



FABRICAÇÃO DE MICROESFERAS ATRAVÉS DO MÉTODO DE CHAMA HORIZONTAL UTILIZANDO DIFERENTES FONTES DE CALOR

Vietta Filho, F.; Littiere, T. O.; Menezes, C. M.; Armas, L.E.G; Valsecchi, C.;
Menezes, J.W*

Universidade Federal do Pampa (Unipampa), Programa de Pós-graduação em
Engenharia (PPENG), Av. Tiarajú, 810, Alegrete, RS, Brasil

felixvietta.aluno@unipampa.edu.br; thauanlittiere.aluno@unipampa.edu.br;
carlamenezes.aluno@unipampa.edu.br; legarmas@unipampa.edu.br;
chiaravalsecchi@unipampa.edu.br jacsonmenezes@unipampa.edu.br*;

RESUMO

Este trabalho visa comparar a produção de microesferas utilizando três diferentes fontes calor, considerando o método de chama horizontal. Neste método, o pó de vidro é dispersado verticalmente sobre uma chama horizontal que, simultaneamente, eleva a temperatura dos cacos e desloca-os na horizontal, devido à sua pressão, gerando assim as microesferas. O estudo comparativo foi realizado considerando três configurações de chamas. Na primeira, foi utilizado um maçarico tipo chuveirinho e uma combinação de gases GLP:O₂ na proporção 1:2; na segunda e na terceira foram usados um queimador atmosférico (1-ATM) e dois queimadores atmosféricos (2-ATM) sobrepostos respectivamente, e somente GLP. A análise comparativa levou em consideração a eficiência de produção (perda de massa), a morfologia (percentual de esferas) e custo. Os resultados indicaram que a configuração com dois queimadores atmosféricos apresentou maior percentual de microesferas esféricas e baixo custo, tornando-a a opção mais viável para a produção de microesferas.

Palavras-chave: microesferas, chama horizontal, fontes de calor, sinalização viária.

INTRODUÇÃO

Devido às suas propriedades ópticas e físicas únicas, as microesferas de vidro têm uma ampla gama de aplicações em vários setores. Dentre estes, pode-se destacar a utilização de microesferas na indústria aeroespacial; no setor de

cosméticos e produtos de cuidado pessoal; como material de polimento e abrasivos; na indústria de petróleo e gás bem como na sinalização de estradas (1-3).

A sinalização de estradas é uma das principais aplicações uma vez que toneladas de microesferas sólidas são utilizadas anualmente nas tintas de demarcação viária. Para esta aplicação, as microesferas, ao serem incorporadas aos materiais de demarcação, atuam como minúsculas lentes, coletando e concentrando a luz dos faróis dos veículos (4). Essa luz, ao incidir sobre as microesferas, é refletida de volta para sua origem, tornando a sinalização visível a grandes distâncias; este efeito é melhor observado à noite (4,5).

A norma brasileira que especifica e regula os parâmetros técnicos de qualidade das esferas e microesferas de vidro utilizadas para sinalização horizontal viária é a NBR 16184:2021 (6). Assim, de acordo com a norma, as microesferas de vidro são definidas como as esferas vítreas com diâmetro igual ou inferior a 1000 µm, sendo que tanto as esferas, quanto as microesferas, podem ser classificadas quanto ao seu uso e aplicação. Ainda de acordo com a norma, para que as microesferas funcionem adequadamente, elas devem atender a várias características, como o teor de sílica, a aparência e a granulometria, sendo esta última classificada em tipos. As microesferas mais utilizadas na sinalização viária são as do TIPO IB, também chamada de *PREMIX* e TIPO IIA, também chamada de *DROP-ON*. As microesferas do Tipo IB possuem um diâmetro compreendido entre 63 e 212 µm. Estas microesferas são misturadas à tinta antes da aplicação, de forma que permanecem no filme e ficam expostos, exibindo o efeito da retrorrefletividade, após o desgaste da superfície. Já as microesferas do Tipo IIA possuem um diâmetro onde a maior parte está compreendida entre 300 e 600 µm. Estas são aplicadas por pulverização logo após a pintura, de modo que permanecem na superfície do filme aplicado exibindo o efeito da retrorrefletividade de forma imediata.

Para a sinalização viária, a produção de microesferas sólidas de vidro geralmente requer métodos que sejam eficientes e escaláveis. Dentre os métodos mais comuns, pode-se destacar o método de esferoidização por chama (4,7-9). Neste método, partículas finas de vidro ou matéria-prima em pó são introduzidas em uma chama de alta temperatura. À medida que o vidro derrete, a tensão superficial faz com que ele forme esferas. As gotículas de vidro fundido são rapidamente resfriadas, solidificando-se em microesferas. Entre os métodos de esferoidização por chama, ainda pode-se destacar o método de chama horizontal (9,10). Neste método

específico, a fonte de calor é posicionada na horizontal. As partículas de vidro irregulares são colocadas sobre a chama, e por meio da pressão e temperatura desta chama, os fragmentos vítreos se deslocam horizontalmente ocorrendo a esferoidização.

Por outro lado, um problema enfrentado em qualquer produção que se utilize fonte de energia térmica através da combustão é o excessivo consumo de recursos nos processos. Portanto, a eficiência do processo de produção é um parâmetro importante a ser avaliado. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar o processo de fabricação de microesferas de vidro do TIPO IB produzidas pelo método de chama horizontal, comparando o desempenho de três diferentes fontes de calor: maçarico do tipo chuveirinho, um queimador atmosférico (1-ATM) e dois queimadores atmosféricos (2-ATM) em paralelo, visando uma fonte de calor ideal para otimizar o processo, gerando microesferas de qualidade a um menor custo.

MATERIAIS E MÉTODOS

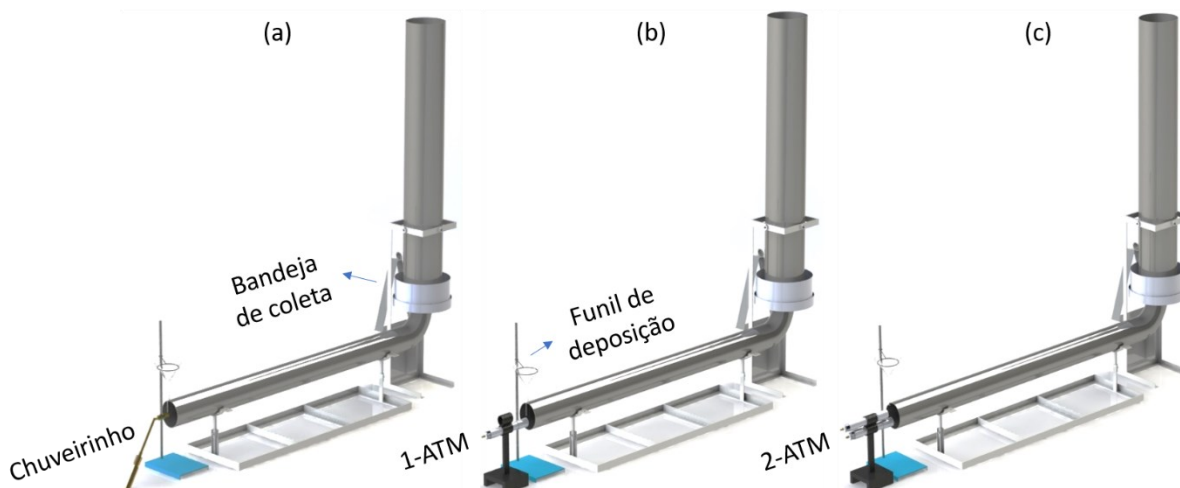
Matéria prima e separação granulométrica

Como matéria prima para a produção das microesferas foram utilizadas garrafas de vidro da mesma marca. As garrafas foram lavadas com água e detergente e submetidas ao processo de secagem em estufa a uma temperatura de 105°C, durante 24 horas. A escolha por garrafas se deve ao fato de que estas satisfazem os critérios de composição descritos na norma brasileira (6), além de poderem ser utilizadas em grande quantidade na produção de microesferas. A moagem dos cacos de vidro foi feita através de um moinho de bolas de fabricação caseira. As dimensões do moinho são de 110 mm de raio e altura de 482 mm, com velocidade de rotação de 0,18 m/s. Foram usadas 15 bolas de alumina de diâmetros entre 46,6 mm e 50,5 mm. O tempo de moagem foi de 5h e a massa de vidro utilizada foi de 3kg. Para o peneiramento dos cacos e das microesferas foram utilizadas as peneiras granulométricas de 180 μm e 150 μm da marca bronzinox. Mais especificamente foram consideradas as partículas passantes na peneira de 180 μm e retidas na peneira de 150 μm .

Produção das microesferas

Para a geração das microesferas de vidro, foi utilizado um aparato desenvolvido em laboratório que usa o método de chama horizontal, mudando a fonte de calor. Três diferentes fontes de calor foram avaliadas: (a) maçarico do tipo chuveirinho multi-chama oxigênio/GLP, (b) apenas um queimador atmosférico (1-ATM) e, (c) dois queimadores atmosféricos (2-ATM) em paralelo. Foram utilizados 1 kgf/cm² de GLP para todos os queimadores e 2 kgf/cm² de oxigênio apenas no maçarico do tipo chuveirinho. Na saída dos queimadores foi fixado um funil para a deposição das partículas de vidro moído. O aparato consiste de um tubo de aço inoxidável, paralelo ao solo e apoiado sobre uma base metálica, de diâmetro interno de 84 mm (3 mm de espessura) e comprimento de 1485 mm de comprimento com um Joelho de 90° com a abertura voltada para cima. Este Joelho fica centralizado a um tubo de aço inoxidável vertical com 162 mm de diâmetro interno e 1000 mm de comprimento, sustentado por uma base metálica. Este tubo teve como objetivo reduzir a velocidade das partículas devido a variação abrupta da área da seção transversal, gerando uma zona de baixa pressão, permitindo o armazenamento das partículas que caem por gravidade em uma bandeja de aço inoxidável fixado no Joelho, a qual pode ser removida para a coleta do que foi produzido. A figura 1 mostra um desenho 3D do aparato desenvolvido com as respectivas fontes de calor.

Figura 1. Representação do aparato desenvolvido para a produção de microesferas com (a) queimador do tipo chuveirinho, (b) 1-ATM, (c) 2-ATM.



Para cada tipo de queimador estudado, foram consideradas 10 g de matéria prima (vidro moído nas dimensões desejadas). O processo foi feito em triplicata, ou seja, foram consideradas 9 amostras (3 amostras de 10g para cada queimador). Após a produção, as massas coletadas de cada amostra foram novamente pesadas sendo possível quantificar as perdas no processo de produção. Os custos médios de fabricação foram calculados levando em conta o consumo dos gases para tempos de produção otimizados para cada um dos queimadores.

Morfologia e análise granulométrica

Para avaliar a granulometria bem como a morfologia dos elementos gerados após o processo de fabricação, foi utilizado o microscópio óptico para visualização e coleta das imagens bem como o conceito de tamanho da amostra (n) (11). O tamanho da amostra n fornece como resultado o número de observações que deve ser avaliado em uma determinada população. A população, neste trabalho, corresponde a quantidade total de microesferas (considerada infinita), enquanto que a amostra representa a quantidade de microesferas a ser avaliada. O cálculo de n leva em consideração o nível de confiança, a proporção da população (normalmente assumida como 0,5) e a margem de erro. Considerando um nível de confiança de 95%, a proporção de população de 0,5 e a margem de erro de 5%, o tamanho da amostra deve ser de 385. Sendo assim, tanto a análise granulométrica quanto a morfologia foram feitas para em torno de 400 elementos gerados no processo de produção. Tendo o tamanho da amostra, as informações dos elementos gerados (aparência e dimensões) foi feita através da coleta de imagens com a utilização de um microscópio óptico. Para isso, uma pequena quantidade de amostra produzida foi espalhada sobre a platina do microscópio, de modo que estas ficassem bem distribuídas e não houvesse a sua sobreposição. Após a contagem de ~400 elementos, estes foram quantificados do ponto de vista morfológico como sendo perfeitamente esféricas, ovóides, geminadas ou cacos de vidro. Além disso, o diâmetro de todas as microesferas também foi medido visando a avaliação granulométrica. Para o caso do diâmetro médio, só foram registrados os elementos perfeitamente esféricos. Por outro lado, considerando que o objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência dos diferentes queimadores no método de chama horizontal, optou-se por não fazer a peneiração

do material após a fabricação, a fim de evitar a introdução de variáveis que possam comprometer a análise da eficiência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra a eficiência de coleta média do material produzido considerando as três fontes de calor. Pode-se observar que as configurações com 1-ATM e 2-ATM tiveram alta eficiência e com resultados muito semelhantes uma vez que praticamente toda a massa inicial alcançou a bandeja de coleta. O queimador do tipo chuveirinho apresentou o pior desempenho já que praticamente metade da massa inicial não chegou a bandeja de coleta.

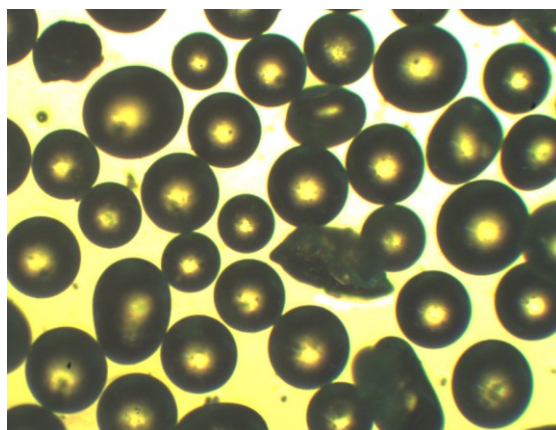
Tabela 1. Média da massa coletada considerando as diferentes fontes de calor

	Massa Média Coletada (g)	Coleta (%)
2-ATM	9,48	94,77
1-ATM	9,63	96,29
Chuveirinho	5,58	55,81

Para os três casos, a massa não coletada ficou majoritariamente armazenada na base do joelho do aparato experimental, com percentuais diferentes devido a diferença de vazão das fontes de calor. Embora o maçarico do tipo chuveirinho tenha uma temperatura de chama superior à dos queimadores atmosféricos, proporcionado maior velocidade inicial às partículas, ele possui uma vazão inferior no interior do tubo. Devido à esta baixa vazão, a perda de carga no joelho tornou-se significativa, impedindo que as partículas ultrapassassem o joelho e chegassem ao prato de coleta.

A figura 2 mostra uma imagem dos elementos coletados onde pode-se observar a presença de elementos esféricos, ovoides e cacos de vidro, sendo estes elementos gerados para qualquer uma das diferentes fontes de calor avaliadas.

Figura 2. Micrografia típica das amostras produzidas com as diferentes fontes de calor



Os resultados morfológicos considerando as diferentes fontes de calor estão mostrados nas tabelas 2, 3 e 4. Embora previamente ao processo de produção tenha sido utilizado uma faixa seletiva de peneiras (passantes em 180 μm e retidas em 150 μm), pode-se observar a presença de elementos com diâmetros menores e maiores que esta faixa. A morfologia irregular das partículas na etapa de moagem pode explicar essa variabilidade. Por outro lado, os diâmetros produzidos caracterizam as microesferas geradas como sendo do TIPO IB (6).

Tabela 2. Resultados morfológicos das amostras do 1-ATM

Tamanho da amostra	Diâmetro mínimo (μm)	Diâmetro máximo (μm)	Diâmetro médio (μm)	Microesferas (%)	Ovoides (%)	Geminadas (%)	Cacos (%)
401	87,7	214,9	141,0	81,5	7,0	1,2	10,2
413	91,2	210,8	146,5	77,7	8,2	1,2	12,8
414	83,3	230,7	148,4	86,7	7,0	0,7	5,6
Média	87,4	218,8	145,3	82,0	7,4	1,1	9,5

Tabela 3. Resultados morfológicos das amostras do 2-ATM

Tamanho da amostra	Diâmetro mínimo (μm)	Diâmetro máximo (μm)	Diâmetro médio (μm)	Microesferas (%)	Ovoides (%)	Geminadas (%)	Cacos (%)
413	63,0	211,2	149,4	91,5	3,9	1,5	3,2
405	95,8	209,4	148,0	90,1	3,7	2,7	3,5
403	103,3	218,8	153,0	93,1	3,5	2,5	1,0
Média	87,4	213,1	150,1	91,6	3,7	2,2	2,5

Tabela 4. Resultados morfológicos das amostras do maçarico tipo chuveirinho

Tamanho da amostra	Diâmetro mínimo (µm)	Diâmetro máximo (µm)	Diâmetro médio (µm)	Microesferas (%)	Ovoides (%)	Geminadas (%)	Cacos (%)
414	92,24	200,46	143,56	88,9	7,7	1,4	1,9
400	83,63	194,86	140,41	85,0	9,0	2,3	3,8
420	88,87	243,40	144,28	92,4	4,5	2,9	0,2
Média	88,87	200,46	143,56	88,9	7,7	2,3	1,9

Mais importante que a dimensão das partículas, as quais são facilmente selecionadas por peneiras granulométricas, é a capacidade de tornar a partícula de dimensão desejada em microesferas. A norma NBR 16184:2021 estabelece no critério aparência que até 3% das partículas podem ser cacos ou podem conter partículas de vidro não derretido e objetos estranhos, e até 30% podem ter a forma oval, ser disforme ou geminada (6). O percentual restante deve ser microesferas de fato, ou seja, no mínimo 67% das partículas produzidas devem ser microesferas. Neste sentido o aparato foi capaz de gerar um alto percentual de partículas de formato esférico, independentemente da fonte de calor utilizada, satisfazendo os critérios mínimos estabelecidos pela norma. Mais especificamente, com a fonte de calor de 1-ATM, 82% das partículas geradas foram microesferas; para a fonte de 2-ATM, o percentual de microesferas foi de 91% enquanto que para a fonte chuveirinho o percentual foi de 89%. Para o caso da forma oval, disforme ou geminada, os três métodos também satisfazem a norma. Somente para o critério cacos de vidro, a utilização do queimador 1-ATM obteve um percentual de 9,5%, superior aos 3% exigidos em norma.

A tabela 5 mostra um comparativo de consumo de gases no processo de produção para cada uma das fontes de calor utilizadas. O tempo de fabricação das microesferas varia nos diferentes queimadores. Por exemplo, o queimador 1-ATM apresenta uma velocidade de chama menor, demandando uma deposição mais lenta das partículas para evitar a formação de aglomerados. Por outro lado, os maçaricos do tipo chuveirinho, apesar de oferecerem uma velocidade inicial mais elevada, necessitam de um ajuste fino da chama antes do início do processo, aumentando o tempo total de fabricação. Já o queimador 2-ATM necessita menos tempo de regulação comparado ao queimador do tipo chuveirinho e possui maior velocidade de chama quando comparado com o queimador 1-ATM, diminuindo o tempo total de produção para uma mesma massa.

Tabela 3. Tempo de fabricação e consumo de GLP e Oxigênio

Fontes de calor	Tempo médio de operação (s)	Consumo de Glp (g/s)	Consumo de Oxigênio (g/s)	Consumo total de GLP (g)	Consumo total de Oxigênio (g)
2 ATM	59	0,097	0	5,74	0
1 ATM	69	0,085	0	5,85	0
Chuveirinho	126	0,103	0,347	12,99	43,84

Desta forma, comparando os queimadores 1-ATM e 2-ATM observa-se uma semelhança no consumo total de GLP em gramas. Por outro lado, a fonte de calor do tipo chuveirinho apresentou um consumo total de GLP mais de duas vezes maior que as outras fontes de calor, além de consumir oxigênio. Assim, para o método desenvolvido neste trabalho, pode-se afirmar que para uma mesma quantidade de massa de material, o queimador do tipo chuveirinho é economicamente menos viável que os outros dois tipos de fontes de calor.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foram produzidas microesferas sólidas através do método de chama horizontal considerando três diferentes fontes de calor: maçarico do tipo chuveirinho, um queimador atmosférico (1-ATM) e dois queimadores atmosféricos (2-ATM). As três diferentes fontes de calor geraram microesferas com diâmetro médio de 150 μm , sendo classificadas como sendo do Tipo-IB ou *Premix* no contexto da sinalização viária horizontal. Do ponto de vista de eficiência de produção, as fontes de calor 1-ATM e 2-ATM alcançaram percentuais superiores a 95%, ou seja, menos de 5% da massa inicial não chegou a bandeja de coleta. Por outro lado, a eficiência de produção para a fonte do tipo chuveirinho foi bem mais baixa e alcançou em torno de 55%. No que se refere a morfologia, todas as fontes geraram uma quantidade de elementos esféricos bem superior (mais que 80%) ao mínimo exigido em norma (67%). No entanto, com a fonte de 1-ATM, a quantidade de cacos após a coleta foi de 9,5%, bem superior ao máximo de cacos descritos em norma (3%). Para as outras duas fontes, os percentuais morfológicos satisfazem a norma. Do ponto de vista de consumo energético, os queimadores 1-ATM e 2-ATM mostraram-se mais eficientes que o queimador do tipo chuveirinho. Sendo assim, o método de chama horizontal utilizando 2-ATM mostrou-se ser o mais adequado na fabricação de microesferas do Tipo-IB do ponto de vista de eficiência de produção, morfologia e consumo energético.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte dado pela FAPERGS (22/2551-0000841-0), CAPES e CNPq.

REFERÊNCIAS

- 1- MCLELLAN, G. W.; SHAND, E. B. Glass Engineering Handbook. 1. ed. Reino Unido: McGraw-Hill, 1984.
- 2- KENT, J. A.; BOMMARAJU, T.V.; BARNICKI, S.D. Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology. 13. ed. [S.l]: Springer, 2017. doi.org/10.1007/978-3-319-52287-6
- 3- BURGHARDT, T. E.; ETTINGER, K.; KÖCK, B.; HAUZENBERGER, C. Glass beads for road markings and other industrial usage: Crystallinity and hazardous elements, CASE STUDIES IN CONSTRUCTION MATERIALS, v. 17, 2022. doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01213.
- 4- SCHWAB, M. Estudo de desempenho dos materiais de demarcação viária retrorrefletivos. Dissertação (Mestrado em Análise e seleção dos materiais) - Rede Temática em Engenharia de Materiais (UFOP, CETEC, UEMG), Belo Horizonte, 1999.
- 5- PEREIRA D. S.; RENZ E.M.; BUENO L.; SPECHT L.P.; SALLES L.S. Road markings: important aspects related to retroreflectivity performance and the use of 3-D printing for dosage. TRANSPORTES. v. 30, n. 1, p. 1-17. 2022; DOI:10.14295/transportes.v30i1.2517
- 6- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16184 – Horizontal roadmarking – Glass spheres and glass microspheres – Requirements and test methods. Rio de Janeiro, Brasil. 2021.
- 7- GARNIER, P.; ABRIOU, D.; COQUILLON, M. Process for producing glass microspheres Depositante: Saint Gibson Vitrage SA. US nº 4661137A. Depósito: 20 ago. 1985. Concessão: 28 abr. 1987. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US4661137A/en>
- 8- SOUZA, J. P. Estudo da sinterização de vidros alumino silicatos por calorimetria exploratória diferencial. Dissertação (Mestrado em Ciências de Tecnologia Nuclear) – Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo. 2015.

9- BARROS FILHO, E. C. Estudo do processo de esferolização de partículas vítreas visando a aplicação em radioterapia interna seletiva. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, São Carlos/SP, 2012.

10- NETO J.P.; TEIXEIRA I.M.; ARMAS L.E.G.; VALSECCHI C.; MENEZES J.W. Road Marking Glass Microspheres Fabricated from Rice Husk Ash. MATERIALS RESEARCH. v. 26, n. suppl. 1, p. e20220546, 2023. doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2022-0546

11- VERMA, J.P.; VERMA, P. Determining Sample Size and Power in Research Studies. 1st ed. Springer Singapore, 2020. doi.org/10.1007/978-981-15-5204-5

TITLE: FABRICATION OF MICROSPHERES USING THE HORIZONTAL FLAME METHOD WITH DIFFERENT HEAT SOURCES

ABSTRACT

This work aims to compare the production of microspheres using three different heat sources, considering the horizontal flame method. In this method, the glass powder is dispersed vertically over a horizontal flame which, simultaneously, raises the temperature of the shards and moves them horizontally, due to its pressure, thus generating microspheres. The comparative study was carried out considering three flame configurations. In the first, a shower torch and a combination of LPG:O₂ gases in a 1:2 ratio were used; in the second and third, one atmospheric burner (1-ATM) and two overlapping atmospheric burners (2-ATM) were used respectively, and only LPG. The comparative analysis took into account production efficiency (mass loss), morphology (percentage of spheres) and cost. The results indicated that the configuration with two atmospheric burners presented a higher percentage of spherical microspheres and low cost, making it the most viable option for the production of microspheres.

Keywords: microspheres, horizontal flame, heat sources, road signs.