

DANIEL SOLFERINI DE CARVALHO

Estudo de Espalhador de Chama para Queimadores de Fogão Doméstico com
Swirl

Guaratinguetá - SP

2024

Daniel Solferini de Carvalho

**Estudo de Espalhador de Chama para Queimadores de Fogão Doméstico com
*Swirl***

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna – UNESP/FEG
Co-orientador: Dr. Anton Skyrda Veríssimo – Thermojet

Guaratinguetá - SP
2024

Carvalho, Daniel Solferini de
C331e Estudo de espalhador de chama para queimadores de fogão doméstico com *Swirl* /
Daniel Solferini de Carvalho - Guaratinguetá, 2025.
50 f : il.
Bibliografia: f. 39-40

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia
e Ciências de Guaratinguetá, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna
Coorientador: Dr. Anton Skyrda Veríssimo

1. Chama - Combustão. 2. Combustão.
3. Análise energética. 4. Calor - transmissão. I. Título.

CDU 620.91(043)

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

DANIEL SOLFERINI DE CARVALHO

**Estudo de Espalhador de Chama para Queimadores de Fogão Doméstico com
“Swirl”**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Data da defesa: 30/09/2024

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
CELSO EDUARDO TUNA
Data: 30/09/2024 16:12:25-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA
Orientador - UNESP



Documento assinado digitalmente
CHRISTIAN JEREMI CORONADO RODRIGUEZ
Data: 03/10/2024 14:12:11-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. CHRISTIAN JEREMI RODRIGUEZ CORONADO
UNIFEI



Documento assinado digitalmente
NESTOR PROENZA PEREZ
Data: 09/10/2024 08:51:57-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. NESTOR PROENZA PÉREZ
UNESP

DADOS CURRICULARES

NOME COMPLETO DO AUTOR: Daniel Solferini de Carvalho

NASCIMENTO: 22 de abril de 1985

FILIAÇÃO: João Andrade de Carvalho Junior
Marta Solferini de Carvalho

GRADUAÇÃO: Engenharia Mecânica
UNESP – FEG
Ano: 2015

A Deus.

Aos meus pais, agradeço todo carinho,
apoio, educação e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna e ao Dr. Anton Skyrda Veríssimo, pelo incentivo e orientação.

Ao Programa PRH 34.1, da UNESP/FEG, pelo apoio na forma de uma bolsa de mestrado.

À FAPESP, pelo apoio financeiro através dos projetos 2017/15785-4 (PIPE Fase 1) e 2018/23594-7 (PIPE Fase 2).

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por permitir a montagem do equipamento e realização de testes em seu Laboratório Associado de Combustão e Propulsão (LCP). Ao Prof. Fernando Henrique Mayworm de Araújo (*in memoriam*), pelo apoio na realização das atividades no INPE.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

“Se fiz descobertas valiosas, foi mais por ter paciência do que qualquer outro talento”

Isaac Newton

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 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 Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). O levantamento da eficiência e das emissões de CO deu-se conforme 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). Pode-se afirmar que a pesquisa foi bem-sucedida, pois conseguiu obter experimentalmente queimadores mais eficientes. 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 dois deles, com concentrações médias de 25 e 55 p.p.m., respectivamente.

Palavras-chave: chama; combustão; *swirl*; fogão; projeto.

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 (Domestic Gas Cooking Appliance. Part 1: Performance and Safety) and NBR 13723-2 (Domestic Cooking Appliance to Gas. Part 2: Rational Use of Energy). It can be said that the research was successful, as more efficient burners were obtained experimentally. Good results were obtained for 7 models. Of these, 4 proved to be more efficient than those available on the market. So far, an efficiency of 73% has been achieved, a value higher than the 67% of the best conventional burner. All 7 models showed very low carbon monoxide emissions, especially two of them with average concentrations of 25 and 55 p.p.m. respectively.

Keywords: flame; combustion; swirl; stove; design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Representação esquemática do funcionamento do queimador de fogão.	14
Figura 1.2 – Porcentagem de ar primário (com relação ao ar estequiométrico) como função da potência calorífica do queimador, para <i>flashback</i> , chama suspensa, operação satisfatória e chama amarelada. Combustível; gás natural. Diâmetro dos furos: 2,7 mm; espaçamento entre furos: 6,35 mm.	15
Figura 1.3 – Porcentagem de ar primário (com relação ao ar estequiométrico) como função da potência calorífica do queimador, para <i>flashback</i> , chama suspensa, operação satisfatória e chama amarelada. Vários combustíveis.	16
Figura 3.1 – Layout do equipamento de teste.	21
Figura 3.2 – Bancada de testes.	22
Figura 3.3 – Selo de eficiência do <i>cooktop</i> Nardelli modelo NV4.	22
Figura 3.4 – Recipiente e tampa para ensaio de queimadores a gás.	23
Figura 3.5 – Coifa de amostragem para queimadores individuais.	23
Figura 4.1 – Aerodinâmica do queimador de fogão com <i>swirl</i> .	26
Figura 4.2 – Queimador <i>swirl</i> .	27
Figura 4.3 – Espalhamento de chama nos modos convencional (a) e <i>swirl</i> (b).	27
Figura 4.4 – Variação da temperatura com o tempo para queimador convencional (a) e queimador <i>swirl</i> (b).	28
Figura 4.5 – Configurações de queimadores testados, primeira fase.	29
Figura 4.6 – Inclinação dos orifícios do queimador número 3.	30
Figura 4.7 – Modelos da segunda fase que apresentaram problemas.	33
Figura 4.8 – Modelos desenvolvidos na segunda fase.	35
Figura 4.9 – Classificação de rendimento de queimadores a gás para queimadores de mesa de cocção.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Diâmetro do recipiente e massa de água para as painelas construídas e utilizadas.	23
Tabela 3.2 – Incertezas de medidas dos instrumentos utilizados.	25
Tabela 4.1 – Resultados obtidos, primeira fase.	31
Tabela 4.2 – Concentrações de monóxido de carbono (CO).	31
Tabela 4.3 – Resultados (eficiência e emissão CO) obtidos com os principais protótipos desenvolvidos na segunda etapa.	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DA PESQUISA	12
1.2	FUNCIONAMENTO DE UM QUEIMADOR DE FOGÃO DOMÉSTICO	12
1.3	OBJETIVO	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
3	MATERIAL E MÉTODO	21
3.1	EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO	21
3.2	MÉTODO DE ENSAIO	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	AValiação PRELIMINAR DO GANHO DE EFICIÊNCIA	26
4.2	QUEIMADORES DA PRIMEIRA FASE	28
4.3	QUEIMADORES DA SEGUNDA FASE	32
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHO FUTURO	38
	REFERÊNCIAS	39
	APÊNDICE A -	41

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

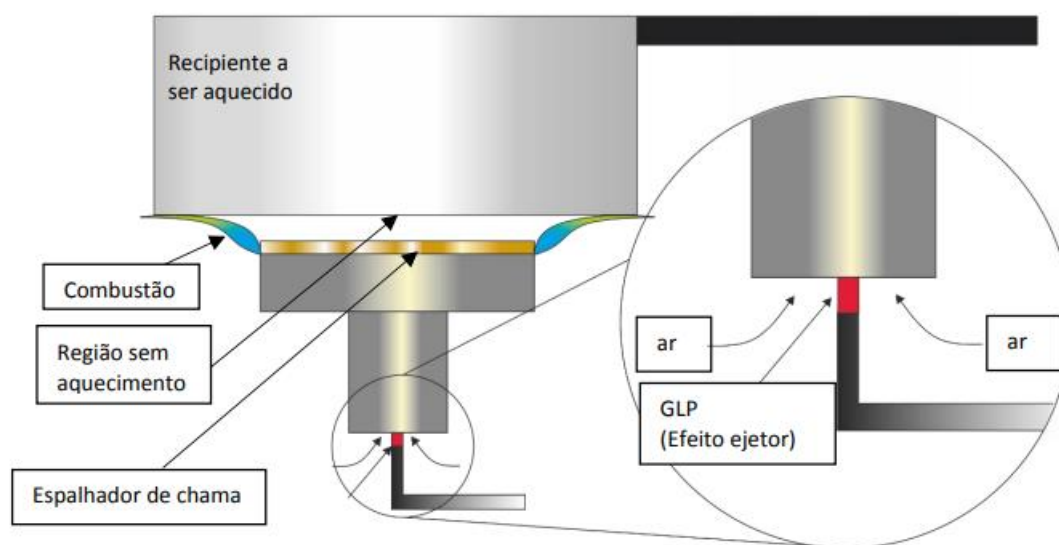
Atualmente nenhum fogão doméstico a gás comercializado do Brasil possui o artifício de uso do *swirler* (turbilhonador de chama). Testes preliminares, realizados a partir de protótipos e instrumentos simples, demonstraram que o uso desse artifício pode gerar um rendimento de até 20% superior aos queimadores de fogão convencionais. A proposta desta pesquisa foi o desenvolvimento 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).

Uma análise preliminar e simplificada indicou que cerca de 8 milhões de fogões são comercializados internamente no Brasil, por ano. A meta final, a longo prazo, é atingir pelo menos 5% deste mercado (ou seja, aproximadamente 400.000 fogões/ano com pelo menos um espalhador *swirl*), oferecendo um produto versátil, econômico e não poluente que possa substituir facilmente o espalhador de um queimador convencional, sem alterar qualquer outro componente do fogão.

1.2 FUNCIONAMENTO DE UM QUEIMADOR DE FOGÃO DOMÉSTICO

Os queimadores de fogão operam em sua maioria com gás liquefeito de petróleo. Hoje 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 1.1. 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 da panela. A maior parte do calor produzido pela chama não é transportada para fora devido à aerodinâmica do espalhador de chama. Isso faz com que haja certo desperdício de combustível, sendo este o problema tratado no presente trabalho.

Figura 1.1 – 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.

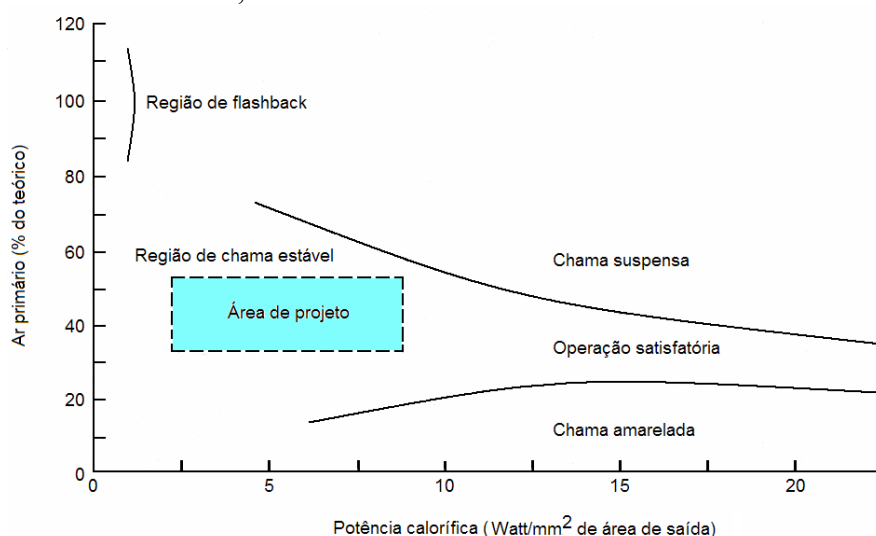
A coloração ideal da chama é azul. Esse padrão de chama é considerado o mais adequado devido à sua melhor mistura entre o gás combustível e o oxidante. Trata-se da combustão completa, na qual todos os componentes do combustível, especialmente carbono e hidrogênio, reagem completamente com o oxigênio, formando dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O).

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; 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.

A Figura 1.2 mostra, para o gás natural, os envelopes para chama amarela e chama suspensa. A coloração de uma chama é um indicador preciso da eficiência e intensidade

da combustão. Chamas azuis são características de uma combustão completa, onde o combustível é queimado totalmente, liberando o máximo de energia em forma de calor. Por outro lado, chamas amarelas evidenciam uma combustão incompleta, com liberação de partículas sólidas incandescentes e menor produção de calor. A chama suspensa, em vez de aderir à boca do queimador, ela se eleva, queimando de forma irregular e ineficiente. A Figura 1.3 mostra os mesmos envelopes para diversos gases.

Figura 1.2 – Porcentagem de ar primário (com relação ao ar estequiométrico) como função da potência calorífica do queimador, para *flashback*, chama suspensa, operação satisfatória e chama amarelada. Combustível; gás natural. Diâmetro dos furos: 2,7 mm; espaçamento entre furos: 6,35 mm.



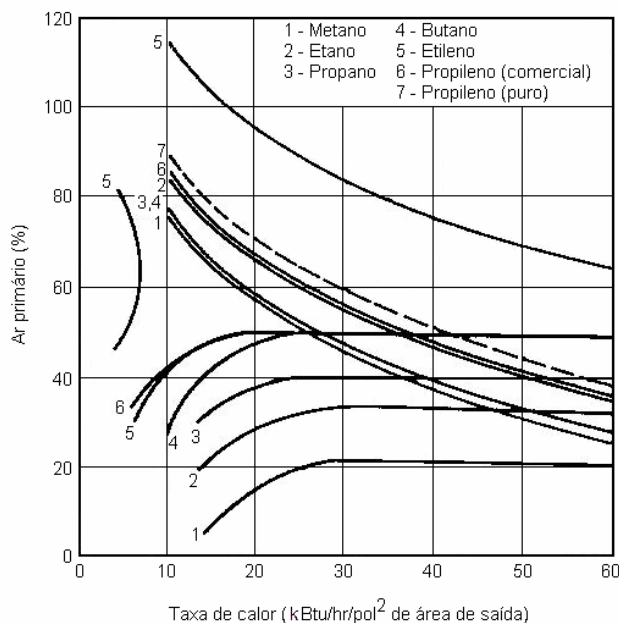
Fonte: (GRI, 2003; TURNS, 2013).

A quantidade induzida de ar é função do projeto do misturador de indução atmosférica. Os passos para o projeto deste misturador podem ser encontrados no livro texto do curso de Combustão da Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UNESP (CARVALHO et al., 2018).

1.3 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento de um queimador de fogão que seja mais eficiente que os queimadores de fogão comercializados no Brasil atualmente.

Figura 1.3 – Porcentagem de ar primário (com relação ao ar estequiométrico) como função da potência calorífica do queimador, para *flashback*, chama suspensa, operação satisfatória e chama amarelada. Vários combustíveis.



Fonte: (GRI, 2003)

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho se estruturou nos seguintes capítulos:

- Capítulo 2: Revisão da Literatura. A literatura no tema é escassa, porém, mesmo assim, referências atuais foram encontradas e discutidas junto a outras mais antigas.
- Capítulo 3: Material e Método. Este capítulo discute o equipamento desenvolvido e o método de ensaios, ambos baseados nas NBR 13723-1 e NBR 13723-2.
- Capítulo 4: Resultados e Discussão. Neste capítulo, são discutidos os resultados de testes preliminares que levaram ao desenvolvimento do trabalho, os resultados de queimadores desenvolvidos em uma primeira fase e os resultados de queimadores desenvolvidos em uma segunda fase (fase esta na qual foram realizadas modificações no sentido de melhorar a eficiência e diminuir a emissão de monóxido de carbono dos modelos mais promissores da fase anterior).
- Capítulo 5: Conclusão e Recomendações para Trabalho Futuro.

2 REVISÃO DA LITERATURA

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 (LACAVA, 2000; TURNS, 2013).

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.

Um novo protótipo compacto de alto desempenho HCP-m-TEG (gerador termoelétrico 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, foi construído (SHEN *et al.*, 2024). O volume total e o peso do protótipo HCP-m-TEG são apenas de 863,65 cm³ e 2,470 kg. Os resultados experimentais mostram que, sob condições operacionais extremas, seguras e de longo prazo, a potência elétrica e a eficiência geral do protótipo atingem 76,93 W-3,81%, 69,58 W-3,73% e 56,21 W-3,29%, respectivamente. Em comparação com trabalhos anteriores, este protótipo alcançou excelente densidade de energia. Além disso, as emissões, modularidade e os planos práticos do protótipo são totalmente discutidos. A emissão deste protótipo é comparável à de fogões residenciais, o que garante segurança. Ao combinar diferentes números de unidades de geração, diversos modos de aplicação potenciais podem ser desenvolvidos. No geral, este protótipo oferece uma estrutura HCP-m-TEG de alta densidade de energia com amplo potencial comercial.

A combustão de uma mistura híbrida de gás natural (metano) e hidrogênio em fogões domésticos com rotação (*swirl*) foi caracterizada através de experimentos e análise numérica (LIU *et al.*, 2023). 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. A diferença entre os resultados obtidos com os mecanismos detalhado e simplificado foi determinada como sendo menor que 1%. Um modelo numérico, baseado no modelo simplificado de combustão, foi desenvolvido, rigorosamente testado e validado em testes. 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.

Muitos queimadores de GLP existem no mercado e estão surgindo com novos projetos e eficiências diferentes. 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, foi desenvolvido (JANGALA *et al.*, 2022). Muitos artigos foram tomados como referência e, portanto, simulados com condições adequadas que são semelhantes ao ambiente circundante em uma cozinha. Uma série de simulações foi realizada e descobriu-se que muitos valores foram obtidos em diferentes ângulos. Uma aleta de guia, que pode criar um efeito de turbilhão para o queimador e pode fazer a combustão de forma mais eficaz, foi implementada no queimador. Para saber especialmente onde a maior eficiência pode ser alcançada, um teste de fervura de água foi realizado com a fabricação deste protótipo com metal de latão. 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.

Um estudo sobre a caracterização térmica de queimadores de fogão a gás domésticos do tipo radial de autoaspiração com *swirl* induzido foi desenvolvido (KUNTIKANA; PRABHU, 2019). As características de transferência de calor foram investigadas para ângulos de turbilhão variados nos portos internos. Uma metodologia alternativa foi sugerida para avaliar o desempenho térmico dos queimadores, fornecendo insights técnicos adicionais em comparação com o teste convencional de carga de água. 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°.

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), foram investigadas (KOTB; SAAD, 2018). 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). Por exemplo, a eficiência térmica aumentou em até 8,8% em relação ao queimador base. com número de Reynolds igual a 2000 e razão de equivalência 1. Os queimadores de rotação apresentam emissões de CO mais baixas do que o queimador base. Com o aumento da altura do recipiente, a eficiência térmica de todos os queimadores diminui porque a chama e os gases de combustão são resfriados devido à mistura com o ar ambiente. Como resultado, a transferência de calor é reduzida devido à perda atmosférica, o que diminui a eficiência térmica.

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, foram investigadas, na China (DENG *et al.*, 2017). Eles reportaram que o queimador pode sustentar uma chama e que há uma variedade de formatos de chama para diferentes para diferentes Números de *Swirl*. As emissões de NO_x e de CO dependeram da composição do gás e da carga térmica.

O espalhador de um queimador doméstico utilizando duas configurações diferentes foi redesenhado (ZHEN *et al.*, 2014). 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), em Formosa, 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.

Um queimador poroso semiconfinado com recirculação foi desenvolvido (JUGJAI, 2002). 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.

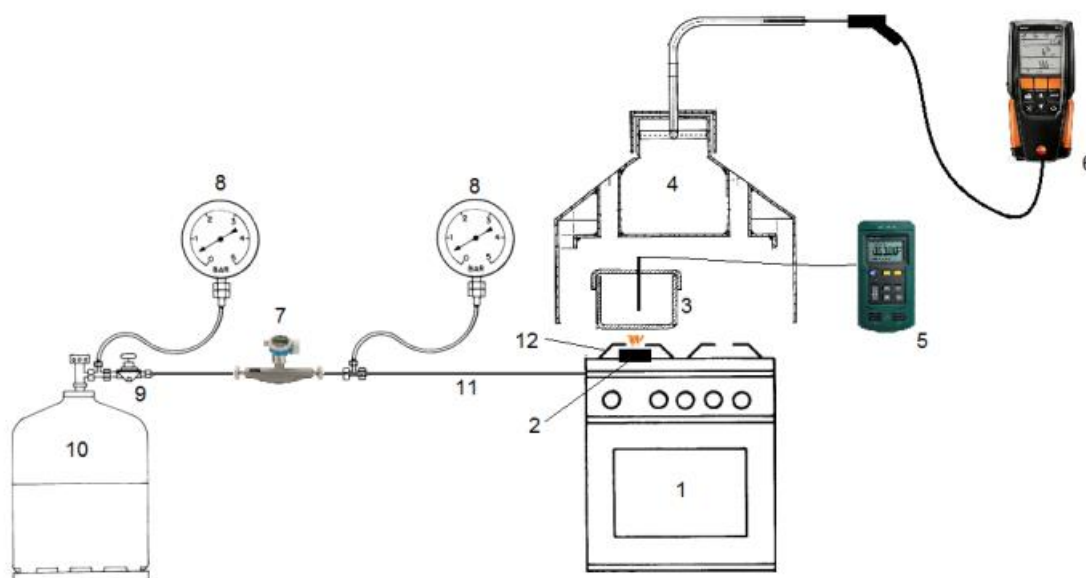
O desenvolvimento aqui descrito refere-se a espalhadores que mantenham a área de descarga e a mesma perda de carga de um espalhador convencional, que sejam versáteis e não impliquem em modificação alguma no fogão. Nessas condições, e por serem de baixa pressão, os espalhadores desenvolvidos são bastante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

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO

A Figura 3.1 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 3.1 – Layout do equipamento de teste.



Fonte: (NBR 13723-1, 2003).

Foi montada a bancada para análise de novos espalhadores de chama para os queimadores, conforme fotografia da Figura 3.2.

Como previsto, para o teste da eficiência foram utilizados os seguintes equipamentos: novos espalhadores de chama usinados, botijão com gás GLP, mangueiras e conexões, medidor de vazão, contador caseiro de gás GLP, manômetro digital, termopar tipo K, *cooktop* Nardelli (de vidro preto, 4 bocas, modelo NV4), duas panelas (com tampas) e uma coifa.

A Figura 3.3 mostra o selo de eficiência dos queimadores do *cooktop* Nardelli modelo NV4. Na ocasião dos testes, era o mais eficiente do mercado, com 67% de eficiência. Hoje, este valor subiu para 69%.

Figura 3.2 – Bancada de testes.



Fonte: Autoria própria.

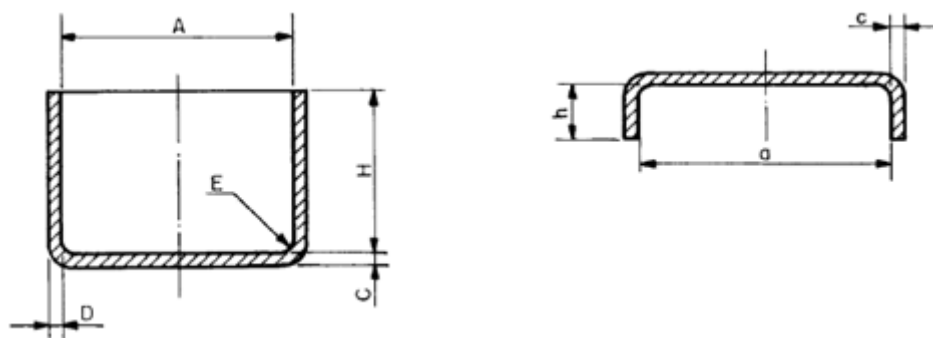
Figura 3.3 – Selo de eficiência do *cooktop* Nardelli modelo NV4.



Fonte: INMETRO.

A Figura 3.4 mostra um esquema das panelas; as dimensões de cada uma, que dependem da taxa de calor utilizada, são mostradas na Tabela 3.1. A Figura 3.5 mostra um esquema da coifa.

Figura 3.4 – Recipiente e tampa para ensaio de queimadores a gás.



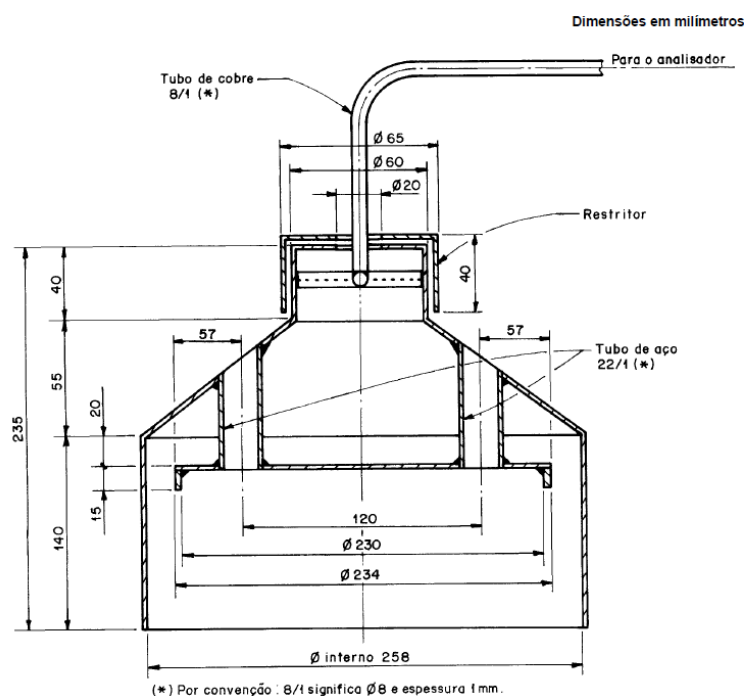
Fonte: (NBR 13723-1, 2003).

Tabela 3.1 - Diâmetro do recipiente e massa de água para as panelas 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, 2003).

Figura 3.5 – Coifa de amostragem para queimadores individuais.



Fonte: (NBR 13723-1, 2003).

3.2 MÉTODO DE ENSAIO

O método de ensaio foi exatamente como descrito na norma para este fim (NBR 13723-2, 1999). 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. 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 °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: $4,186 \times 10^{-3}$ é o valor do calor específico da água, em MJ/kg, 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 °C, T_2 é temperatura máxima da água após a extinção, em °C, H é o poder calorífico do gás utilizado, em MJ/m³.

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.

Na Tabela 3.2 são apresentadas as incertezas de medidas dos instrumentos utilizados.

Tabela 3.2 – Incertezas de medidas dos instrumentos utilizados.

Instrumento	Incerteza
Balança analítica	$\pm 0,5$ g
Manômetro digital	$\pm 0,1$ kPa
Termômetro (temp. ambiente)	$\pm 0,5$ °C
Termômetro (temp. água)	$\pm 0,1$ °C
Cronômetro digital	± 1 s
Analizador de gases	± 20 ppm

Fontes: manuais dos respectivos instrumentos.

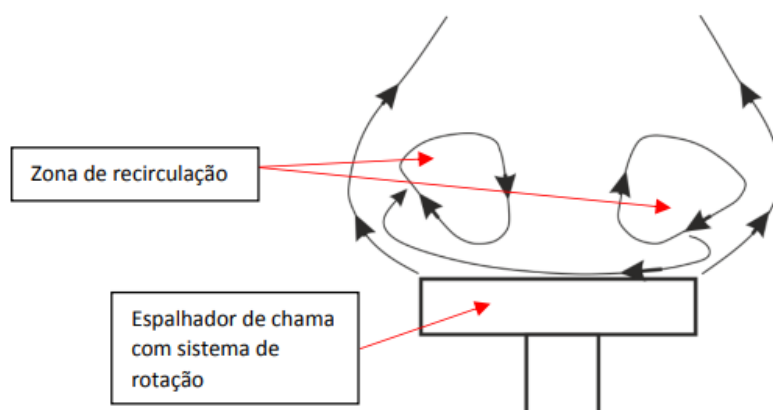
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO GANHO DE EFICIÊNCIA

Conforme se pode observar na Figura 4.1, o espalhador de chama convencional faz com que boa parte do calor seja transportado para fora do recipiente. As estimativas são que até 40% de todo calor gerado sejam desperdiçados devido a aerodinâmica do espalhador (VERÍSSIMO et al., 2018).

A ideia é fazer com que o calor gerado fique o maior tempo possível em contato com o fundo do recipiente. Assim, foi projetado um espalhador de chama no qual o próprio movimento dos gases quentes gerados pelo processo de combustão os arraste para o interior do espalhador. A representação aerodinâmica desse conceito é apresentada na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Aerodinâmica do queimador de fogão com *swirl*.



Fonte: (VERÍSSIMO et al., 2018).

Um protótipo preliminar foi construído em aço inoxidável de maneira a substituir o espalhador convencional de um queimador de fogão de residência. O combustível foi gás liquefeito de petróleo (GLP). Os orifícios foram projetados de maneira a ter a mesma área e a produzir a mesma perda de carga do espalhador convencional. Com esses parâmetros, esperava-se que a vazão de gás e a aeração primária fossem mantidas constantes com a troca do espalhador. Isso efetivamente ocorreu porque um tubo em U com água, instalado no tubo de gás entre o botijão e o fogão, mostrou a mesma pressão de gás com o registro do queimador na mesma posição. A Figura 4.2 mostra o queimador funcionando no modo *swirl*. A Figura 4.3 mostra o espalhamento da chama nos modos

convencional e *swirl*. O queimador *swirl* operou estavelmente, sem retorno ou descolamento de chama.

Figura 4.2 – Queimador *swirl*.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4.3 – Espalhamento de chama nos modos convencional (a) e *swirl* (b).



(a)



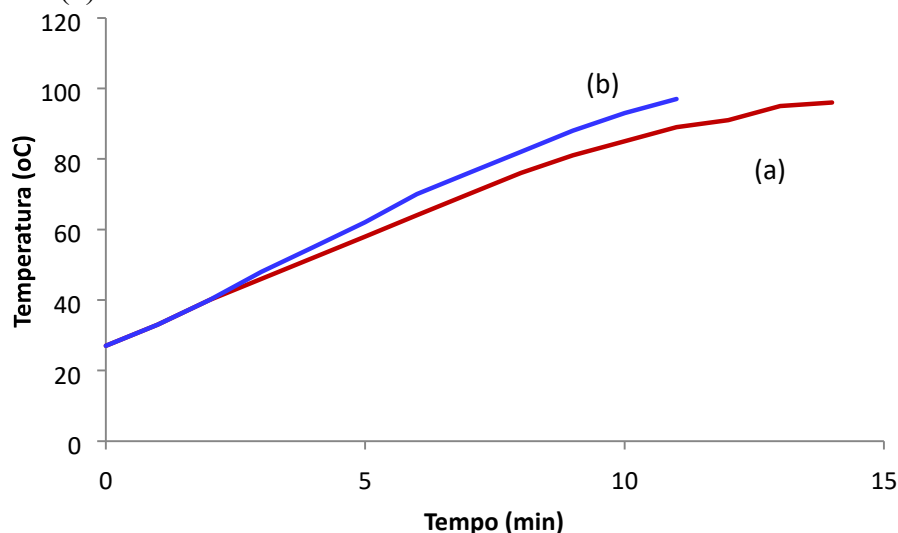
(b)

Fonte: Autoria própria.

A Figura 4.4 mostra o comportamento da temperatura da água em dois desses testes com a mesma quantidade de água na panela e a mesma vazão de gás. Neste caso, o

tempo para se atingir a fervura foi 14 minutos para o queimador convencional e 11 minutos para o queimador *swirl*, indicando um ganho preliminar de $1 - 11/14 = 21,4\%$, o que acompanha algumas das referências citadas no item de revisão da literatura.

Figura 4.4 – Variação da temperatura com o tempo para queimador convencional (a) e queimador *swirl* (b).



Fonte: Autoria própria.

Deve-se enfatizar aqui que os esses testes foram apenas preliminares. Os testes desta dissertação foram realizados conforme as normas NBR específicas para queimadores de fogões. Também os espalhadores obedecem aos requisitos das normas.

4.2 QUEIMADORES DA PRIMEIRA FASE

Para a primeira fase, foram construídos 5 queimadores, mostrados na Figura 4.5. Foram nomeados/enumerados os queimadores conforme a ordem de teste.

Os queimadores 1 e 2 foram desenhados fora da norma (pois ela não permite orifícios descobertos) apenas para verificar se haveria aumento da eficiência do queimador quando girada a chama de forma simples e direta. No queimador 1, foram feitos orifícios com angulação de 30 graus com a horizontal. No queimador 2, optou-se pela utilização de lâminas, também com inclinação de 30 graus. Dessa forma, verificou-se qual deles teria um maior desempenho, uma vez que as lâminas geram menos recirculação na zona de descarga.

Figura 4.5 – Configurações de queimadores testados, primeira fase.

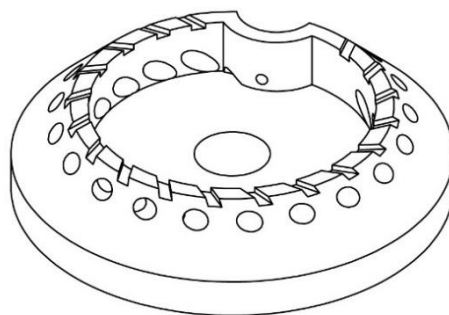
Queimador 1	Queimador 2	Queimador 3	Queimador 4	Queimador 5
				
				
				

Fonte: Autoria própria.

Os queimadores 3, 4 e 5 foram elaborados conforme a norma. No queimador 3, tem-se uma configuração visual similar aos queimadores tradicionais, porém com orifícios angulados de 30 graus com a horizontal e 40 graus com a tangente, conforme mostra a Figura 4.6. Dessa forma, a chama poderia sair de uma zona coberta (norma) para uma zona descoberta causando o efeito desejado na chama e com angulação com a horizontal. Nos queimadores 4 e 5, também para fins de se situar na norma, buscou-se verificar se com a disposição tradicional de orifícios (sem estar angulado com a horizontal) haveria aumento de desempenho quando provocado o giro da chama. Foi adotada a disposição de 4 e 8 zonas simétricas de descarga (para queimadores 4 e 5, respectivamente), com intuito de comparar o desempenho de ambos.

Dessa forma, a chama poderia sair de uma zona coberta (norma) para uma zona descoberta causando o efeito desejado na chama e com angulação com a horizontal. Nos queimadores 4 e 5, também para permanecer na norma, buscou-se verificar se com a disposição tradicional de orifícios (sem estar angulado com a horizontal) haveria aumento de desempenho quando provocado o giro da chama. Foi adotada a disposição de 4 e 8 zonas simétricas de descarga (para queimadores 4 e 5, respectivamente), com intuito de comparar o desempenho de ambos.

Figura 4.6 – Inclinação dos orifícios do queimador número 3.



Fonte: Autoria própria.

Foram tomados os devidos cuidados para que as condições de realização das medidas não fossem alteradas (mesmos locais, horários, instrumentos e observador). Os resultados obtidos com os cinco queimadores desenvolvidos em comparação com o queimador Nardelli são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Resultados obtidos, primeira fase.

Queimador	Nardelli	#1	#2	#3	#4	#5
p (kPa)	97,8	98,2	97,7	97,7	97,7	98,1
T _g (°C)	24,0	25,0	26,0	27,0	27,0	25,0
m _{água} (kg)	4,798	4,800	4,796	4,801	4,803	4,804
m _{panela} (kg)	1,035	1,035	1,035	1,035	1,035	1,035
T _i (°C)	26,5	23,9	26,2	26,8	27,7	23,5
T _f (°C)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
V _{GLP} (L)	24,0	23,2	23,0	22,9	23,4	24,9
η (%)	67,0 ± 0,2	69,1 ± 0,2	71,0 ± 0,2	71,0 ± 0,2	68,6 ± 0,2	64,9 ± 0,2

p: pressão total na linha; T_g: temperatura do gás; m_{água}: massa de água; m_{panela}: massa da panela com tampa; T_i: temperatura inicial da água; T_f: temperatura final da água; V_{GLP}: volume total de GLP utilizado; η: rendimento.

Fonte: Autoria própria.

Os resultados indicaram que a aplicação do artifício do *swirler* (turbilhonador de chama) em queimadores de fogão domésticos promove aumento da eficiência dos mesmos, sendo que em 4 dos 5 queimadores testados, a eficiência ultrapassou a marca do melhor do mercado.

O queimador 5 não apresentou uma eficiência superior a 67% (maior que o Nardelli) pois com o mesmo houve ocorrência de chamas amarelas (falta de ar para queima total do combustível).

Outro parâmetro importante que foi analisado, com a utilização da coifa, foi a emissão de CO. Na Tabela 4.2 são apresentados os valores das concentrações de CO obtidas para os queimadores desenvolvidos e para o padrão (Nardelli).

Tabela 4.2 – Concentrações de monóxido de carbono (CO).

Queimador	[CO] (ppm)
Nardelli	140 ± 20
#1	1580 ± 20
#2	1650 ± 20
#3	1450 ± 20
#4	1050 ± 20
#5	1750 ± 20

Fonte: Autoria própria.

Os queimadores #3 e #4 foram os únicos que apresentaram emissões de CO (monóxido de carbono) dentro da norma (abaixo dos 1500 ppm). O queimador #3

apresentou o melhor desempenho e nível de concentração de CO dentro do estabelecido pela norma.

4.3 QUEIMADORES DA SEGUNDA FASE

A segunda fase consistiu no refino do queimador de melhor desempenho da primeira fase. Na realidade, foram construídos 20 modelos, 13 dos quais foram descartados por apresentarem problemas. Os problemas foram observados prontamente e esses queimadores, que receberam numeração de 8 a 20, foram fotografados em operação, conforme mostrado na Figura 4.7.

A Figura 4.8 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 4.9 para queimadores a gás de mesas de cocção.

A Tabela 4.3 apresenta os resultados obtidos com os protótipos principais desenvolvidos na segunda etapa em comparação com o modelo SABAF da NARDELLI.

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. Os desenhos relativos a este desenvolvimento encontram-se no APÊNDICE. Trempe é o nome dado ao suporte da panela no fogão.

Figura 4.7 – Modelos da segunda fase que apresentaram problemas.

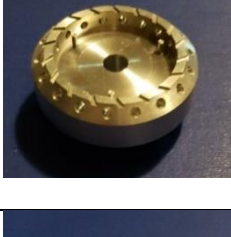
Modelo 8 Ocorre retorno de chama (<i>flash back</i>) em vazão mínima.			
Modelo 9 Chama não se espalha completamente no acendimento.			
Modelo 10 Modelo apresentou aeração excessiva (muito ar) e excesso de ruído.			
Modelo 11 Chama não se espalha completamente no acendimento.			
Modelo 12 Modelo apresentou chamas amarelas (falta de ar).			
Modelo 13 Modelo apresentou excesso de ar, causando <i>blow out</i> (descolamento de chama).			

Figura 4.7 (continuação) – Modelos da segunda fase que apresentaram problemas.

Modelo 14 Modelo apresentou aeração excessiva (muito ar).			
Modelo 15 Modelo apresentou aeração excessiva (muito ar).			
Modelo 16 Distribuição não uniforme de chama após acendimento.			
Modelo 17 Distribuição não uniforme de chama após acendimento.			
Modelo 18 Modelo apresentou chamas amarelas (falta de ar).			
Modelo 19 Modelo apresentou baixa eficiência.			
Modelo 20 Modelo apresentou baixa eficiência.			

Fonte: Autoria própria.

Figura 4.8 – Modelos desenvolvidos na segunda fase.

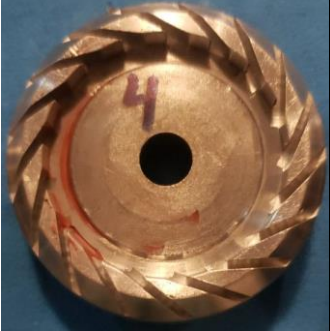
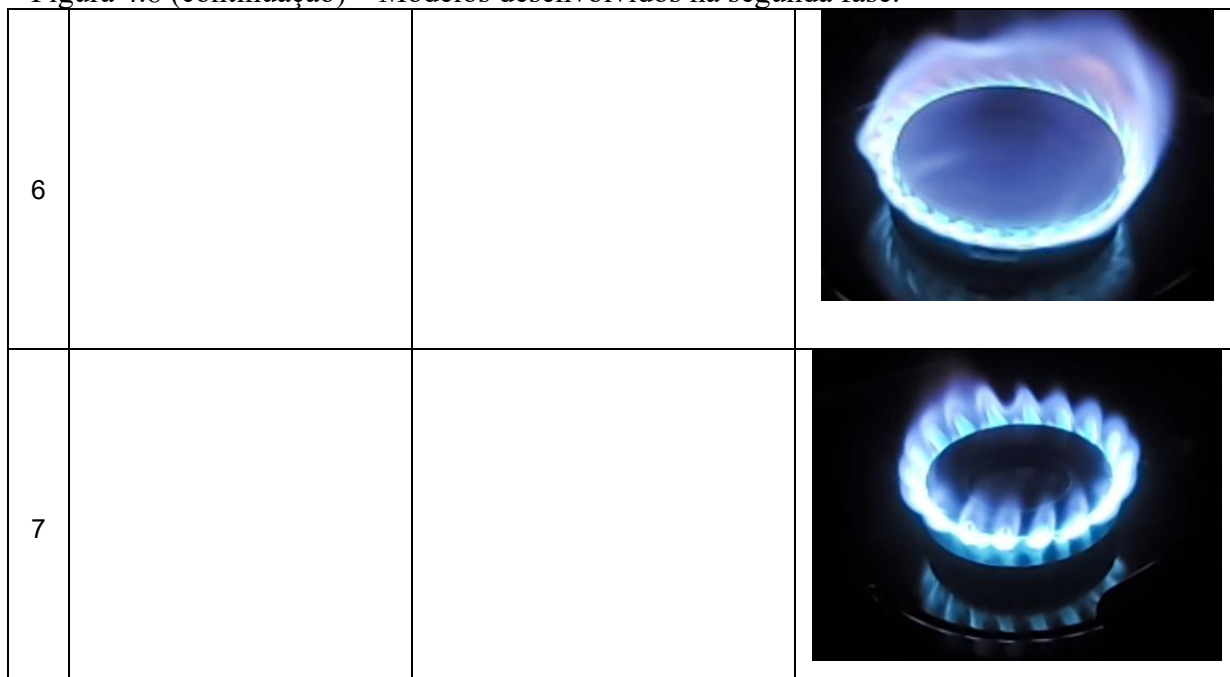
1			
2			
3			
4			
5			

Figura 4.8 (continuação) – Modelos desenvolvidos na segunda fase.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4.9 – Classificação de rendimento de queimadores a gás para queimadores de mesa de cocção.

Rendimento (%)	Mesa de Cocção
≥ 63	A
≥ 61	B
≥ 59	C
≥ 57	D
≥ 52	E

Data Atualização:4/10/2021 21:20:32)

Fonte: INMETRO.

Tabela 4.3 – 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	$66,1 \pm 0,2$	136 ± 20
#2	$65,8 \pm 0,2$	120 ± 20
#3	$70,8 \pm 0,2$	25 ± 20
#4	$73,0 \pm 0,2$	55 ± 20
#5	$67,8 \pm 0,2$	150 ± 20
#6	$69,8 \pm 0,2$	133 ± 20
#7	$71,2 \pm 0,2$	336 ± 20

Fonte: Autoria própria.

Os 7 queimadores com bons resultados apresentaram níveis de ruído similares aos queimadores tradicionais, ou seja, níveis insignificantes que não irão afetar a percepção do consumidor. Os mesmos queimadores apresentaram estabilidade em cargas parciais (e também em carga mínima), não havendo *flash back*.

Os resultados foram inseridos em uma patente, já deferida, para o queimador (BR2020170055715 - ADAPTAÇÃO EM ESPALHADOR DE CHAMAS PARA QUEIMADOR DE FOGÃO A GÁS).

Adicionalmente, foi elaborada uma nova geometria de trempe, que permitirá que o ar secundário do queimador entre girando. Foi então, submetida uma nova patente, também já deferida, para o formato aerodinâmico desenvolvido para a trempe (BR1020210125713 - CONJUNTO PARA MONTAGEM DE GRELHA (TREMPE) PARA FOGÃO, COM SISTEMA EM VÓRTICE PARA INDUÇÃO, POR ROTAÇÃO, DA CHAMA DO QUEIMADOR).

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHO FUTURO

Pode-se afirmar que a pesquisa foi bem-sucedida, pois logrou obter experimentalmente queimadores mais eficientes. 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.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13723-1**: aparelho doméstico de cocção a gás. Parte 1: desempenho e segurança. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13723-2**: aparelho doméstico de cocção a gás. Parte 2: uso racional de energia. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
- CARVALHO JÚNIOR, J. A.; LACAVA, P. T. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: Editora da UNESP, 2003.
- CARVALHO JÚNIOR, J. A.; MENDIBURU, A.A.Z.; CORONADO, C.J.R.; MCQUAY M. Q. **Combustão aplicada**. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.
- DENG, Y.; WU, H.; SU, F. Combustion and exhaust emission characteristics of low swirl injector. **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 110, p. 171–180, 2017.
- GRI. **Gas interchangeability tests**. Evaluating the range of interchangeability of vaporized LNG and natural gas. Final Report, GRI-03/0159. 2003.
- 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**, Amsterdam, v. 56, p. 1068–1074, 2022.
- JUGJAI, S. R. N. High efficiency heat-recirculating domestic gas burners. **Experimental Thermal and Fluid Science**, Philadelphia, v. 26, p. 581–592, 2002.
- KOTB, A.; SAAD, H. Case study for co and counter swirling domestic burners. **Case Studies in Thermal Engineering**, Amsterdam, v. 11, p. 98–104, 2018.
- KUNTIKANA, P.; PRABHU, S. V. Thermal investigations on self-aspirating type radial flow burners with induced swirl. **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 161, 2019.
- LACAVA, P. T. **Investigação experimental do enriquecimento do ar na incineração de resíduos aquosos**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2000.
- LIU, X.; ZHU, G.; ASIM, T.; MISHRA, R. Combustion characterization of hybrid methane-hydrogen gas in domestic swirl stoves. **Fuel**, Oxford, v. 333, 2023.
- 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**, London, v. 286, 2024.
- URNS, S. R. **Introdução à combustão, conceitos e aplicações**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

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

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

APÊNDICE A - PRODUTOS E APLICAÇÕES

A1 Partes, métodos e/ou processos de fabricação

Ambos os conjuntos queimadores (de 1,75 kW 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. As partes e os métodos de fabricação serão apresentados a seguir. Os métodos/processos de fabricação das partes serão os mesmos utilizados pela maioria dos queimadores de fogões/*cooktops* atuais.

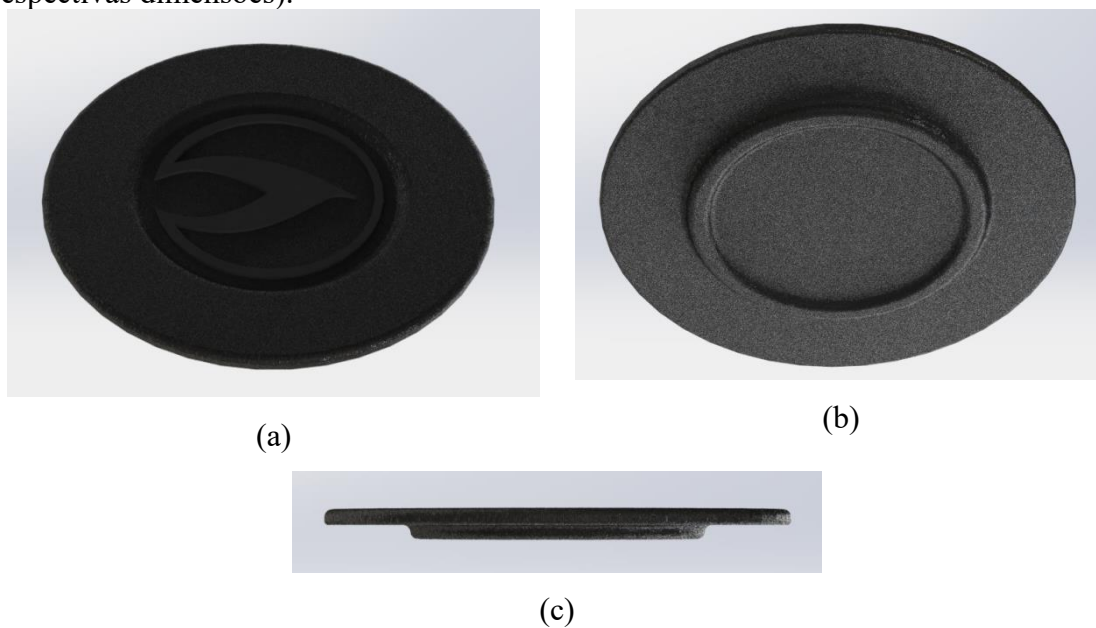
A1.1 Tampa

A tampa, geralmente de aço ou ferro fundido, em geral é feita em processo de estampagem, requerendo um molde para isso. Após estampada/fundida, a tampa passa pela aplicação de um esmalte, que dá brilho, acabamento e proteção para a mesma. A Figura A1 apresenta desenhos da tampa a ser fabricada. Todas as peças foram projetadas em SolidWorks, porém as dimensões não são mostradas aqui, mesmo porque são destinadas a dois sistemas de diferentes potências.

A1.2 Copo (também chamado de taça ou base injetora)

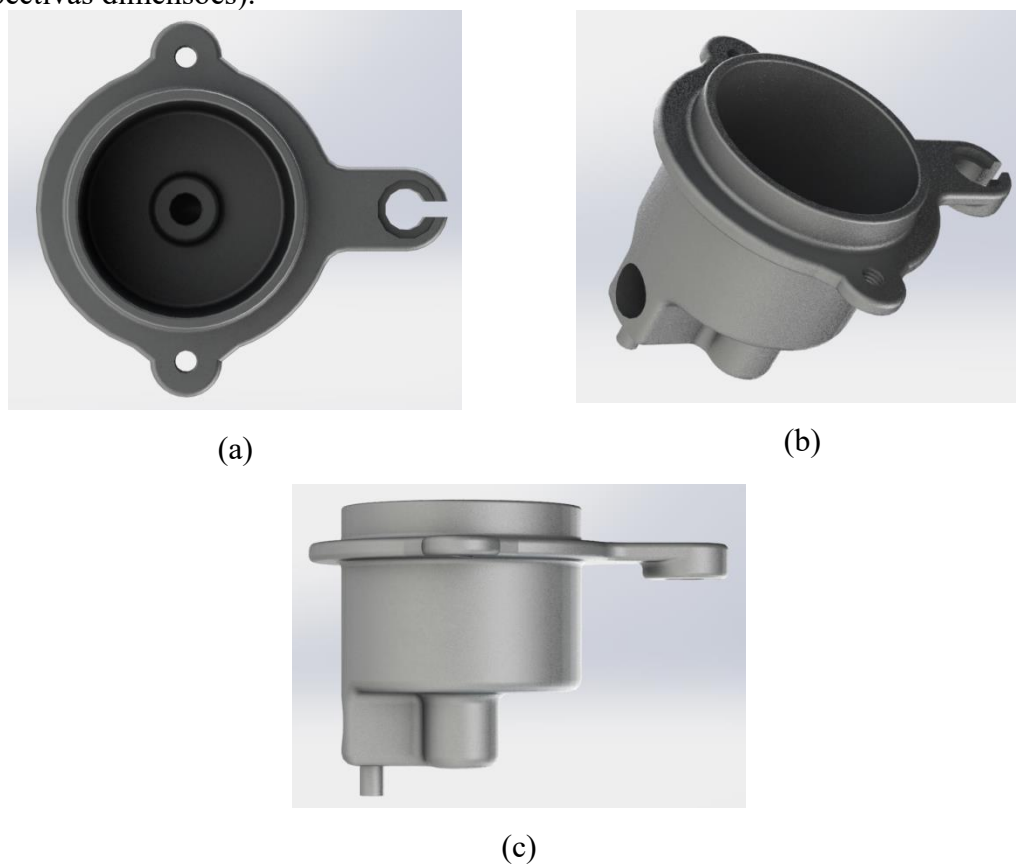
O copo, geralmente de alumínio, é na maioria dos casos, produzido injetado sob pressão, requerendo um molde de alta resistência para isso. Após a injeção, o copo passa por um processo de acabamento, sendo, posteriormente, jateado. A Figura A2 apresenta desenhos do copo a ser fabricado.

Figura A1 – Vistas superior (a), inferior (b) e lateral (c) da tampa do queimador (sem respectivas dimensões).



Fonte: Autoria própria.

Figura A2 – Vistas superior (a), inclinada (b) e lateral (c) do copo do queimador (sem respectivas dimensões).

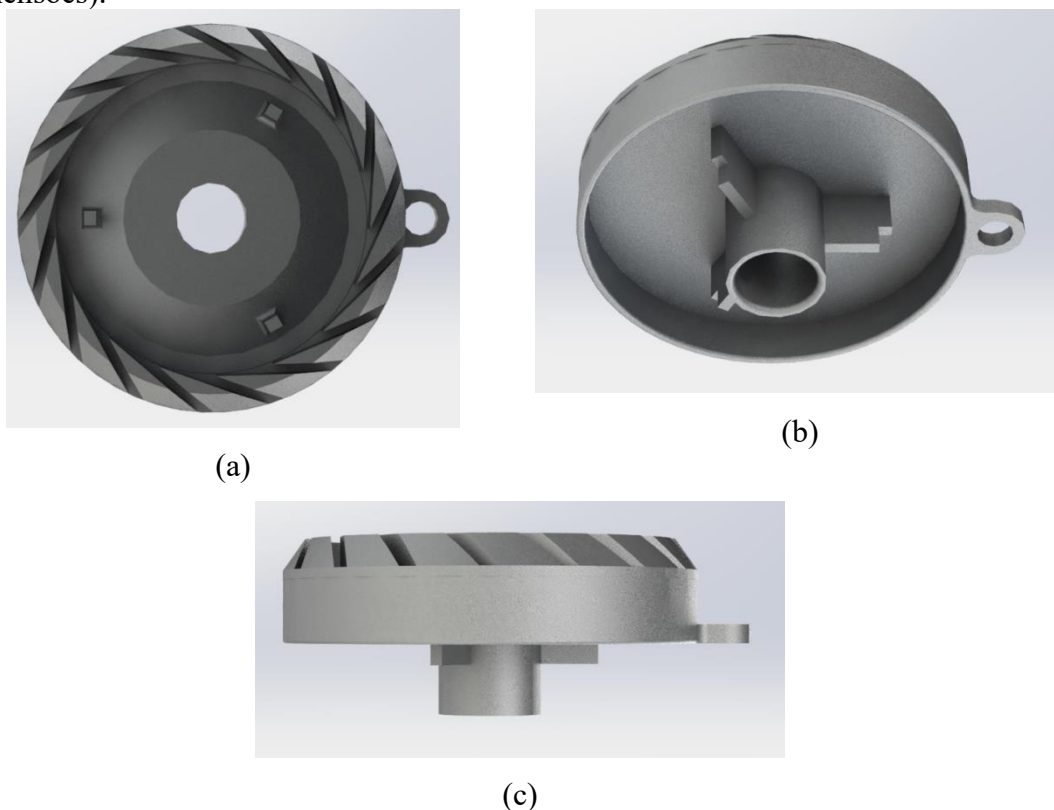


Fonte: Autoria própria.

A1.3 Queimador (também chamado de distribuidor)

A fabricação do queimador (ou distribuidor) é idêntica à do copo. Em geral as duas partes são injetadas juntas em um mesmo molde. A Figura A3 apresenta desenhos do queimador a ser fabricado.

Figura A3 – Vistas superior (a), inferior (b) e lateral (c) do queimador (sem respectivas dimensões).



Fonte: Autoria própria.

A1.4 Base da trempe

O método de fabricação da base da trempe é similar à da tampa, requerendo também um molde (tanto estampado ou fundido) dedicado. A Figura A4 apresenta desenhos da base da trempe a ser fabricada.

A1.5 Trempe

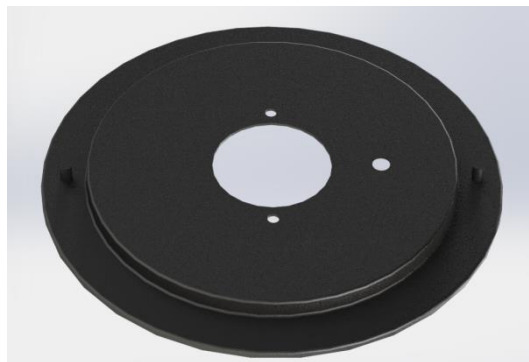
A trempe pode ser fabricada de duas formas: ou em ferro fundido ou soldada com chapas de aço cortadas a laser. Após fundida/soldada, a trempe passa pela aplicação de um esmalte, que dá brilho, acabamento e proteção para a mesma. Tanto para processo de

fabricação por fundição quanto por soldagem, é requerido desenvolvimento de ferramental prévio.

Figura A4 – Vistas superior (a) e inclinada (b) da base da trempe (sem respectivas dimensões).



(a)

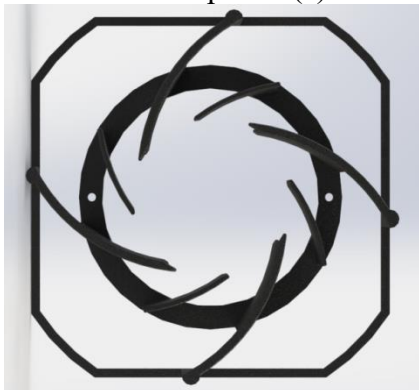


(b)

Fonte: Autoria própria.

Para fundição, areia verde é moldada em um molde de alumínio, que posteriormente garante o formato da trempe quando derramado o ferro fundido. Para o processo soldado, é necessário o desenvolvimento de ferramental para garantir as dobras e curvaturas para partes cortadas a laser. A Figura A5 apresenta desenhos da trempe.

Figura A5 – Vistas superior (a) e inclinada (b) da trempe (sem respectivas dimensões).



(a)



(b)

Fonte:: Autoria própria.

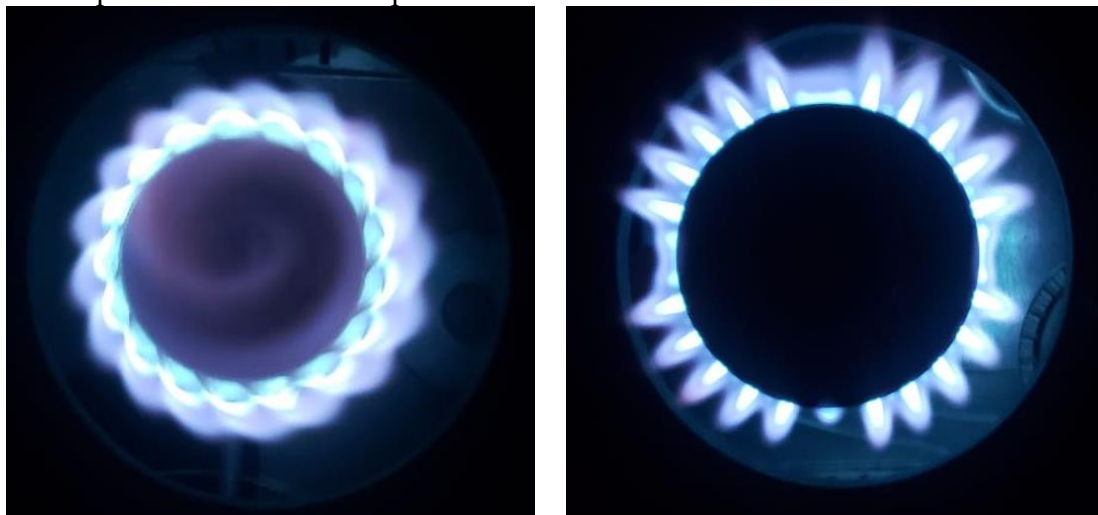
A2 Produtos

Os produtos a partir do protótipo de maior rendimento são dois conjuntos queimadores (queimador e trempe) para as potências de 1,75 kW e 3 kW, sendo estes considerados, respectivamente, média e alta potência.

Além de apresentar uma emissão menor que a metade e um rendimento de 9,0% acima do queimador SABAF da NARDELLI, o Modelo 4 apresenta um apelo estético que pode ser bastante atrativo aos olhos dos consumidores.

Na Figura A6, tem-se a chama do queimador desenvolvido à esquerda e, à direita, a chama convencional de um queimador convencional. Note-se que a chama se concentra mais ao centro no caso do queimador com rotação, enquanto que, no queimador sem rotação, a chama se espalha mais para a periferia.

Figura A6 – À esquerda o queimador desenvolvido e à direita o queimador convencional, ambos operando com a mesma potência.

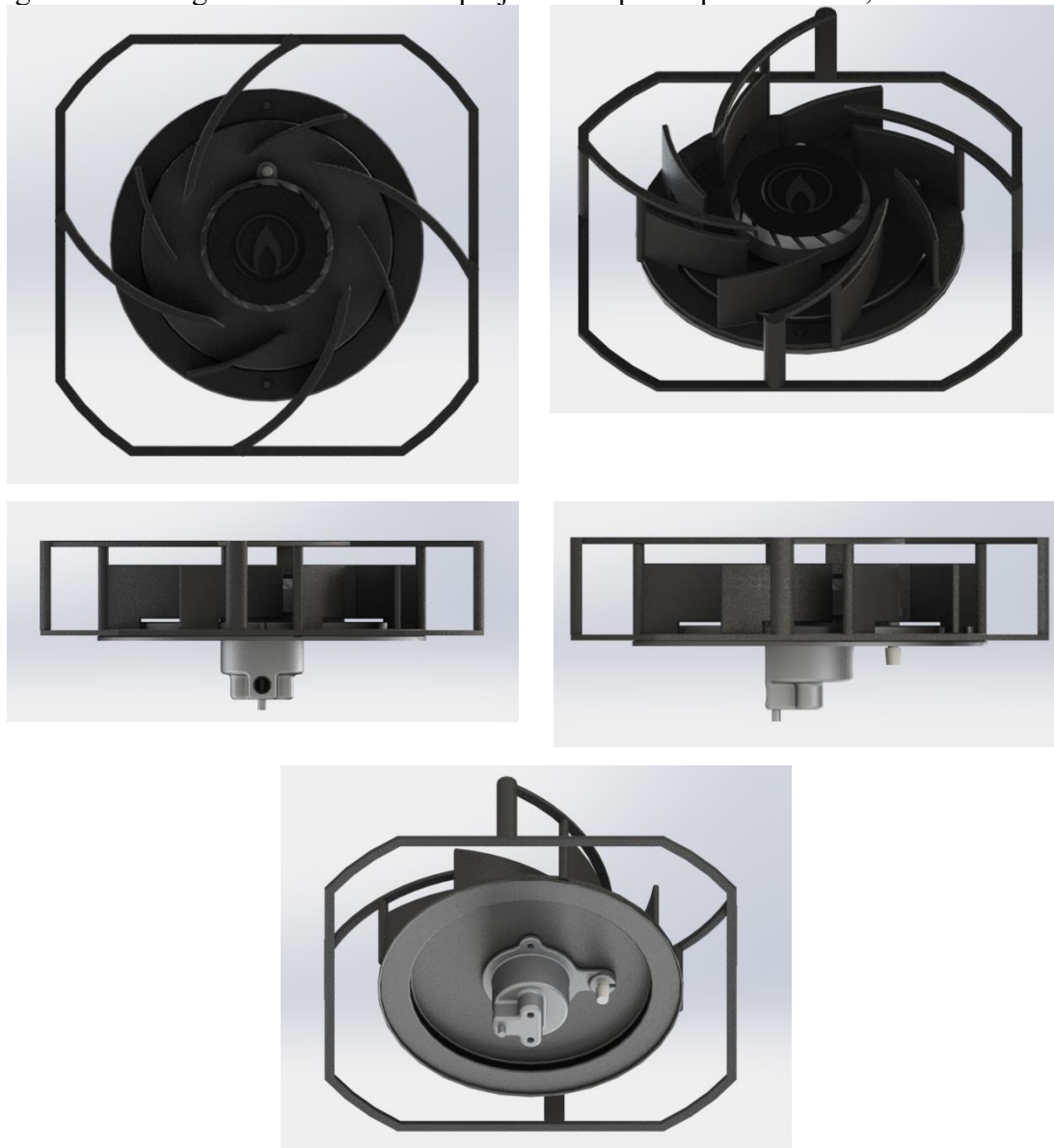


Fonte: Autoria própria.

A2.1 Queimador de 1,75 kW

A Figura A7 apresenta as imagens renderizadas do projeto final para o queimador de 1,75 kW.

Figura A7 – Imagens renderizadas do projeto final para a potência de 1,75 kW.

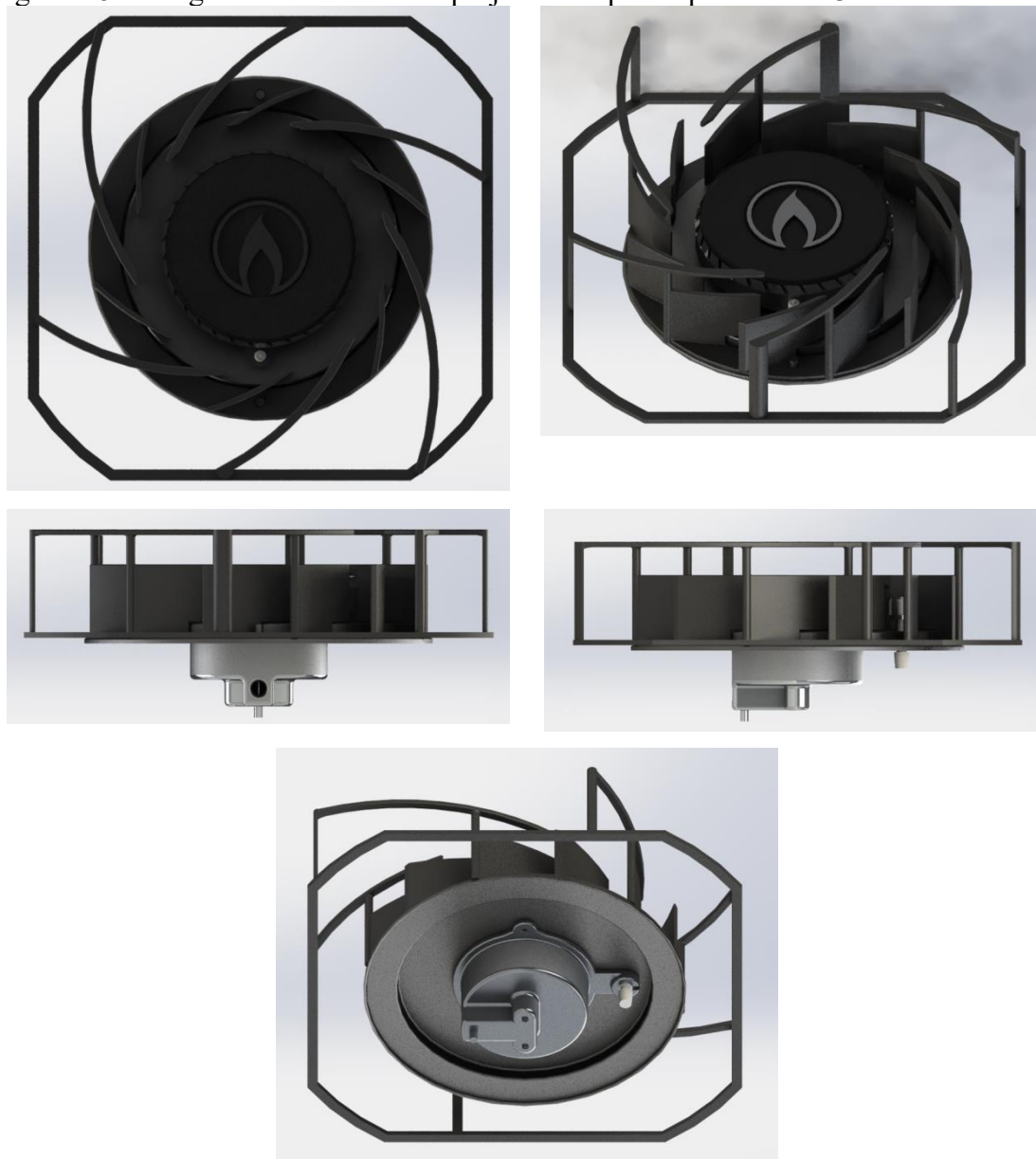


Fonte: Autoria própria.

A2.2 Queimador de 3 kW

A Figura A8 apresenta as imagens renderizadas do projeto final para o queimador de 3 kW.

Figura A8 – Imagens renderizadas do projeto final para a potência de 3 kW.



Fonte: Autoria própria.

A3 Aplicações

As Figuras A9 e A10 apresentam imagens renderizadas do projeto final para *cooktops* de duas e quatro bocas, respectivamente, com queimadores de 1,75 kW e de 3kW. Note-se que ambos têm a cor preta, com acendimento por centelhador, tampa esmaltada, queimador com chama rotativa e trempe com auxílio para a entrada do ar secundário em rotação também. Neste caso, a trempe é parte funcional do queimador. Diferente da trempe dos demais queimadores, que serve apenas para apoiar o recipiente,

a trempe utilizada aqui tem participação direta no processo de queima dos gases, ajudando no aumento da eficiência de combustão. Trata-se do primeiro *cooktop* no mundo a ter esses recursos para melhorar a queima e distribuir melhor o calor no fundo do recipiente.

Figura A9 – Imagens renderizadas do projeto final para *cooktops* de duas bocas com queimadores de 1,75 kW e de 3kW.



Fonte: Autoria própria.

Figura A10 – Imagens renderizadas do projeto final para *cooktops* de quatro bocas com queimadores de 1,75 kW e de 3kW.



Fonte: Autoria própria.