas vítreas, para posterior aplicação como isolantes térmicos na construção civil.

### **Metodologia**

Para a fabricação dos corpos vitrocerâmicos foram empregados como matriz vítrea, vidros de garrafa de bebidas não-retornáveis de coloração marrom e como agentes formadores de poros foram utilizados escória (E), finos de carvão vegetal (FCV) e pó de balão (PB). As composições químicas das matérias-primas foram obtidas por Fluorescência de Raios X (Shimadzu, modelo EDX-720).

As distribuições granulométricas do vidros e agentes espumantes antes e após a moagem foram medidas por um granulômetro a laser (Bettersizer, modelo S2-WD). Para a verificar a estrutura cristalina do vidro, escória, finos de carvão vegetal e pó de balão, foi utilizada a técnica de difração de raios X (DRX) em equipamento Shimadzu (modelo 6100) com fonte de radiação de cobalto (Co), variando de 10° - 80° com velocidade de varredura de 2°/min.

A perda de massa dos agentes espumantes foi verificada por ensaio de perda ao fogo. As amostras

previamente secas tiveram suas massas medidas antes e após a queima a 1000°C por 1h com taxa de aquecimento de 10°C/min.

Os corpos de prova foram confeccionados com 5% de agentes espumantes moídos em moinhos de bola. Adotou-se nomenclaturas de V+E, V+FCV, V+PB, sendo V o vidro, E a escória, FCV os finos carvão vegetal e PB o pó de balão para cada formulação das amostras. As formulações foram preparadas em argamassadeira de 5L (SOLOTEST), adicionando-se 50% de água em peso, misturados por 1 minuto em velocidade mínima e 2 minutos em velocidade máxima. As massas obtidas foram vertidas em moldes de silicone com formatos cilíndricos possuindo diâmetro e espessura de aproximadamente 28 e 12 mm respectivamente. As amostras foram secas por 48h em temperatura ambiente e queimadas a 900°C com tempo de patamar de 30 minutos utilizando um forno elétrico do tipo mufla com taxa de aquecimento de 2,5°C/min.

A fim de analisar a propriedade física do material, os corpos de prova foram caracterizados por meio de expansão volumétrica. Para isso as peças foram medidas quanto ao diâmetro e a espessura realizadas com paquímetro em três pontos distintos antes da queima das peças para estimar o volume inicial das amostras. Após a queima as amostras foram inseridas em provetas graduadas contendo areia granulada com o volume pré-determinado, os volumes das peças após a queima foram estimados pelo deslocamento da areia após a inserção completa das amostras, desta forma foram estimados os volumes finais das amostras. Com os resultados dos volumes foi possível obter a expansão volumétrica das amostras através da seguinte equação:

$$\text{Expansão Volumétrica} = [ ( V_f - V_i ) / V_i ] \times 100 \quad \text{equação 1}$$

Onde:  $V_i$  = Volume antes da queima ( $\text{cm}^3$ ),  $V_f$  = Volume após a queima ( $\text{cm}^3$ ).

## Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta a composição química na forma de óxidos e perda ao fogo das matérias-primas empregadas na fabricação das amostras estudadas. O vidro e escória apresentaram  $\text{SiO}_2$  e  $\text{CaO}$  de forma predominante em suas composições químicas. Além disso, a perda ao fogo para ambas as matérias-primas foi baixa, sendo de 1,7 e 0,0% para o vidro e escória, respectivamente. A escória é proveniente do processo de fabricação do ferro-gusa, sendo caracterizada como escória vítrea, a inexistência de perda ao fogo pode indicar baixa capacidade de atuação como agente espumante.

Por outro lado, a perda ao fogo das amostras FCV e PB apresentaram valores de 80,39 e 30,83%, sendo teores interessantes para a formação de gases e conseqüentemente da estrutura porosa requerida para as espumas vítreas. A elevada perda ao fogo se deve a quantidade de carbono presente nos finos de carvão vegetal e no pó de balão. Ambas as matérias-primas apresentaram composições químicas semelhantes, com exceção do alto teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  para o PB, decorrente do processo siderúrgico.

Tabela 1 - Composição química obtida por FRX das amostras empregadas no trabalho: vidro (V), escória de alto forno (E), finos de carvão vegetal (FCV) e pó de balão (PB).

Composição (%)	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SO}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{SrO}$	$\text{ZnO}$	Outros	PF (%)
V	76,00	14,20	3,81	1,71	1,56	0,58	0,12	0,11	0,07	0,07	0,07	1,7
E	43,56	45,21	-	0,97	3,48	2,01	0,57	-	0,44	-	3,76	-
FCV	9,63	3,21	2,54	0,66	1,97	0,87	0,34	0,02	0,02	0,01	0,34	80,39
PB	8,10	2,28	4,29	1,44	50,81	1,07	-	-	0,06	0,04	1,08	30,83

\* - PF: perda ao fogo.

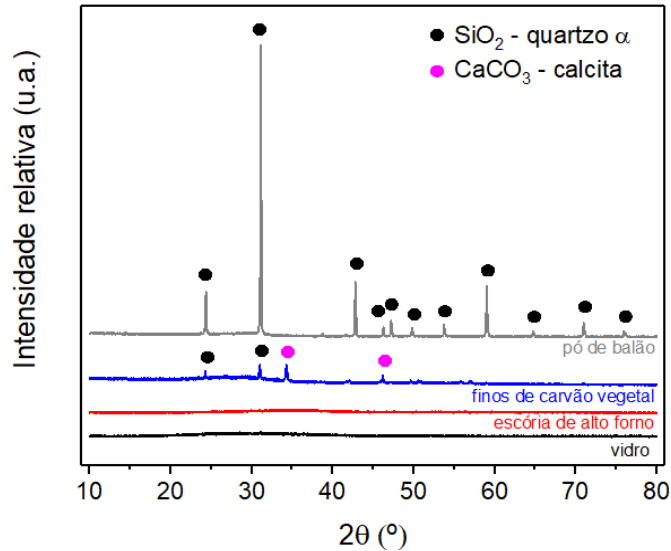
A distribuição granulométrica das matérias-primas antes e após a moagem podem ser visualizadas na Tabela 2. O processo de moagem permitiu uma diminuição no tamanho de partículas em todas as faixas granulométricas. O vidro empregado no processo de confecção das espumas apresentou tamanho máximo de partícula de 28,23  $\mu\text{m}$  o que permite boa interação com o agente espumante e um amolecimento homogêneo durante o processo de queima. Os agentes espumantes E, FCV e PB apresentaram valores na faixa de 90% das partículas ( $D_{90}$ ) com tamanho máximo aproximado de 54, 67 e 142  $\mu\text{m}$ . Segundo Pokorny (2006), para material particulado grosseiro, com tamanho acima de 180  $\mu\text{m}$ , o processo de espumação não ocorre<sup>[5]</sup>. Em análise, é possível verificar que as granulometrias após a moagem ficaram adequadas ao processo de obtenção das espumas.

Tabela 2 - Composição química obtida por FRX das amostras empregadas no trabalho: vidro (V), escória de alto forno (E), finos de carvão vegetal (FCV) e pó de balão (PB).

Amostra	D10 ( $\mu\text{m}$ ) D50 ( $\mu\text{m}$ ) D90 ( $\mu\text{m}$ )		
	sem moagem	moída	moída
V	-	-	-
	2,55	11,04	28,23
E	257,60	517,00	763,00
	1,723	16,27	54,07
FCV	7,45	53,60	227,30
	2,93	16,21	67,11
PB	227,30	212,90	471,20
	3,29	22,44	141,90

A Figura 1 apresenta o difratograma do vidro e dos agentes espumantes, sendo possível observar que a escória e o vidro demonstram caráter vítreo, sendo completamente amorfos. O PB apresenta picos característicos dos planos cristalinos respectivos a fase quartzo  $\alpha$  ( $\text{SiO}_2$ ) com número de identificação 00-033-1161 do *International Centre for Diffraction Data* (ICDD). A amostra FCV apresenta picos característicos tanto da fase quartzo  $\alpha$  ( $\text{SiO}_2$ ) quanto da fase calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) com identificação ICDD 00-005-0586. A presença de carbonato de cálcio pode contribuir com a formação de gases durante a queima, aumentando o processo de espumação.

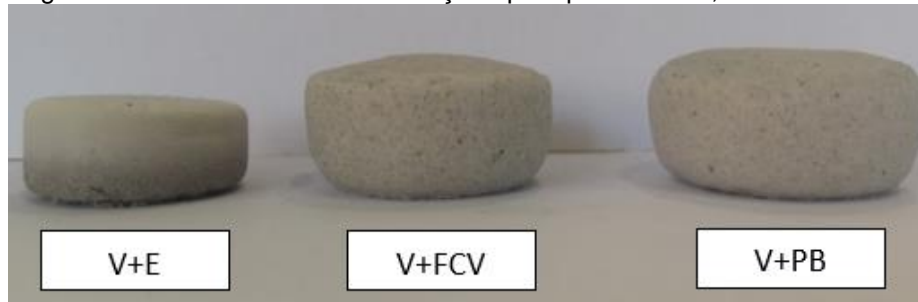
Figura 1. Difração de raios X das matérias-primas empregadas na produção das espumas.



(fonte: própria autora)

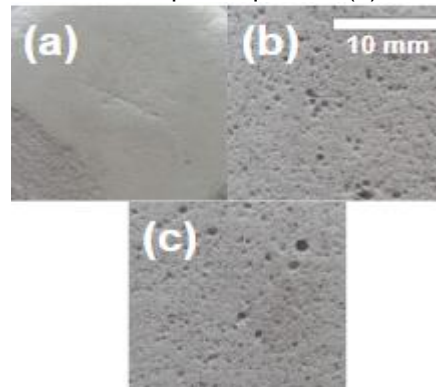
O aspecto visual dos corpos de prova após a queima é mostrado na Figura 2. Verifica-se que a formulação V+E não produziu expansão. Contudo, as formulações V+FCV e V+PB apresentaram expansão volumétrica facilmente observada. Na Figura 3 é possível observar a superfície das amostras, sendo densa para V+E e porosa para V+FCV e V+PB. Com isso, é possível afirmar que FCV e PB são capazes de promover a formação de poros, atuando como agentes espumantes.

Figura 2. Amostras de cada formulação após queima: V+E, V+FCV e V+PB.



(fonte: própria autora)

Figura 3. Porosidade das amostras após a queima: (a) V+E, (b) V+FCV e (c) V+PB.



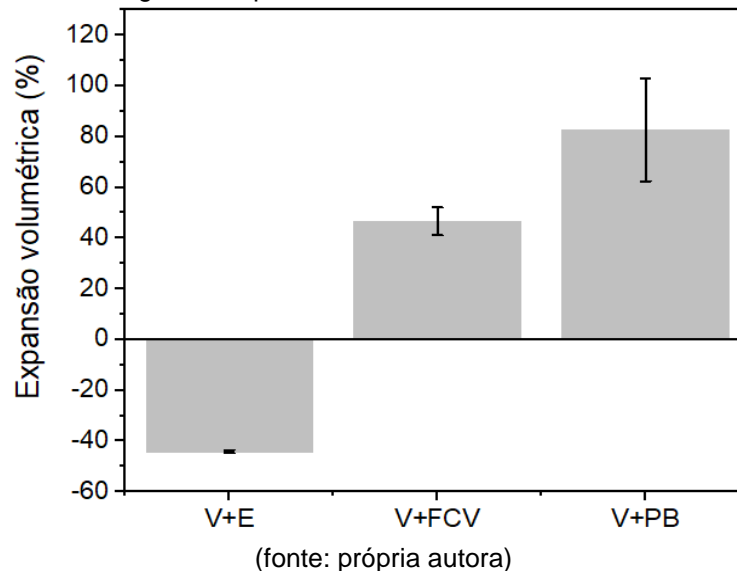
(fonte: própria autora)

A Figura 4 apresenta os resultados de expansão volumétrica com as diferentes formulações, nota-se que a formulação com V+E retrairam mais de 40%, um comportamento parecido ocorreu na pesquisa de Silva

(2018) com as espumas queimadas a 700°C. Quando o vidro amolecido inicia o fechamento de poros e o processo de densificação torna-se necessário que ocorra a formação de gás por parte do agente espumante para causar a expansão desejada [4, 5]. A inexistência de perda de massa para a escória sugere que a formulação V+E não tem potencial de expansão, conforme comprovado na análise visual.

A formulação de V+PB obteve maior valor de expansão, sendo de 82%. Como apresentado no DRX os FCV e PB apresentaram  $\text{CaCO}_3$  o que pode ter contribuído para a formação dos gases e a expansão dos corpos em altas temperaturas. Além disso, a perda ao fogo observada para FCV e PB demonstram que os mesmos sofrem elevada decomposição com perda de massa.

Figura 4 – Valores de expansão volumétrica das amostras queimadas a 900°C por 30 min utilizando diferentes agentes espumantes: V+E, V+FCV e V+PB.



### Conclusões

Foi possível obter espumas vítreas a partir de resíduos sólidos da indústria siderúrgica, especialmente os finos de carvão vegetal e o pó de balão, com valores de expansão volumétrica de aproximadamente 47 e 82%, respectivamente. O estudo demonstrou que a escória vítrea de alto forno não promove expansão volumétrica, sendo inadequada para a atuação como agente espumante. A utilização de finos de carvão vegetal e pó de balão na produção de estruturas porosas cerâmicas permite uma destinação inovadora para tais rejeitos do setor, agregando valor as matérias-primas da espuma vítrea.

### Referências bibliográficas

- [1] CASAGRANDE, et al. **Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico**. Florianópolis: Cerâmica Industrial, 2008.
- [2] CHAVES, A.C.P. **Cacos de vidro: uma visão abrangente no mercado da reciclagem e da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Cadernos Unisuam, v. 2, n. 1, jun. 2012.
- [3] TEIXEIRA et al. **Produção e caracterização de espumas vitrocrystalinas a partir de resíduos sólidos**. Revista Matéria. vol. 22, n. 04, 2017.
- [4] SILVA, M.A.T. **Obtenção de espumas vítreas a partir de resíduos sólidos gerados na região urbana de Corumbá - MS**. 2018. 48 f. TCC - Curso de Técnico em Metalurgia, IFMS, Corumbá, 2018.
- [5] POKORNY, A. **Obtenção e caracterização de espumas vítreas a partir de resíduos de vidro sodo-cálcico dolomítico como agente espumante**. UFRGS. Dissertação (Mestrado), 2006.