

ESPUMA VÍTREA DE ELEVADA RESISTÊNCIA PRODUZIDA A PARTIR DE VIDRO DE PLACA FOTOVOLTAICA

MARÍLIA BRYKALSKI¹; FRANTCHESCOLE CARDOSO²;
FERNANDO MACHADO MACHADO,³ RUBENS CAMARATTA⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – Autor - marilia.bry@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas - Coautor – frantschescole.cardoso@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas - Orientador – fernando.machado@hotmail.com.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – Coorientador - rubenscamaratta@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Considerada como uma fonte de energia altamente eficiente e não poluidora, a energia solar se tornou foco de aproveitamento. Como forma de absorção da luz solar, as placas fotovoltaicas obtiveram alta demanda de utilização nos últimos anos. Conseqüentemente, o volume crescente de placas fotovoltaicas manipuladas e dispostas no mercado contribui para produção de resíduos sólidos, especialmente após o ciclo de vida dessa fonte de energia renovável (KANG et al., 2012).

Os grupos IRENA e IEA-PVPS (2016) realizaram um estudo para a projeção de placas fotovoltaicas descartadas no período entre 2016 e 2050 em todo o mundo. No cenário de perda regular, ou seja, módulos descartados no final da sua vida útil de 25 anos, é previsto para 2030 o descarte de 1,7 milhões de placas. Já para 2050 esse montante de resíduo cresce drasticamente para 60 milhões de toneladas de placas descartadas. No cenário de perdas antecipadas, quando ocorrem antes de alcançar o final da vida útil da placa, a expectativa para 2030 é de 8 milhões e para 2050 é de 78 milhões de placas fotovoltaicas (IRENA, IEA-PVPS, 2016).

As placas fotovoltaicas são constituídas por 65 % de vidro (WALMACH, 2010), e esse tem a função de proteção mecânica e química da placa, cobrindo as células que captam a energia solar e realizam a conversão de luz em eletricidade (TAO e YU, 2015). O vidro é classificado dentro da gestão de resíduos como um resíduo sólido em alto volume disposto como rejeito em aterros.

Sendo o vidro a principal matéria-prima da espuma vítrea, encontra-se nesse contexto uma excelente oportunidade para o aproveitamento de alta quantidade de resíduo de vidro gerado. A espuma vítrea, o qual possui uma fase vítrea, cerâmica e gasosa, é obtida através da ação de um agente espumante, o qual, ao ser misturado a um vidro finamente moído fica encapsulado quando submetido a alta temperatura e se decompõem, promovendo a expansão do corpo cerâmico (MUGONI *et al.*, 2014; LIU, 2020). O benefício de produzir espuma vítrea a partir de resíduo de vidro abrange tanto a área econômica, especialmente sobre a preservação do meio ambiente e redução do gasto energético, como também, em alguns casos, o aprimoramento da qualidade do novo produto (MUGONI *et al.*, 2014).

Considerando esse cenário, a utilização de resíduo de vidro proveniente das placas fotovoltaicas como matéria-prima para a produção de espumas vítreas mostra-se de extrema relevância. Cabe ressaltar que, apesar dos esforços, não foram encontrados na literatura a utilização desse tipo de resíduo de vidro na produção de espumas vítreas. Ainda, a utilização de argila como matéria-prima desses corpos porosos é recente e pouco explorada (GUO *et al.*, 2014; ERCENK, 2017). Conforme proposto, o aproveitamento dos vidros originados das placas

fotovoltaicas e também a casca de ovo, colaborando com a redução do impacto ambiental que seria gerado pelo descarte desses materiais, amplia significativamente o ciclo de vida dos mesmos. Em adição, espera-se produzir um material tecnológico com grande potencial para aplicações na construção civil, com elevada resistência mecânica e características de isolante térmico e acústico.

2. METODOLOGIA

Resíduos de vidro de placas fotovoltaicas utilizados nesse trabalho foram doados por uma empresa do ramo de energia limpa, Inove Energias Renováveis, situada na cidade de Pelotas – RS. As cascas de ovos foram coletas, limpas com água deionizada e armazenadas. Para a produção das espumas vítreas, iniciou-se com a preparação da matéria-prima: retirou-se o vidro da placa fotovoltaica e moeu-se em moinho de bolas. Moeu-se também a casca de ovo. Após a moagem, os materiais precursores foram peneirados em peneira 200 mesh. A argila bentonita utilizada na pesquisa é do tipo cálcica, pois não passou pelo tratamento de ativação sódica. Esse tipo é considerado como natural, não exigindo processos adicionais para a utilização. Além disso, essa argila não sofre inchamento na presença de água, sendo mais propícia para a finalidade de uso em espuma cerâmica.

Para caracterização das matérias-primas, foi utilizada a técnicas de fluorescência por raio X, para a verificação da composição química de cada um dos precursores. Posteriormente, foi então elaborada as composições dos materiais, conforme Tabela 1:

Código	Vidro / massa %	Casca de ovo / massa %	Argila / massa %
V90C10	90	10	0
V80C10A10	80	10	10

Tabela 1: Composição das amostras

Os corpos de prova foram confeccionados por prensagem uniaxial com pressão de 100 MPa para as duas composições, os quais foram similares ao utilizado por Ercenk (2017). As duas diferentes composições foram queimadas em forno Mufla a 800 °C e 900 °C, sendo a taxa de aquecimento de 10 °C/min e patamar de 20 min. A alta temperatura de queima aplicada nas amostras propicia a queima do CaCO_3 presente na casca de ovo, sendo que o mesmo ocorre durante o amolecimento do vidro, viabilizando o processo de expansão devido a emissão de CO_2 com a formação dos poros e conseqüentemente aumento o volume do corpo verde, tornando-o uma espuma vítrea. As amostras então foram cortadas e lixadas nas dimensões 15 x 15 x 15 mm, para a verificação da resistência mecânica no ensaio por compressão. Para esse teste, realizado no equipamento EMIC DL2000, foram confeccionados 9 corpos de prova.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a macrografia das amostras preparadas: Figura 1 (a) peça a verde, sendo sua composição 80% vidro, 10% casca de ovo e 10% argila (V80C10A10) e ao lado, após a sua queima. Através da imagem do corte transversal das amostras após o processo de queima, observado na Figura 1 (b), é possível verificar a estrutura porosa das espumas preparadas. Por meio da formulação testada e devido a interação do agente espumante com os demais

materiais durante a queima, tornou-se possível a formação de poros variados tipos dentro do corpo de prova: interconectados, abertos e fechados. Os poros possuem dimensões mais variadas nas amostras produzidas com temperatura de queima de 800 °C. Enquanto nas peças queimadas a 900 °C foi possível observar uma maior homogeneidade, com dimensões dos poros mais regulares. Verificou-se que as amostras em geral não apresentaram poros muito grandes ou abertos nas extremidades, com bom nível de homogeneidade no material, o que permite a aplicação dessas espumas vítreas para o isolamento térmico e acústico.

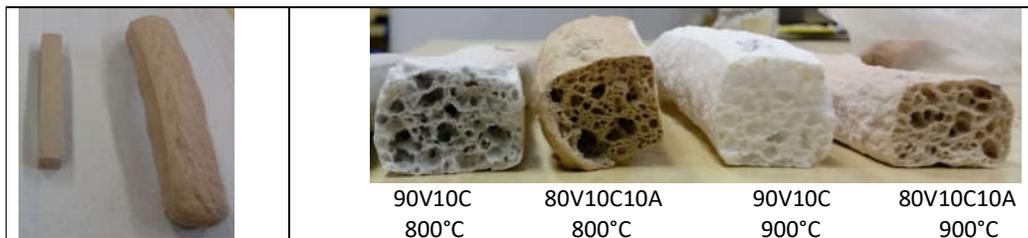


Figura 1 (a): Comparação do corpo de verde (V80C10A10) antes e depois da queima e (b) Cortes transversais nas amostras de diferentes composições

Com relação aos testes mecânicos, verificou-se para as peças formuladas sem adição de argila (V90C10) e queimadas a 800 °C e 900 °C resistência mecânica de $1,89 \pm 0,33$ MPa e $2,69 \pm 0,32$ MPa, respectivamente. Os maiores valores de resistência mecânica no ensaio por compressão alcançados foram obtidos para as amostras que continham argila em sua composição. Foi possível obter resultados de $3,33 \pm 0,47$ MPa para peças queimadas a 800°C e com 10% de argila na composição (V80C10A10) e $3,01 \pm 0,48$ MPa para peças (V80C10A10) queimadas a 900°C, também com 10% de argila. O aumento da resistência mecânica obtida na espuma vítrea com a adição da argila deve-se ao efeito positivo da formação da mulita, com a formação de pequenos cristais, fortalecendo a estrutura da espuma vítrea, citado também no estudo de Ercken (2017). Também foram realizados testes com percentuais em massa maiores de argila nas amostras, tais como 15 e 20%, reduzindo para 70 e 75% o percentual de vidro e 10% de casca de ovo. Entretanto a porosidade dessas amostras ficou prejudicada, com poros muito pequenos ou sem poros, pois não foi possível a expansão dos poros durante a queima do CaCO_3 , não possibilitando o uso desse material como isolante térmico e acústico nessas proporções de argila.

Com base nos resultados alcançados, verifica-se que a composição V80C10A10, queimada a 800°C apresenta características muito promissoras. O uso como espuma vítrea, com características de isolamento térmico e acústico bem como para a aplicação na construção civil, devido ao seu elevado valor de resistência mecânica, possibilitando utilizá-lo como bloco cerâmico isolante. Esses valores obtidos de resistência podem ser comparados as espumas comerciais e outros estudos já realizados. Podem ser citadas as espumas vítreas produzidas pela empresa FOAMGLAS®, a qual utiliza vidro sodo-cálcico, e fornece o material com a resistência mecânica por compressão de 0,8 MPa. As espumas da FOAMGLAS possuem baixíssima densidade, logo a resistência mecânica específica é muito alta. A pesquisa realizada por Yin (2016) estudou o aproveitamento de vidro sodo-cálcico para produção de espumas vítreas e obteve o valor de resistência mecânica de 0,53 MPa.

4. CONCLUSÕES

Foi possível produzir espumas vítreas de elevada resistência mecânica por compressão, utilizando resíduo vidro de placa fotovoltaica, casca de ovo e argila com matérias precursoras.

A inserção da argila bentonita na composição do material cerâmico possibilitou a obtenção de espuma vítrea mais resistente, obtendo-se no ensaio de resistência mecânica por compressão de até 3,33 MPa da amostra queimada a 800°C. A adição da argila como material precursor da espuma vítrea na proporção estudada não impactou significativamente na redução da porosidade ou outras características que prejudicassem a constituição do produto final, possibilitando o seu uso como material isolante e de elevada resistência mecânica. O aproveitamento de materiais que seriam descartados, vidro de placa fotovoltaica, casca de ovo, tornam-se atraentes para a preservação do meio ambiente. A contribuição para a sociedade, principalmente para o ramo da construção civil, torna esse trabalho acadêmico com alta relevância tecnológica e igualmente para o âmbito da sustentabilidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ERCENK, E. The effect of clay on foaming and mechanical properties of glass foam insulating material. **Journal Thermal Analysis and Calorimetry**. V. 127, p. 137 – 146. 2017.

FOAMGLAS. **Indústria de células de isolamento vítreo**. Disponível em: <<https://uk.foamglas.com/>> Acesso em 7 de outubro de 2018

GUO, Y.; ZHANG, Y.; HUANG, H.; MENG, K.; HU, K.; HU, P., WANG, X.; ZHANG, Z.; MENG, X.; Novel glass-ceramic foams materials based on red mud. **Ceramics International**. Vol. 40. P. 6677–83. 2014.

IRENA, International Renewable Energy Agency; IEA-PVPS, International Energy Agency – Photovoltaic Power Systems Programme. **End-of-life management – Solar Photovoltaic Panels**. ISBN 978-95111-98-1. June, 2016.

LIU, T.; LIU, P.; GUO, X.; ZHANG, J.; HUANG, Q.; LUO, Z.; ZHOU, X.; YANG, Q.; TANG, Y; LU, A. Preparation, characterization and discussion of glass ceramic foam material: Analysis of glass phase, fractal dimension and self-foaming mechanism. **Materials Chemistry and Physics**. Vol 243. 2020.

KANG, S.; YOO, S.; LEE, J; BOO, B.; RYU, H. Experimental investigations for recycling of silicon and glass from waste photovoltaic modules. **Renewable Energy**. Volume 47. Páginas 152 a 159. 2012.

MUGONI, C; MONTORSI, M; SILIGARDI, C; ANDREOLA, F.; LANCELOTTI, I; BERNARDO, E; BARBIERI, L. Design of glass foams with low environmental impact. **Ceramics International**. V 41, p. 3400-3408, 2014.

TAO, J.; YU, S. Review of feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules. **Solar Energy Materials & Solar Cells**. Volume 141. Páginas 108 – 124. 2015.

Yin, H.; Ma, M; Bai, J.; Li, Y.; Zhang, S.; Wang, F. Fabrication of foam glass from iron tailings. **Materials Letters**. Volume 185. P. 511-513. 2016.

WAMBACH, K., Recycling of PV module. In: Presentation in the First **International Conference on PV Module Recycling**. Berlin. 2010.