

ESPALHADOR DE CHAMA TIPO SWIRL PARA QUEIMADORES DE FOGÃO

SWIRL TYPE FLAME SPREADER FOR STOVE BURNERS

Daniel Solferini de Carvalho¹
Celso Eduardo Tuna²

Resumo – Atualmente, nenhum fogão doméstico a gás comercializado do Brasil possui o artifício de uso do turbilhonador de chama (swirler). Este trabalho apresenta os resultados obtidos com os ensaios de eficiência energética e emissão de monóxido de carbono (CO) de espalhadores de chamas com swirl (giro), realizados em duas etapas: a) a primeira, de cinco espalhadores de chama de fogão doméstico desenvolvidos com a incorporação de um turbilhonador de chama (swirler); b) a segunda, de sete espalhadores, variantes do melhor modelo apresentado na primeira etapa e enquadrados na norma, com o intuito de refinar os resultados de eficiência e emissão de CO. O queimador de fogão mais eficiente do mercado durante o desenvolvimento deste projeto apresentava um rendimento de 67% (atualmente é 69%), de acordo com o Programa Brasileiro de Etiquetagem do Ministério de Minas e Energia, através de ensaios conduzidos por laboratório credenciado pelo INMETRO. O levantamento da eficiência e das emissões de CO deu-se conforme ensaio de análise de eficiência descrito pelas normas NBR 13723-1 e NBR 13723-2.

Palavras-chave: Espalhadores de Chama. Queimador de Fogão com Swirl. Chamas Pré-Misturadas.

Abstract - Currently, no domestic gas stove commercialized in Brazil uses a flame swirler. This dissertation presents the results obtained for the energy efficiency and carbon monoxide (CO) emission of flame spreaders with swirl, in tests carried out in two phases: a) the first, of five flame spreaders for domestic stoves developed with the incorporation of a flame swirler; b) the second, of seven spreaders, variants of the best model of the first phase, with the aim of refining the efficiency and CO emission results. The most efficient stove burner on the Brazilian market during the development of this project had a yield of 67% (currently 69%), according to the Brazilian Labeling Program of the Ministry of Mines and Energy, through tests carried out by a laboratory accredited by the National Institute of Metrology, Quality and Technology (INMETRO). The determination of efficiency and CO emissions was carried out according to the analysis tests described by the standards NBR 13723-1 and NBR 13723-2.

Keywords: Flame Spreaders. Stove Burner with Swirl. Premixed Flames.

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, UNESP

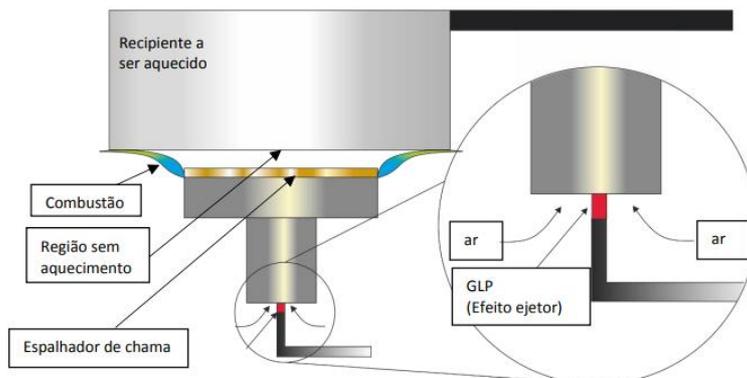
² Professor do Departamento de Química e Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, UNESP

I. INTRODUÇÃO

Atualmente nenhum fogão doméstico a gás comercializado do Brasil possui o artifício de uso do *swirler* (turbilhonador de chama). Testes preliminares, realizados a partir de protótipos e instrumentos simples, demonstraram que o uso desse artifício pode gerar um rendimento de até 20% superior aos queimadores de fogão convencionais. A proposta desta pesquisa foi o desenvolvimento de um queimador de fogão de mesa que seja mais eficiente (em termos energéticos e emissivos) que os comercializados atualmente. A comprovação da eficiência deu-se conforme o ensaio de análise de eficiência descrito pelas normas NBR 13723-1 (Aparelho Doméstico de Cocção a Gás. Parte 1: Desempenho e Segurança) e NBR 13723-2 (Aparelho Doméstico de Cocção a Gás. Parte 2: Uso Racional de Energia).

Combustíveis alternativos, não fósseis, têm sido pesquisados para substituir o gás liquefeito de petróleo (GLP) ou o gás natural (GN) em fogões domésticos (Bellam e Souza, 2023). Contudo, os queimadores de fogão operam em sua maioria com GLP. Os queimadores são projetados para trabalhar com chamas de pré-mistura, ou seja, o combustível e o ar se misturam antes que a combustão ocorra. Uma representação esquemática é apresentada na Figura 1. O GLP é injetado por um pequeno orifício e arrasta o ar ao seu redor para dentro do queimador, realizando a pré-mistura entre o GLP e o ar. Queimadores de fogão contam com um espalhador de chama, o qual tem por função distribuir o calor gerado pela chama. A combustão é dada na parte externa do espalhador, gerando e distribuindo calor no fundo do recipiente. Uma maior parte do calor produzido pela chama não é transportada para o recipiente devido à aerodinâmica convencional do espalhador de chama (Veríssimo *et al.*, 2018). Isso faz com que haja certo desperdício de combustível, sendo este o problema tratado no presente trabalho.

Figura 1 – Representação esquemática do funcionamento do queimador de fogão.



Fonte: Veríssimo *et al.* (2018).

A combustão ocorre a partir do espalhador. Em certos modelos, o espalhador e o ejetor são componentes separados. É importante garantir que o espalhador esteja corretamente encaixado no conjunto, caso contrário, poderá acontecer a queima dentro da câmara de mistura (*flashback*). É fundamental nunca alterar os furos ou rasgos do queimador, pois suas dimensões são projetadas para que a chama apague sem retorno para a câmara de mistura.

A coloração ideal da chama é azul. Esse padrão de chama é considerado o mais adequado devido à sua melhor mistura entre o gás combustível e o oxidante. Trata-se da combustão completa, na qual todos os componentes do combustível, especialmente carbono e hidrogênio, reagem completamente com o oxigênio, formando dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O).

Quando o suprimento de oxigênio através do ar primário é insuficiente, ocorre a combustão incompleta, que produz uma chama amarela, com a emissão de monóxido de carbono (CO), que é um gás extremamente perigoso (Carvalho e Lacava, 2003). Adicionalmente, a chama amarela é maior que a chama normal e escurece o fundo das panelas, por conta da emissão de fuligem. Por outro lado, quando o suprimento de oxigênio através do ar primário é muito elevado, a chama se torna suspensa, podendo mesmo se desprender do queimador.

Ancoradores de chama tipo *swirl* são frequentemente encontrados em sistemas de combustão difusiva e, também, pré-misturada. Esses ancoradores utilizam uma zona de recirculação para obter estabilidade de chama, aumentar a eficiência térmica e reduzir a formação de poluentes (Turns, 2000; Lacava, 2000).

Muito poucos trabalhos foram desenvolvidos com o intuito de aplicar escoamentos rotativos em queimadores domésticos com chamas pré-misturadas. Alguns deles são descritos sucintamente a seguir.

Shen *et al.* (2024) construíram um novo protótipo compacto de alto desempenho HCP-m-TEG (gerador termoeletrico em mini-/meso-/microescala alimentado por combustão de hidrocarbonetos) com base em um queimador de turbilhão, para obter maior densidade de energia e saída de energia elétrica. Em comparação com trabalhos anteriores, este protótipo alcançou excelente densidade de energia. A emissão deste protótipo é comparável à de fogões residenciais, o que garante segurança. No geral, este protótipo oferece uma estrutura HCP-m-TEG de alta densidade de energia com amplo potencial comercial.

Liu *et al.* (2023) caracterizaram a combustão de uma mistura híbrida de gás natural (metano) e hidrogênio em fogões domésticos com rotação (*swirl*) através de experimentos e análise numérica. O mecanismo detalhado de combustão de metano e hidrogênio (GRI-Mech 3.0) foi simplificado para obter um número reduzido de reações químicas envolvidas (redução de 82%). O mecanismo simplificado de combustão foi utilizado para obter características de combustão da mistura. Os resultados mostraram que a máxima diferença na temperatura da zona de combustão foi menor que 13%. As investigações foram estendidas para misturas de metano e hidrogênio com frações volumétricas de hidrogênio variáveis. Os resultados mostraram que, para uma mistura contendo 15% de hidrogênio, a liberação de CO reduz em 25%, enquanto a temperatura média da zona de combustão reduz em 6,7%. Os resultados numéricos e os testes confirmaram que a temperatura permanece estável quando a mistura de metano e hidrogênio é utilizada em fogões domésticos com *swirl*, demonstrando sua eficácia nos processos de cozimento.

Jangala *et al.* (2022) apresentaram um novo modelo de projeto que incorpora rotação da chama, onde apenas os furos são feitos convergentes e o combustível é fornecido com a mesma taxa e volume de fluxo. Muitos artigos foram tomados como referência e, portanto, simulados com condições adequadas que são semelhantes ao ambiente circundante em uma cozinha. Os principais resultados foram os seguintes. a) A temperatura obtida a partir do queimador segue uma tendência decrescente para o queimador sem aletas e segue uma tendência crescente para o queimador com aletas. Para um ângulo de convergência de 5°, a temperatura obtida é mais alta. b) O queimador com aletas tem uma velocidade de saída menor; contudo, o queimador sem aletas tem alta velocidade de saída e a velocidade mais alta é obtida a um ângulo de convergência de 20°. c) À medida que o ângulo de convergência aumenta, as emissões de NO_x diminuem para o queimador sem aletas e obtêm-se as menores emissões para o queimador convencional. O ponto de interesse estava no queimador com furos convergentes, e obteve-se o menor valor para 10° de convergência com aletas.

Kuntikana e Prabhu (2019) caracterizaram termicamente queimadores de fogão a gás domésticos do tipo radial de autoaspiração com *swirl* induzido. As características de transferência de calor foram investigadas para ângulos de turbilhão variados nos portos internos. A eficiência térmica do método convencional de carga de água e do método alternativo apresentado coincide dentro de $\pm 2\%$. Entre todos os ângulos de turbilhão dos portos do queimador, o ângulo de turbilhão do porto interno de 10° produziu um número de Nusselt e eficiência térmica mais elevados. Verificou-se que a eficiência aumentou em 7% com uma redução simultânea na altura da carga de 10 mm e ao fornecer um ângulo de turbilhão interno de 10° .

Kotb e Saad (2018) estudaram a influência da razão de equivalência em queimadores domésticos com rotação, em comparação com o projeto sem rotação, na eficiência térmica, bem como nas emissões de CO, utilizando gás liquefeito de petróleo (GLP). Além disso, a estabilidade da chama e a altura do recipiente, definida como a distância do queimador para o recipiente (H), dos queimadores domésticos de rotação foram comparadas. A análise dos resultados mostrou que, para os queimadores com rotação, a eficiência térmica sob todas as condições de operação testadas é maior do que a do queimador sem rotação (queimador base). Os queimadores de rotação apresentam emissões de CO mais baixas do que o queimador base.

Deng *et al.* (2017) investigaram as características de combustão (estrutura de chama e distribuição de temperatura) e de emissão de poluentes de um injetor com baixo número de *Swirl*, para diferentes composições de combustível gasoso. Eles reportaram que o queimador pode sustentar uma chama e que há uma variedade de formatos de chama para diferentes números de *Swirl*. As emissões de NO_x e de CO dependeram da composição do gás e da carga térmica.

Zhen *et al.* (2014) redesenharam o espalhador de um queimador doméstico utilizando duas configurações diferentes. Uma das configurações apresentou melhores parâmetros de eficiência térmica, de emissão de poluentes e de intervalo de operação, para certos intervalos de Números de Reynolds do escoamento de gás. Em Números de Reynolds na faixa de 500, a eficiência térmica saltou de 35% para 60%, de um queimador convencional para um com *swirl*. Para Números de Reynolds acima de 1500, as eficiências foram muito parecidas.

Hou *et al.* (2007) investigaram a influência do escoamento com *swirl*, da aeração primária e da carga térmica na eficiência térmica e emissões de CO de queimadores domésticos. O foco foi na aplicação de um queimador tipo *swirl*. Eles detectaram um incremento de 12% na eficiência térmica do queimador *swirl* em relação ao queimador convencional.

Jugjai e Rungsimuntuchart (2002) desenvolveram um queimador poroso semi-confinado com recirculação. Eles também observaram um aumento de 12% na eficiência térmica com relação ao queimador convencional. Assim, há um grande potencial do uso de *swirls* para obter aumento de eficiência e minimização de geração de poluentes em queimadores domésticos.

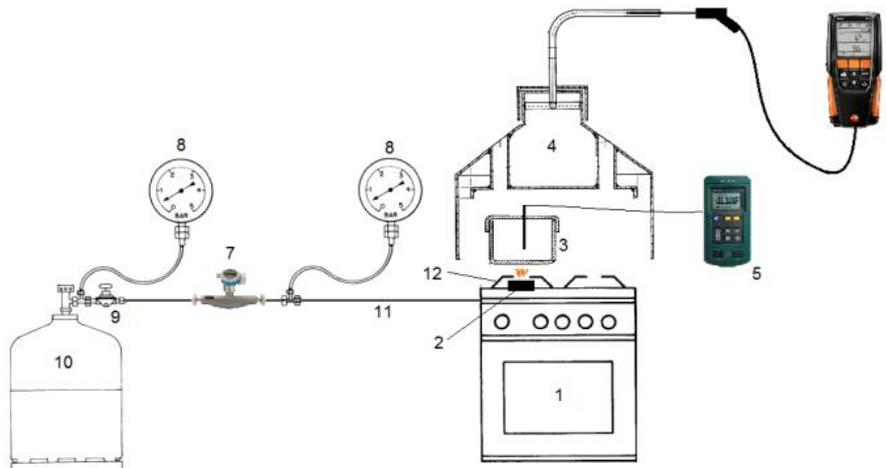
O desenvolvimento aqui descrito refere-se a espalhadores que mantenham a mesma área de descarga e a mesma perda de carga de um espalhador convencional, que sejam versáteis e não impliquem em modificação alguma no fogão. Nessas condições, e por serem de baixa pressão, os espalhadores desenvolvidos são bastante distintos daqueles reportados na literatura.

II. METODOLOGIA

A Figura 2 mostra o layout do equipamento de teste. Na figura, tem-se: 1 - Fogão ou sistema de fogão adaptado em mesa; 2 - Queimador usinado; 3 - Recipiente

usinado; 4 – Coifa; 5 – Termopar; 6 – Medidor de concentrações de CO e O₂; 7 – Medidor de vazão (micro vazão); 8 – Manômetros; 9 – Regulador de pressão; 10 – Botijão de gás; 11 – Tubos ou mangueiras flexíveis e conexões; 12 – Suporte para recipiente usinado.

Figura 2 – Layout do equipamento de teste.



Fonte: NBR 13723-1.

O método de ensaio foi exatamente como descrito na NBR 13723-2. A temperatura da água foi medida com termopar colocado no centro do volume de água, com resolução de 0,1°C. O queimador, coberto com o recipiente de 220 mm, contendo 3,7 kg de água, foi operado por 10 minutos na sua potência nominal antes dos testes.

Foi montada a bancada para análise de novos espalhadores de chama para os queimadores, conforme fotografia da Figura 3.

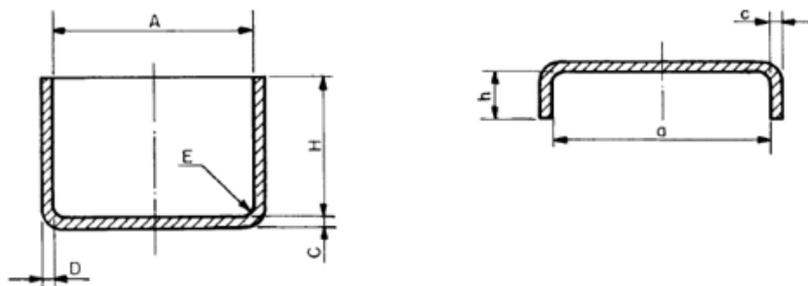
Figura 3 – Bancada de testes.



Autoria própria.

A Figura 4 mostra um esquema das placas; as dimensões de cada uma, que dependem da taxa de calor utilizada, são mostradas na Tabela 1. A Figura 5 mostra um esquema da coifa.

Figura 4 – Recipiente e tampa para ensaio de queimadores a gás.



Fonte: NBR 13723-1.

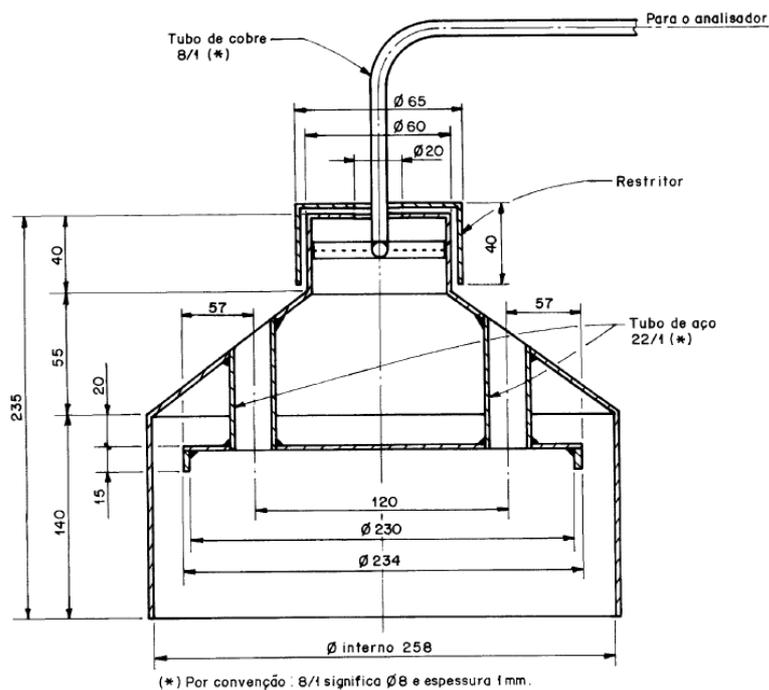
Tabela 1 - Diâmetro do recipiente e massa de água para as placas construídas e utilizadas.

Panela	Potência do queimador, kW	Diâmetro interno do recipiente, mm	Massa de água, kg
1	1,16 a 1,64	220	3,7
2	1,65 a 1,98	240	4,8

Fonte: NBR 13723-1.

Figura 5 – Coifa de amostragem para queimadores individuais.

Dimensões em milímetros



(*) Por convenção: 8/1 significa $\phi 8$ e espessura 1 mm.

Fonte: NBR 13723-1.

O método de ensaio foi exatamente como descrito na NBR 13723-2. A temperatura da água foi medida com termopar colocado no centro do volume de água, com resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$. O queimador, coberto com o recipiente de 220 mm, contendo 3,7 kg de água, foi operado por 10 minutos na sua potência nominal antes dos testes. O

volume de gás utilizado, V_c , em metros cúbicos, era corrigido para as condições de referência do PCS pela seguinte equação:

$$V_c = V \frac{P_a + P - W}{101,33} \frac{288,15}{273,15 + T_g} \quad (1)$$

onde: V é o volume lido, em m^3 , nas condições de ensaio, P_a é a pressão atmosférica local, em kPa, P é a pressão de alimentação de gás no medidor, em kPa, T_g é a temperatura do gás no ponto de medida, em $^{\circ}C$, e W é a pressão de vapor da água na temperatura T_g , em kPa, calculada por:

$$W = \frac{e^x}{10}, \quad (2)$$

sendo:

$$x = \left(21,094 - \frac{5262}{273,15 + T_g} \right). \quad (3)$$

O rendimento, η , em %, foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$\eta = 4,186 \times 10^{-3} M \frac{T_2 - T_1}{V_c H} 100, \quad (4)$$

onde: M é a massa equivalente do recipiente de ensaio, devendo ser calculada por

$$M = M_1 + 0,213 \times m, \quad (5)$$

onde: M_1 é a massa de água utilizada, em kg; m é a massa de alumínio, correspondente ao recipiente de ensaio e sua tampa, em kg (a massa m deve ser medida), T_1 é a temperatura inicial, em $^{\circ}C$, T_2 é temperatura máxima da água após a extinção, em $^{\circ}C$, H é o poder calorífico do gás utilizado, em MJ/m^3 .

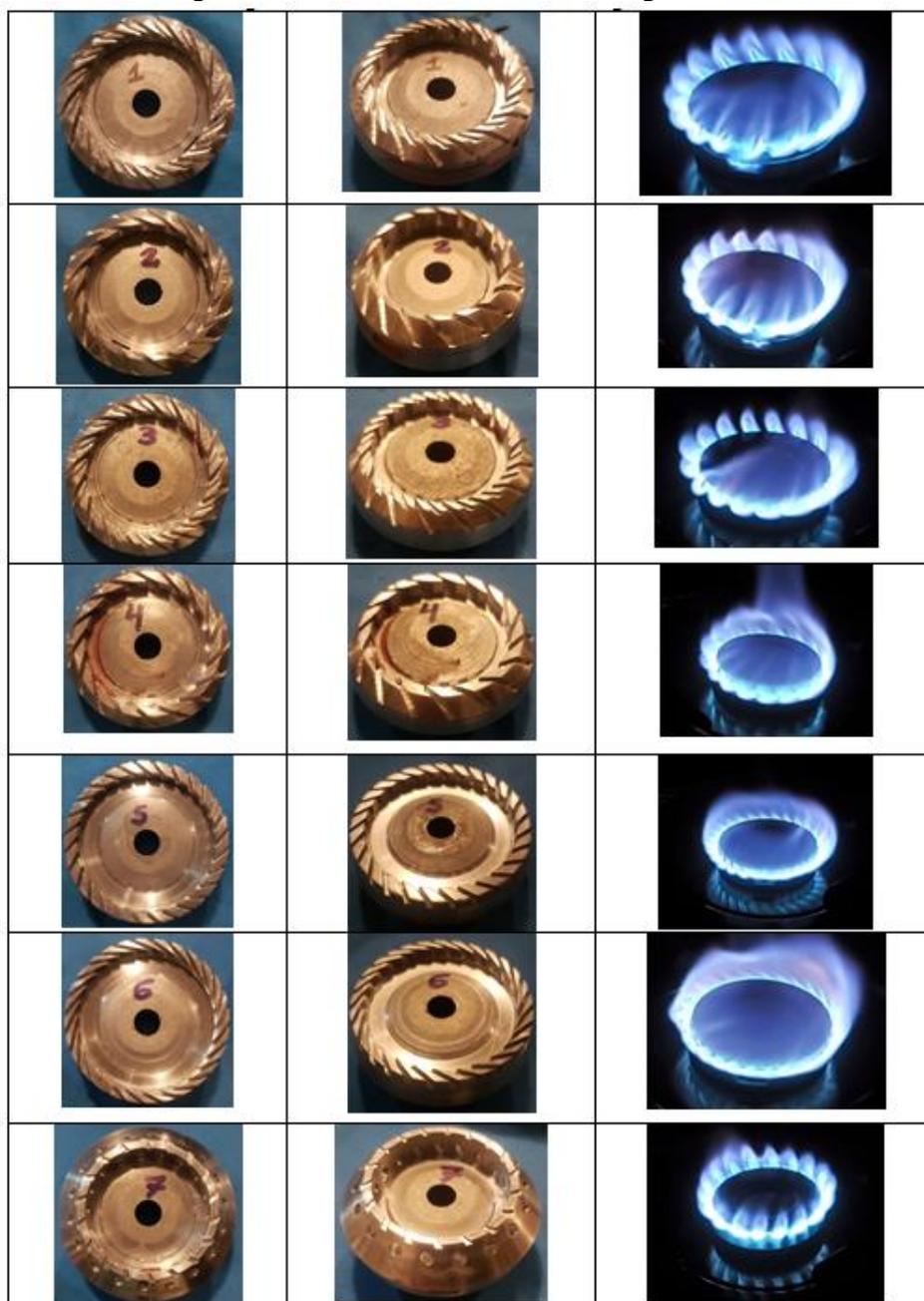
Para a realização dos ensaios, foi utilizado gás GLP comercial, fornecido pela Consigaz. Não foi possível obter o valor do poder calorífico (H) e a composição correta do combustível com o fornecedor. Além disso, o GLP libera compostos leves no início do consumo do botijão e compostos mais pesados vão sendo liberados posteriormente. Para isolar essas incertezas, antes de cada ensaio dos cinco queimadores deste trabalho, era realizado um ensaio com o queimador de referência, da Nardelli, e a ele atribuído o rendimento de 67%, conforme atestado pelo INMETRO. Dessa maneira, o valor do poder calorífico era obtido, considerando as condições do ensaio, e utilizado para calcular o rendimento dos outros queimadores. Foi assumido que em ensaios realizados imediatamente após o conduzido com o queimador padrão, a composição do GLP manteve-se a mesma, em função do reduzido consumo mássico de gás em cada ensaio. Para um botijão de 13 kg de GLP, o consumo em cada ensaio era da ordem de 23 a 24 L, ou seja, aproximadamente 1 mol de gás. Como a massa molecular do GLP é da ordem de 48 g/mol, 1 mol de gás representa 0,36% do botijão de 13 kg.

Os testes foram realizados em duas fases. Na primeira fase, foram desenvolvidos 5 queimadores, 2 deles fora de norma. A segunda fase consistiu no refino do queimador de melhor desempenho da primeira fase. Nessa fase, foram construídos 20 modelos, 13 dos quais foram descartados por apresentarem problemas (retorno de chama, chama não completamente espalhada, chama amarela etc.).

III. RESULTADOS

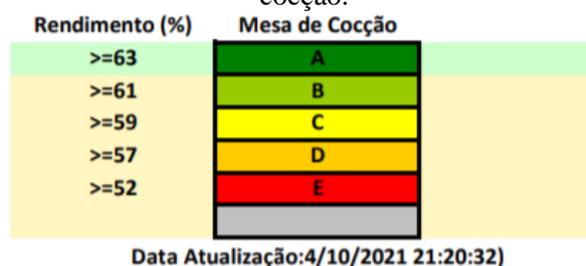
A Figura 6 apresenta os modelos que não apresentaram problemas, e que foram numerados de 1 a 7. O modelo que apresentava melhor eficiência de mercado, e utilizado como referência para eficiência na segunda etapa, foi um modelo da marca SABAF (utilizado em *cooktop* NARDELLI) que apresenta resultado de 67% de eficiência segundo norma ABNT NBR 13723-1 e 13723-2 (mesmo modelo utilizado na primeira etapa). Atualmente, segundo o Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO, datado de 04/10/2021, os queimadores de melhor rendimento de mercado são alguns modelos CE da marca D&D METAL, com 69% de eficiência. O critério de etiquetagem do INMETRO indica a classificação da Figura 7 para queimadores a gás de mesas de cocção.

Figura 6 – Modelos desenvolvidos na segunda fase.



Fonte: Autoria própria.

Figura 7 – Classificação de rendimento de queimadores a gás para queimadores de mesa de cocção.



Fonte: INMETRO.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos com os protótipos principais desenvolvidos na segunda etapa em comparação com o modelo SABAF da NARDELLI.

Tabela 2 – Resultados (eficiência e emissão CO) obtidos com os principais protótipos desenvolvidos na segunda etapa.

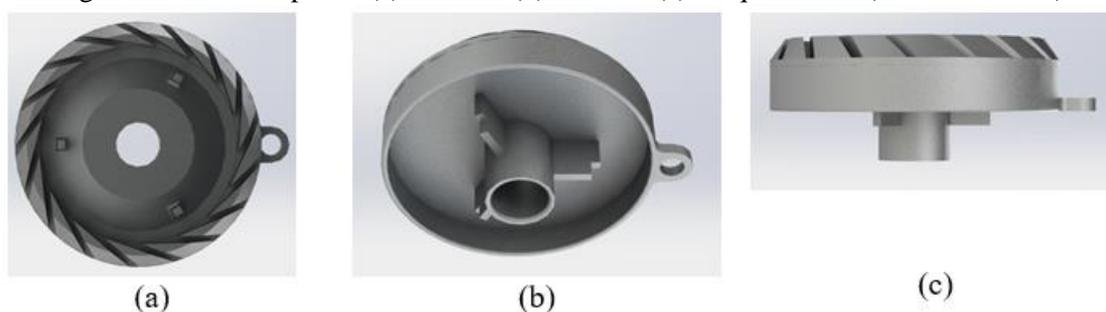
Modelo	Eficiência (%)	Emissão de CO (p.p.m)
SABAF, NARDELLI	67	140 ± 20
#1	66,1 ± 0,2	136 ± 20
#2	65,8 ± 0,2	120 ± 20
#3	70,8 ± 0,2	25 ± 20
#4	73,0 ± 0,2	55 ± 20
#5	67,8 ± 0,2	150 ± 20
#6	69,8 ± 0,2	133 ± 20
#7	71,2 ± 0,2	336 ± 20

Fonte: Autoria própria.

Verifica-se que o Modelo 4 apresentou o melhor rendimento e uma muito baixa emissão de CO. Não se conseguiu informação sobre a emissão de CO dos queimadores D&D METAL.

Dos resultados do Modelo 4, foram desenvolvidos dois projetos finais para produtos, sendo um conjunto (queimador e trempe) para potência de 1,75 kW e outro para 3 kW. Trempe é o nome dado ao suporte da panela no fogão. A Figura 8 apresenta um desenho para ambos os queimadores.

Figura 8 – Vistas superior (a), inferior (b) e lateral (c) do queimador (sem dimensões).



Fonte: Autoria própria.

Ambos os conjuntos queimadores (de 1,75 e 3 kW) são compostos por 5 partes principais (excluindo o bico injetor e a centelha elétrica, que são itens de prateleiras): tampa, copo, queimador, base da trempe e trempe.

IV. CONCLUSÃO

Pode-se afirmar que a pesquisa foi bem-sucedida, pois logrou obter experimentalmente queimadores mais eficientes. A metodologia seguiu as normas da ABNT, a menos do uso de GLP no lugar de butano puro na realização dos testes. A comparação entre eficiências deu-se com o valor publicado pelo INMETRO para o queimador convencional adotado como padrão.

Bons resultados foram obtidos para 7 modelos. Destes, 4 se mostraram mais eficientes em relação aos existentes no mercado. Até o momento foi obtida eficiência de 73%, valor maior que os 67% do melhor queimador convencional.

Todos os 7 modelos apresentaram níveis muito baixos de emissão de monóxido de carbono, especialmente os modelos #3 e #4, com concentrações médias de 25 e 55 p.p.m., respectivamente.

Para trabalho futuro, recomenda-se a pesquisa com gás natural. Para tanto, prevê-se a substituição do injetor na base do copo. É esperado que os queimadores modificados apresentem desempenho ainda maior, com relação à eficiência e às emissões, pois haverá menor necessidade de ar com o novo combustível.

Há perspectivas de injeção de biometano (o chamado gás natural renovável) e até de hidrogênio na rede de gás natural por conta das preocupações mundiais com o aumento do efeito estufa causado por emissões de carbono fóssil. Este candidato ao mestrado sente-se preparado para desenvolver queimadores de fogão que aceitem essas mudanças.

V. REFERÊNCIAS

- BELLAM, R.J.; SOUZA, T.M., Prognóstico da Utilização de Fontes Alternativas de Energia no Setor Residencial, **Revista Sodebras [on line]**, 18, 209, 97-107, 2023.
DOI:10.29367/issn.1809-3957.18.2023.209.97
- CARVALHO, J.A.; LACAVAL, P.T., **Emissões em Processos de Combustão**, Editora da UNESP, 2003.
- DENG, Y.; WU, H.; SU, F., Combustion and exhaust emission characteristics of low swirl injector, **Applied Thermal Engineering**, 110, 171-180, 2017.
- HOU, S.S.; LEE, C.H.; LIN, T.H., Efficiency and emissions of a new domestic gas burner with a swirling flame, **Energy Conversion and Management**, 48, 1401-1410, 2007.
- JANGALA, S.S.L.; KAKUMANI, V.S.P.; VUNNAM, N.S.; SREEKANTH, P.S.R., A novel brass metal burner design for conventional LPG stove with convergent holes and swirl flow, **Materials Today: Proceedings**, 56, 1068-1074, 2022.
- JUGJAI, S.; RUNGSIMUNTUCHART, N., High efficiency heat-recirculating domestic gas burners, **Experimental Thermal and Fluid Science**, 581-592, 2002.
- KOTB, A.; SAAD, H., Case study for co and counter swirling domestic burners, **Case Studies in Thermal Engineering**, 11, 98-104, 2018.
- KUNTIKANA, P.; PRABHU, S.V., Thermal investigations on self-aspirating type radial flow burners with induced swirl, **Applied Thermal Engineering**, 161, Article 114118, 2019.
- LACAVAL, P.T., **Investigação experimental do enriquecimento do ar na incineração de resíduos aquosos**, Tese de Doutorado, ITA, 2000.

LIU, X.; ZHU, G.; ASSIM, T.; MISHRA, R., Combustion characterization of hybrid methane-hydrogen gas in domestic swirl stoves, **Fuel**, 333, Article 126413, 2023.

NBR 13723-1, **Aparelho doméstico de cocção a gás**. Parte 1: Desempenho e segurança.

NBR 13723-2, **Aparelho doméstico de cocção a gás**. Parte 2: Uso racional de energia.

SHEN, R.; LI, G.; ZHU, Y.; TANG, Y.; GUO, W.; ZHENG, Y.; HUANG, K., Development of a compact high-performance combustion powered thermoelectric generator based on swirl burner, **Energy**, 286, Article 129455, 2024.

URNS, S.R., **An Introduction to Combustion – Concepts and Applications**, McGraw-Hill, 2000.

VERÍSSIMO, A.S.; CARVALHO, D.S.; CARVALHO, J.A., Novo espalhador de chama para queimadores de fogão, **Prêmio GLP de Inovação e Tecnologia**, 2018.

ZHEN, H.S.; LEUNG, C.W.; WONG, T.T., Improvement of domestic cooking flames by utilizing swirling flows, **Fuel**, 119,153-156, 2014.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Programa PRH 34.1 da Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, pela bolsa de mestrado concedida a DSC.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.