

DESENVOLVIMENTO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA COM DIFERENTES PERCENTUAIS DE VIDRO

THEMISTOCLES DE SOUSA CAMPELO¹, ANDRÉ ZIMMER², SAULO ROCA BRAGANÇA³

¹Mestrando PPGE3M, UFRGS, Porto Alegre-RS, themistocles.sousa@ufrgs.br;

²Dr. em Engenharia de Materiais, Prof. IFRS, Feliz-RS, andre.zimmer@feliz.ifrs.edu.br;

³Dr. em Engenharia de Materiais, Prof. PPGE3M, UFRGS, Porto Alegre-RS, saulorb@ufrgs.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
4 a 6 de outubro de 2022

RESUMO: Os agregados leves são materiais com uma variedade de aplicações na agricultura e construção civil, especialmente na redução do chamado peso morto das estruturas, sendo geralmente obtidos a partir de argilas expandidas. O vidro é um material amplamente disponível, reciclável e de baixo custo, que pode ser inserido na composição dos agregados leves para obtenção de efeito expansivo. O presente trabalho tem como objetivo a elaboração e avaliação de agregados leves obtidos a partir de uma argila originária de Feliz – RS, com diferentes percentuais de vidro e diferentes temperaturas de queima. Os testes com a adição de vidro a argila resultaram em expansão dos agregados produzidos em temperaturas entre 1.150 °C e 1.200 °C. O uso de um agente piroexpansivo, o carbeto de sílico, acentua o efeito expansivo nas formulações.

PALAVRAS-CHAVE: Agregados leves, argila, vidro.

DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT CLAY AGGREGATES WITH DIFFERENT GLASS PERCENTAGES

ABSTRACT: Lightweight aggregates are materials with a variety of applications in agriculture and civil construction, especially in reducing the so-called dead weight of structures, and are generally obtained from expanded clays. Glass is a widely available, recyclable and low-cost material that can be included in the composition of lightweight aggregates to obtain an expansive effect. The present work aims at the elaboration and evaluation of lightweight aggregates obtained from a clay originating from Feliz - RS, with different percentages of glass and different firing temperatures. Tests with the addition of glass to clay resulted in expansion of the aggregates produced at temperatures between 1,150 °C and 1,200 °C. The use of a pyroexpansive agent, silica carbide, enhances the expansion effect in the formulations.

KEYWORDS: Lightweight aggregates, clay, glass.

INTRODUÇÃO

Devido à sua ampla variedade de aplicações, como isolamento térmico, paisagismo, cultura hidropônica e drenagem, os agregados leves têm atraído cada vez mais interesse de pesquisadores (Souza et al., 2020). Os agregados leves podem ser de origem natural, dentre os quais pode-se citar a pedra-pomes e rochas de origem vulcânica, ou de origem artificial, como agregados de subprodutos industriais e os de argila expandida. Em decorrência da limitada disponibilidade de matérias-primas, os agregados leves artificiais são mais frequentemente utilizados (Yuan *et al.*, 2021).

A formação do agregado leve artificial envolve duas condições: o desenvolvimento de uma fase suficientemente viscosa em uma temperatura próxima ao ponto de fusão e a liberação de gás em consequência da decomposição de espécies orgânicas e minerais. Quando as duas condições são satisfeitas, o gás é aprisionado no interior da matriz viscosa, com a consequente formação de poros, levando à um aumento significativo de volume (Moreno *et al.*, 2020). A argila é a principal matéria-prima utilizada na obtenção de agregados leves, em decorrência de suas propriedades expansivas: certas argilas e xistos contêm matéria orgânica ou mineral que geram gases durante o aquecimento,

promovendo a expansão dos agregados (Hewlett & Liska, 2019). Entretanto, nem todas as argilas são naturalmente expansíveis, o que torna necessário a adoção de adições na composição dos agregados leves capazes de proporcionar esse efeito, como o bagaço de cana-de-açúcar (Lyra *et al.*, 2019) e vidro (Li *et al.*, 2020).

Em se tratando de resíduos, o aproveitamento vidro em materiais de construção pode promover o seu uso em materiais úteis e atenuar o problema do descarte e armazenamento. Estima-se que 200 milhões de toneladas de vidro por ano são dispostas em aterro, dos quais apenas uma pequena fração é reciclada (Jiang *et al.*, 2019).

Na literatura, subprodutos industriais são comumente utilizados em conjunto com outros resíduos. O teor de sódio presente no vidro exerce influência sobre o fluxo de fusão e a captura de gás durante a sinterização de agregados leves, uma vez que o Na_2O também pode reduzir a viscosidade da fase líquida em altas temperaturas, o que beneficia a sinterização dos agregados. O vidro produz uma fase vítrea na superfície dos agregados que aprimora as propriedades físicas e mecânicas (Bouachera *et al.*, 2021). A oxidação de partículas de carbetto de silício (SiC) gera poros (Xi *et al.*, 2014) e pode, portanto, ser incorporado na composição do agregado leve para potencializar o efeito expansivo do vidro. Tendo isso em vista, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de agregados leves de argila através da incorporação de resíduo de vidro e um agente expensor, bem como a avaliação de suas propriedades expansivas.

MATERIAL E MÉTODOS

O vidro sodo-cálcico foi utilizado, sendo obtido a partir de garrafas de vinhos e sucos. As garrafas foram trituradas e depois moídas, e o pó obtido foi coletado do material passante na peneira de 180 micrômetros. A estrutura cristalina da argila, obtida na cidade de Feliz, no Vale do Rio Caí (RS), foi estudada por difração de raios X (Phillips X'pert MDP, radiação $\text{Cu K}\alpha$), enquanto a composição química foi avaliada por fluorescência de raios X (Rigaku RIX 2000 WDS, tubo de raios X de Rh). Os agregados leves foram inicialmente elaborados em dois percentuais diferentes de vidro: 20 e 25% (em peso) de pó de vidro. Quanto ao carbetto de silício, os percentuais utilizados foram 1, 3 e 5%. Os agregados foram moldados manualmente, passando por um período de secagem ao ar livre de 24 horas e secagem em estufa a 50 °C por mais 24 horas. A queima foi realizada nas temperaturas de 1.150, 1.175 e 1.200 °C para agregados só com o vidro e à 1.150 °C para agregados com vidro e SiC, baseado em testes preliminares. Mediu-se a dimensão dos agregados antes e após a queima, e a expansão das respectivas composições foi calculada através da variação % em volume. Os agregados foram imersos em água e foram anotados os seus pesos secos e após os períodos de 1, 3, 5, 24 e 72 horas, a fim de medir a absorção de água das amostras. A densidade foi estimada com base no peso medido dos agregados e suas dimensões após a expansão.

Figura 1. A) argila originária de Feliz – RS; B) Pó de vidro sodo-cálcico.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os principais elementos presentes na argila estudada, bem como sua perda ao fogo (P.F.). Pode-se observar que a composição da argila é semelhante à argila estudada por Zorzi *et al.* (2012), proveniente da mesma região (Vale do Rio Caí, RS), com a sílica constituindo

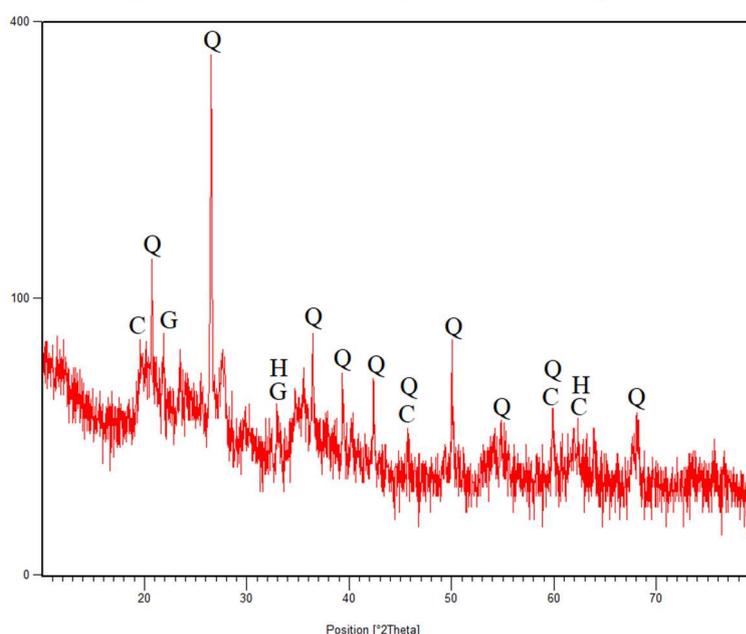
aproximadamente 54% da argila, seguida pelo Al_2O_3 (~17%), Fe_2O_3 (~13%), MgO (~1,8%) e TiO_2 (~1,8%). Outros óxidos como o de cálcio (CaO) e potássio (K_2O) também estão presentes, em menor quantidade.

Tabela 1. Composição química (expressa em percentual de massa do óxido correspondente) e perda ao fogo da argila utilizada no estudo.

Elemento	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	K_2O	MgO	CaO	P.F.
%	54,04	17,25	1,78	12,86	1,09	1,78	1,24	9,10

A composição mineralógica da argila, com os principais picos relativos à cada fase constituinte da argila identificados, pode ser observada na Figura 2. Nota-se a presença de picos bem definidos relativos à caulinita (C), goethita (G) e, principalmente, quartzo (Q). A fase hematita (H) também pode ser observada em picos discretos (Zorzi *et al.*, 2012).

Figura 2. Difratoograma de raios X da argila utilizada na produção dos agregados.



A Tabela 2 mostra a densidade estimada para cada composição do agregado de vidro e argila. Pode-se observar claramente que quanto mais elevado o teor de vidro, menor será a densidade obtida.

Tabela 2. Densidade obtida após a queima para cada % de vidro e temperatura

	1.150 °C	1.175 °C	1.200 °C
20%	1,725	1,618	1,313
25%	1,691	1,439	1,254

É possível observar, pela Tabela 3, que a expansão mais elevada observada em agregados só com o vidro e argila foi de 45,56% (25% de vidro, à uma temperatura de 1.200 °C e taxa de aquecimento de 10°C/min). Porém, essa expansão foi acompanhada de um maior nível de deformação (achatamento) dos agregados do que aqueles constituídos de 20% de vidro. O efeito expansivo do vidro pode ser atribuído ao aparecimento da fase líquida, favorecida pelo vidro, na etapa de aquecimento entre 1.150 °C e 1.300 °C, contribuindo para a retenção do gás gerado (Li *et al.*, 2020). O fluxo de fusão e a captura de gás durante a sinterização são influenciados pelo teor de sódio presente no pó de vidro. Como os testes com vidro indicaram, a faixa de temperatura mais propícia para a expansão dos agregados se situa entre 1.150 °C e 1.200 °C. Entretanto, a escolha de uma temperatura para a queima de agregados deve ser feita com cautela, uma vez que a faixa de temperatura propícia para a expansão sem efeitos deletérios na forma dos agregados é estreita.

Tabela 3. Expansão (em % vol.) para cada % de vidro e temperatura

	1.150 °C	1.175 °C	1.200 °C
20%	-2,12	9,34	33,67
25%	3,63	16,27	45,56

O vidro também tem grande efeito na absorção de água do agregado leve. Dependendo da aplicação, a elevada absorção de água de um agregado leve tradicional pode ser uma propriedade indesejada. A adição de vidro reduz essa absorção de água, conforme pode ser observado na tabela 4. Nota-se que quanto maior o percentual de vidro adicionado, menor será a absorção de água resultante. Isso ocorre porque, durante o processo de sinterização, o vidro forma uma fase líquida, reduzindo assim o número de poros abertos na superfície do agregado e formando uma camada vitrificada externa, nitidamente visível na Figura 3.

Figura 3. Agregados com 20 e 25% de vidro queimados a 1.150 °C.



Tabela 4. Absorção dos agregados em diferentes percentuais de vidro.

Absorção média (%)	Proporção de vidro
1,569	Sem vidro
0,682	20%
0,170	25%

A adição de carbetto de silício (SiC) acentuou o efeito expansivo do vidro, reduzindo drasticamente a densidade dos agregados na queima a 1.150 °C, conforme pode ser observado na Tabela 5. Dentre os três percentuais de SiC estudados, todos apresentaram bom potencial de expansão. Entretanto, a deformação dos agregados durante a queima foi muito alta para os agregados com mais de 1% de SiC, indicando que o percentual de 1% já é suficiente para promover a expansão dos agregados sem maiores efeitos deletérios.

Tabela 5. Densidade obtida após a queima para agregados com SiC e vidro (20 e 25%).

%SiC	Densidade pós-queima (g/cm ³)	
	20% de vidro	25% de vidro
1%	0,456	0,364
3%	0,331	0,376
5%	0,532	0,470

A absorção de água foi mais elevada para os agregados com carbetto de silício (Tabela 6), mas não variou fortemente conforme o percentual adicionado. Esse aumento da absorção observado com a adição de SiC pode ser desejável em aplicações onde a porosidade do agregado é necessária, como em jardinagem. A densidade também é fator decisivo na resistência do agregado leve, que apresentará maior resistência ao esmagamento quanto maior for a densidade (Korol *et al.*, 2020).

Tabela 6. Absorção média para os agregados com SiC e vidro (20 e 25%).

%SiC	Absorção média (%)	
	20% de vidro	25% de vidro
1%	13,97	23,321
3%	18,067	14,916
5%	13,618	14,078

CONCLUSÃO

A utilização de pó de vidro reciclado pode ser adotada na produção de agregados leves, promovendo uma expansão considerável dos agregados, mesmo se produzidos com argilas não expansivas. A utilização desse resíduo promove redução de custos, benefício ambiental e melhora nas propriedades dos agregados leves. Conforma a metodologia adotada, o controle da expansão e densidade dos agregados pode ser obtido por diferentes temperaturas de queima e alteração dos teores de vidro e agente piroexpansivo (SiC), o que permite a produção de agregados para uma gama de aplicações, conforme as propriedades desejadas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Bouachera, R.; Kasimi, R.; Ibnoussina, M.; Hakkou, R.; Taha, Y. Reuse of sewage sludge and waste glass in the production of lightweight aggregates. *Materials Today: Proceedings* 37: 3866–3870, 2021.
- Hewlett, P. C.; Liska, M. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* 5^a ed., p. 762, Butterworth-Heinemann. Oxford, Reino Unido, 2019.
- Jiang, Y.; Ling, T.-C.; Mo, K. H.; Shi, C. A critical review of waste glass powder – Multiple roles of utilization in cement-based materials and construction products. *Journal of Environmental Management* 242: 440–449, 2019.
- Korol, J.; Głodniok, M.; Hejna, A.; Pawlik, T.; Chmielnicki, B.; Bondaruk, J. Manufacturing of Lightweight Aggregates as an Auspicious Method of Sewage Sludge Utilization. *Materials* 13: 5635, 2020.
- Li, X.; He, C.; Lv, Y.; Jian, S.; Liu, G.; Jiang, W.; Jiang, D. Utilization of municipal sewage sludge and waste glass powder in production of lightweight aggregates. *Construction and Building Materials* 256:119413, 2020.
- Lyra, G. P.; Santos, V.; Santis, B. C. D.; Rivaben, R. R.; Fischer, C.; Pallone, E. M. J. A.; Rossignolo, J. A. Reuse of sugarcane bagasse ash to produce a lightweight aggregate using microwave oven sintering. *Construction and Building Materials* 222: 222–228, 2019.
- Moreno-Maroto, J. M.; Cobo-Ceacero, C. J.; Uceda-Rodríguez, M.; Cotes-Palomino, T.; García, C. M.; Alonso-Azcárate, J. Unraveling the expansion mechanism in lightweight aggregates: Demonstrating that bloating barely requires gas. *Construction and Building Materials* 247: 118583, 2020.
- Souza, N. S. L. de; Anjos, M. A. S. dos; Sá, M. V. V. A. de; Farias, E. C. de; Larissa Cavalcante de Araújo Mello, L. C. A. Desenvolvimento de agregados leves a partir de resíduo de corte de pedras ornamentais (granitos e mármore) e argila. *Matéria* v.25, n°1: 12559, 2020.
- Xi, X., Xu, L., Shui, A., Wang, Y., Naito, M. Effect of silicon carbide particle size and CaO content on foaming properties during firing and microstructure of porcelain ceramics. *Ceramics International* 40: 12931–12938, 2014.
- Yuan, Q.; Liu, Z.; Zheng, K.; Ma, C. *Civil engineering materials – From Theory to Practice*, p.70-71, 193, Woodhead Publishing, Cambridge, Estados Unidos, 2021.
- Zorzi, J. E.; Echeverregaray, S. G.; Emiliano, J. V.; Perottoni, C. A.; Cruz, R. C. D. Caracterização de matérias-primas cerâmicas do Vale do Rio Caí. *Cerâmica* 58: 509-515, 2012.