BRUNO BOCCHI

Projeto e testes de uma churrasqueira a etanol com queimadores
infravermelhos

São Paulo
2016

BRUNO BOCCHI

Projeto e testes de uma churrasqueira a etanol com queimadores infravermelhos

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Engenharia

Orientador: Marcos de Mattos Pimenta

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo
2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica

Bocchi, Bruno

Projeto e testes de uma churrasqueira a etanol com
queimadores infravermelhos / B. Bocchi -- São Paulo, 2016.
130 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Etanol 2.Churrasqueiras I.Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica
II.t.

Nome: BOCCHI, Bruno

Título: Projeto e testes de uma churrasqueira a etanol com queimadores infravermelhos

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Mecânica

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

À minha esposa, Marcia, pela compreensão, incentivo e amor durante todo o período de elaboração deste trabalho

À minha filha, Gaia, por ter nascido durante este período e me ter proporcionado uma nova forma de ver o mundo

Aos meus pais e irmãos, por estarem ao meu lado em todos passos até chegar a este estágio de vida

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Pimenta, pela dedicação, atenção e apoio durante todo o desenvolvimento do trabalho

À Finep, por me possibilitar trabalhar no setor de biocombustíveis, além de disponibilizar jornada flexível, permitindo a execução desta dissertação

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro durante os primeiros meses de pesquisa

RESUMO

BOCCHI, B. Projeto e testes de uma churrasqueira a etanol com queimadores infravermelhos. 2016. 130 f. Tese (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

Atualmente, há poucas aplicações de uso de combustíveis renováveis em queimadores, apesar de representarem grande parte do consumo de energia primária. O etanol se apresenta como uma alternativa com grande potencial para substituição de combustíveis não-renováveis em queimadores no Brasil. Tendo em vista este potencial, foi realizado um estudo de possíveis aplicações de queimadores a etanol, com potência inferior a 50 kW, do ponto de vista ambiental, econômico e tecnológico. Foi selecionada uma churrasqueira como a aplicação mais viável. Tendo em vista a necessidade de troca de calor por radiação, foram selecionados queimadores porosos infravermelhos em conjunto com bicos pulverizadores.

Durante os testes, a combustão incompleta com gotejamento de combustível se mostrou um problema freqüente. Foi construída uma série de protótipos até se chegar a uma solução final do problema. Este protótipo final, com itens de baixo custo, foi testado avaliando-se potência e emissões, apresentando performance adequada. Foram também estabelecidas diretrizes para desenvolvimento de um produto.

Palavras-chave: Etanol, Queimador, Combustão, Churrasqueira

ABSTRACT

BOCCHI, B. Project and tests of an ethanol grill with infrared burners. 2016. 130 f. Tese (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

Nowadays, there are few applications of renewable fuels in burners, despite representing a large share of primary energy consumption. Ethanol presents as an alternative with great potential of non-renewable fuels substitution in burners in Brazil. Facing this potential, a study with possible applications of ethanol burners, with output power lower than 50 kW, was carried out, considering environmental, economic and technological aspects. Grill was chosen as the most feasible application. Once radiant heat transfer is needed, infrared porous burner combined with spray nozzles were selected.

Throughout the tests, incomplete combustion with fuel dripping was shown as a recurrent problem. A sequence of prototypes was built until a final solution. This last prototype, with low cost components, was tested, assessing output power and emissions, presenting sufficient performance. Guidelines to product development were stipulated.

Keywords: Ethanol, Burner, Combustion, Grill

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fogão a etanol (DOMETIC, 2013)	7
Figura 2.2 - Lareira a etanol (VAUNI, 2012).....	8
Figura 3.1 - Faixa de inflamabilidade (GARCIA, 2002).....	24
Figura 3.2 - Emissões de CO e NO _x (PINHEIRO; VALLE, 2013).....	27
Figura 3.3 - Temperatura de chama adiabática (GLAUDE et al., 2010).....	28
Figura 3.4 - Produção de etanol durante o ano (MME, 2013).....	31
Figura 3.5 - Aquecedor de ambientes (GENERAL HEATER, 2013).....	39
Figura 3.6 - Lareira a etanol (VAUNI, 2012).....	41
Figura 3.7 - Churrasqueira a gás - Britain (NAUTIKA, 2013)	42
Figura 3.8 - Churrasqueira a gás (CHARBROIL, 2013).....	43
Figura 3.9 - Maçaricos de baixa temperatura (BENZOMATIC, 2013)	44
Figura 3.10 - Componentes básicos de maçaricos de alta temperatura (HOW STUFF WORKS, 2008)	45
Figura 3.11 - Preços do etanol hidratado por tipo - 01/2008 a 03/2013 (CEPEA, 2013).....	53
Figura 4.1 - Pulverizador de jato de pressão (BIZZO, 2013)	56
Figura 4.2 - Pulverizador a 2 fluidos (BIZZO, 2013).....	56
Figura 4.3 - Copo rotativo (BIZZO, 2013)	57
Figura 4.4 - Queimadores por radiação (BIZZO, 2013).....	58
Figura 4.5 - <i>Pool fire</i> e influência da razão de aspecto (TU et al., 2013).....	59
Figura 4.6 - Queimador poroso com pulverizador (KAPLAN; HALL, 1995).....	61
Figura 4.7 - Protótipo conceitual com GLP.....	63
Figura 4.8 - Cozimento do alimento no protótipo conceitual com GLP	64
Figura 4.9 - Modelo de protótipo de churrasqueira a etanol	67
Figura 4.10 - Modelo na sua configuração final.....	69
Figura 4.11 - Queimadores estreitos na sua configuração final em funcionamento.....	69
Figura 5.1 - Configurações 1 e 2 (entrada inferior e lateral no queimador original).....	73
Figura 5.2 - Configuração 3 (queimador curto e estreito)	74
Figura 5.3 - Configurações 7, 8, 9 e 10	75
Figura 5.4 - Teste de Campo	78
Figura 5.5 - Cozimento da carne	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Oferta interna de energia por fonte (BEN, 2015).....	2
Tabela 1.2 - Oferta de energia elétrica por fonte (BEN, 2015)	3
Tabela 1.3 - Consumo final energético por fonte e setor em 10 ³ toneladas equivalentes de petróleo (BEN, 2015) e potencial substituível por etanol	4
Tabela 3.1 - Comparativo de custos de insumo energético	14
Tabela 3.2 - Potencial de aquecimento global (IPCC, 2007)	15
Tabela 3.3 - Emissões por tipo de combustível	16
Tabela 3.4 - Emissões para o etanol hidratado em CO ₂ equivalente	17
Tabela 3.5 - Emissões por tipo de combustível produzido a partir de biomassa não renovável (IPCC, 2006).....	18
Tabela 3.6 - Emissões para a eletricidade (MCT, 2011)	18
Tabela 3.7 - Reduções de emissões de combustíveis na substituição por etanol em queimadores (10 ³ ton-CO ₂ eq).....	20
Tabela 3.8 - Considerações de combustíveis gasosos, líquidos e sólidos	22
Tabela 3.9 - Características dos combustíveis.....	25
Tabela 3.10 - Emissões comparativas por tipo de combustível.....	29
Tabela 3.11 - Produção de cana-de-açúcar (UDOP, 2013)	30
Tabela 3.12 - Produção de etanol por país em 2009 (RFA, 2013)	30
Tabela 3.13 - Quadro comparativo de riscos para variação de preços do etanol e derivados de petróleo	31
Tabela 3.14 - Comparativo de fontes de energia – consumidor residencial.....	32
Tabela 3.15 - Comparativo de fontes de energia – consumidor industrial/comercial	33
Tabela 3.16 - Matriz de seleção para aplicação residencial	35
Tabela 3.17 - Matriz de seleção para aplicação comercial/industrial/agropecuária	36
Tabela 3.18 - Propriedades de fluidos de isqueiro em comparação com etanol.....	46
Tabela 3.19 - Comparativo de insumo energético por equipamento	48
Tabela 3.20 - Comparativo entre as soluções com critérios do investidor	51
Tabela 4.1 - Comparativo de queimadores de líquidos (SAN JOSÉ ALONSO, 2012)	58
Tabela 4.2 - Especificação dos componentes	68
Tabela 5.1 - Configurações testadas	71

Tabela A.1 - Consumo final energético por fonte e setor, potencial de substituição por etanol e emissões mitigadas	91
Tabela B.1 - PCI dos combustíveis (BEN, 2015).....	101
Tabela C.1 - Combustíveis e pontos de venda.....	108
Tabela D.1 - Notas de seleção do investidor	111
Tabela E.1 - Dimensionamento da vaporização do etanol	112
Tabela F.1 - Dimensionamento inicial da vazão de etanol para bico de 0,25 GPH e vazão obtida	114
Tabela F.2 - Dimensionamento inicial da vazão de ar para bico de 0,25 GPH.....	115
Tabela F.3 - Valores da reação química para dimensionamento inicial.....	115
Tabela F.4 - Dimensionamento final da vazão de ar para bico de 0,25 GPH.....	116
Tabela F.5 - Valores da reação química para dimensionamento final.....	117

LISTA DE SIGLAS

CFD	Dinâmica de Fluidos Computacional
DDT	Diclorodifeniltricloroetano (pesticida)
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural
HC	Hidrocarbonetos
MAPP	Mistura de metilacetileno e propadieno
MCI	Motor de Combustão Interna
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MP	Material Particulado
PCI	Poder Calorífico Inferior
TRR	Transportador Revendedor Retalhista
UHC	Hidrocarbonetos não-queimados

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	1
1.2 POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE ETANOL PARA ENERGIA TÉRMICA.....	2
1.2.1 Panorama geral da energia no Brasil	2
1.2.2 Estimativa da utilização por setor.....	3
2 APLICAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA QUEIMADORES A ETANOL	7
2.1 QUEIMADORES COMERCIALIZADOS	7
2.2 SUBSTITUIÇÃO DE ÓLEO DIESEL POR ETANOL.....	8
2.3 PESQUISAS COM QUEIMADORES CONVENCIONAIS A ETANOL.....	10
2.4 PESQUISAS COM QUEIMADORES NÃO-CONVENCIONAIS.....	10
3 SELEÇÃO DA APLICAÇÃO	13
3.1 SELEÇÃO DO INSUMO ENERGÉTICO PELO CONSUMIDOR - CLASSIFICAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS.....	13
3.1.1 Custo do insumo energético	13
3.1.2 Emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa)	15
3.1.3 Características dos equipamentos e combustíveis	21
3.1.4 Emissões de NO_x, SO_x, CO, hidrocarbonetos e material particulado	26
3.1.5 Utilização de etanol e riscos econômicos associados.....	29
3.1.6 Classificação dos combustíveis	32
3.2 SELEÇÃO DO INSUMO ENERGÉTICO PELO CONSUMIDOR – ANÁLISE DAS APLICAÇÕES	34
3.3 SELEÇÃO PELO INVESTIDOR	37
3.4 SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO PELO CONSUMIDOR - ANÁLISE DAS APLICAÇÕES	38
3.4.1 Aquecedor de áreas externas	38
3.4.2 Lareira	40
3.4.3 Churrasqueira.....	42
3.4.4 Maçaricos	44
3.4.5 Fogão Portátil.....	45
3.4.6 Isqueiros	46
3.4.7 Seleção de melhor aplicação para o etanol.....	47

3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE APLICAÇÕES ACIMA DE 50 kW	52
4 PROJETO DA APLICAÇÃO	55
4.1 TIPOS DE QUEIMADORES.....	55
4.2 SELEÇÃO DO QUEIMADOR	60
4.3 QUEIMADORES POROSOS COM COMBUSTÃO DE LÍQUIDOS JÁ DESENVOLVIDOS	61
4.4 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO	62
5 RESULTADOS OBTIDOS.....	70
5.1 CONFIGURAÇÕES TESTADAS	70
5.2 MEDIÇÃO DE POTÊNCIA E DE CO	76
5.3 TESTE QUALITATIVO.....	78
5.4 CONSIDERAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	79
6 CONCLUSÕES.....	80
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE A - CONSUMO FINAL ENERGÉTICO POR FONTE E SETOR, POTENCIAL DE SUBSTITUIÇÃO POR ETANOL E EMISSÕES MITIGADAS.....	91
APÊNDICE B - LEVANTAMENTO DE CUSTOS DE INSUMOS ENERGÉTICOS .	101
APÊNDICE C - CRITÉRIOS DE SELEÇÃO	103
APÊNDICE D - NOTAS DE SELEÇÃO DO INVESTIDOR	111
APÊNDICE E - DIMENSIONAMENTO DA VAPORIZAÇÃO DO ETANOL.....	112
APÊNDICE F - DIMENSIONAMENTO INICIAL E VALORES MEDIDOS.....	113

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

A maior parte do consumo de energia está concentrada em demandas térmicas, diferentemente do entendimento geral que gira em torno da energia utilizada no setor de transportes e na forma de eletricidade.

Ao contrário do que ocorre nestes dois últimos, ainda há poucos substitutos viáveis para fontes não-renováveis de energia na transformação em energia térmica; o etanol pode se apresentar como uma alternativa viável com sua utilização em queimadores.

Tendo em vista este cenário, o primeiro objetivo do trabalho é definir a aplicação mais viável para utilização do etanol em queimadores, sendo que a aplicação selecionada foi a churrasqueira.

Com a aplicação selecionada, o próximo objetivo é comprovar a viabilidade técnica e econômica da churrasqueira a etanol, com um protótipo de baixo custo e performance adequada. Tendo em vista os objetivos e desenvolvimento cronológico do trabalho, os capítulos se desenvolveram da seguinte forma.

No **Capítulo 1**, é analisado o potencial do etanol para substituição de fontes não-renováveis.

No **Capítulo 2**, são analisados estudos já realizados e as atuais aplicações de queimadores a etanol na queima direta.

No **Capítulo 3**, são analisados fatores relevantes para o consumidor na seleção de combustíveis e equipamentos, são avaliadas as possíveis aplicações para queimadores a etanol com base nestes fatores de seleção e a mais viável é selecionada.

No **Capítulo 4**, são analisados os tipos de queimadores existentes para a combustão do etanol e um tipo de queimador é selecionado para a aplicação. O conceito do queimador é validado e o dimensionamento dos sistemas de alimentação de ar e de combustível é realizado.

No **Capítulo 5**, são mostrados os resultados obtidos com o protótipo de churrasqueira.

No **Capítulo 6**, é elaborada a conclusão do trabalho.

Salienta-se que quando utilizado o termo etanol, refere-se ao etanol hidratado comum, disponível em postos de combustíveis.

1.2 POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE ETANOL PARA ENERGIA TÉRMICA

1.2.1 Panorama geral da energia no Brasil

Apesar de ser um senso comum que o Brasil possua uma matriz renovável de energia, atualmente esta é baseada na utilização de combustíveis fósseis, com 55,9% do consumo em fontes não renováveis de energia conforme tabela 1.1 abaixo.

Tabela 1.1 - Oferta interna de energia por fonte (BEN, 2015)

Fontes	2014 (%)
Energia não renovável	60,6
Petróleo e derivados	39,4
Gás natural	13,5
Carvão mineral e coque	5,7
Urânio (u_3O_8)	1,3
Outras não-renováveis	0,6
Energia renovável	39,4
Hidráulica e eletricidade	11,5
Lenha e carvão vegetal	8,1
Derivados da cana	15,7
Outras renováveis	4,1
Total	100

Da parte renovável da matriz energética brasileira, a maior parte é convertida em energia elétrica, oriunda de hidrelétricas e bagaço de cana-de-açúcar, o que pode ser observado na tabela 1.2, ou, é convertida em etanol para utilização em veículos. Exceto o uso de lenha e de carvão vegetal, não há uma fonte renovável significativa utilizada em processos em que a transferência de calor é a demanda final.

Tabela 1.2 - Oferta de energia elétrica por fonte (BEN, 2015)

Fontes	2014 (%)
Hidráulica	65,2
Biomassa	7,3
Gás Natural	13,0
Nuclear	2,5
Petróleo e derivados	6,9
Carvão mineral e derivados	3,2
Eólica	2,0
Total	100

1.2.2 Estimativa da utilização por setor

Com intuito de se estimar qual o potencial ainda não explorado de um possível uso de etanol em queimadores, foi realizada uma análise de cada setor de economia, seus combustíveis e seus respectivos potenciais de utilização de etanol em queimadores (metodologia detalhada no **Apêndice A**). Para tanto, buscou-se considerar a utilização de biomassa não-renovável e combustível fóssil para geração de energia térmica, desconsiderando emprego em motores de combustão interna e em aplicações com requisitos de processo. Abaixo, na tabela 1.3, estão os resultados do estudo.

Tabela 1.3 - Consumo final energético por fonte e setor em 10³ toneladas equivalentes de petróleo (BEN, 2015) e potencial substituível por etanol

Setores	Etanol		Carvão vapor		Carvão vegetal		Coque de carvão mineral		Eletricidade		Gás de cidade		Gás natural		Gasolina		GLP	
Agropecuário	11	-	-	-	8	4	-	-	2.298	-	-	-	-	-	-	-	2	2
Comercial	-	-	-	-	91	46	-	-	7.790	-	-	-	179	179	-	-	442	442
Industrial	-	-	3.821	614	3.386	15	8.018	-	17.703	-	1.242	-	9.708	9.708	-	-	1.121	1.121
Público	-	-	-	-	-	-	-	-	3.666	-	-	-	40	40	-	-	257	257
Residencial	-	-	-	-	478	478	-	-	11.352	2.838	-	-	310	310	-	-	6.535	6.535
Transportes	13.008	-	-	-	-	-	-	-	167	-	-	-	1.594	-	25.740	-	-	-
Energético	-	-	-	-	-	-	-	-	2.678	-	187	-	6.306	-	-	-	5	-
Total Geral	13.019	-	3.821	614	3.963	543	8.018	-	45.655	2.838	1.430	-	18.138	10.237	25.740	-	8.363	8.358

Setores	Lenha		Óleo combustível		Óleo diesel		Outras de carvão mineral		Outras primárias renováveis		Outras secundárias de petróleo		Outros produtos da cana		Querosene		Total	Total substituível
Agropecuário	2.682	1.341	24	24	6.184	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	11.209	1.371
Comercial	97	48	22	22	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.629	744
Industrial	7.785	3.036	2.585	2.585	1.208	1.208	92	-	6.868	-	7.818	3.354	16.146	-	2	1	87.502	21.642
Público	-	-	11	11	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	3.978	312
Residencial	6.109	6.109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	24.786	16.273
Transportes	-	-	1.133	-	41.019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.651	-	86.312	-
Energético	-	-	311	-	1.513	-	-	-	-	-	3.985	-	12.466	-	-	-	27.453	-
Total Geral	16.672	10.534	4.086	2.642	49.935	1.219	92	-	6.868	-	11.803	3.354	28.612	-	3.655	4	249.868	40.342

Nota: Em negrito, a quantidade calculada substituível por etanol na queima direta. Uma tonelada equivalente de petróleo corresponde a $41,87 \times 10^9$ J.

No setor de transportes, como grande parte do uso se dá em motores de combustão interna, não é aplicável a utilização de queimadores a etanol na combustão direta. Além disso, este é setor em que o etanol possui a maior participação, especialmente no uso de etanol hidratado em motores bicom bustíveis e na mistura de etanol anidro na gasolina tipo C, em uma proporção de 20 a 27%.

Em relação ao consumo residencial, um percentual considerável da eletricidade é transformado diretamente em energia térmica, como o uso em chuveiros elétricos, responsável por 20 a 30% do consumo de uma residência. Não é muito sensata esta conversão de energia elétrica em térmica, já que a eletricidade é uma forma mais nobre de energia, devido à falta de viabilidade de armazenagem, o que acarreta na necessidade de grandes capacidades de geração e transmissão para atendimento de demandas de pico, elevando desnecessariamente os custos para todo o sistema. Inicialmente, a energia solar é a alternativa mais viável do ponto de vista ambiental, mas é necessária a utilização de um sistema *back-up* em caso de falta de insolação, além de não ser possível suprir toda a demanda de energia térmica em edifícios. Além disso, tem aumentado a utilização de usinas a gás natural e óleo diesel para geração de eletricidade para atendimento desta demanda (sem se utilizar de cogeração), o que do ponto de vista ambiental é uma incongruência, já que uma usina em um ciclo termodinâmico possui uma eficiência de 20-40% e utilizando esta eletricidade para conversão em energia térmica, estaria sendo desperdiçada acima de 60% da energia do combustível.

As fontes renováveis de carvão vegetal e de lenha no setor residencial são também passíveis de substituição, uma vez que, com a evolução de renda, os consumidores tendem a migrar para fontes como GLP e GN, fenômeno que já aconteceu nos países desenvolvidos. (OHIMAIN, 2012)

Em relação ao setor energético, que inclui refinarias de petróleo, plantas de GN, usinas de gaseificação, coqueiras, ciclo do combustível nuclear, centrais elétricas de serviço público e autoprodutoras, carvoarias, destilarias e a energia consumida dentro destas unidades nos processos de extração e transporte interno de produtos energéticos (BEN, 2015), não foi considerada a utilização de etanol, uma vez que a energia consumida dentro destas tem preferencialmente a mesma origem que a matéria-prima processada dentro da planta.

No setor agropecuário, foram considerados somente óleo combustível e GLP, uma vez que o óleo diesel é utilizado em grande parte em máquinas agrícolas em motores de combustão interna.

Nos setores comerciais e públicos, foram consideradas todas as fontes fósseis de energia.

Outra questão a ser considerada é o uso de carvão vegetal e lenha no Brasil. Estima-se que 50% do carvão vegetal no Brasil seja obtido de maneira ilegal, ou seja, decorrente do uso de florestas nativas, constituindo uma fonte não-renovável de energia (CCGE, 2010). Além disso, grande parte do carvão vegetal é produzida de maneira rudimentar com baixo rendimento energético. Por isso, foi aplicado um fator de substituição de 50% ao uso destes combustíveis por etanol nos setores comercial e público.

No setor industrial, em muitos casos, o combustível é um requisito do processo atual e não haveria potencial de substituição sem o desenvolvimento de um novo processo. Por exemplo, o uso de carvão mineral e derivados, e de coque de petróleo em siderúrgicas, na pelletização, na metalurgia, na fabricação de ferro-ligas e na indústria de cimento não foi considerado como potencial, uma vez que, em grande parte, são requisitos de processo.

Assim, chega-se a um potencial de 16% ($40.342 \cdot 10^3$ toneladas equivalentes de petróleo) do total de energia consumida no país, para os quais ainda não há uma fonte renovável de energia substituta e para os quais o etanol poderia ser utilizado em queimadores.

Isso seria maior do que o consumo somados de GLP e GN no país e corresponderia a mais que 3 vezes o consumo atual de etanol no Brasil.

2 APLICAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA QUEIMADORES A ETANOL

2.1 QUEIMADORES COMERCIALIZADOS

As principais aplicações de uso de etanol em queimadores atualmente são incipientes. Uma das maiores vertentes hoje é o uso para cocção de alimentos, principalmente em países africanos em substituição ao uso de querosene e de biomassa de origem não-renovável como carvão vegetal e lenha.

Na Nigéria, um programa de utilização de etanol foi estabelecido para substituição de querosene, GLP e lenha por etanol feito a partir da mandioca. Consiste no investimento de US\$ 1,0 bilhão para que 4 milhões de famílias possuam fogões a etanol. Para tanto, será necessário investir em 10.000 refinarias de pequeno porte, distribuir 4 milhões de fogões a etanol de uma e duas bocas à população e garantir o fornecimento de 8 milhões de toneladas de mandioca produzidos em 400.000 hectares. (OHIMAIN, 2012)

Em Moçambique, a Clean Star (2012) verticalizou a cadeia de etanol para cocção de alimentos, com a implantação de plantas de processamento de etanol a partir da mandioca produzida por pequenos produtores, além de criar pontos de vendas de combustível e de pequenos queimadores.

Na Etiópia, o Projeto Gaia (2012) tem fomentado a utilização de fogões a etanol, cuja fabricação é realizada pela indústria sueca *Dometic AB®*. Cada queimador possui uma potência máxima de 1,5 kW, o que é abaixo das potências usuais dos queimadores a GLP. Em compensação a potência mínima é de 0,3 kW, apresentando uma maior modularidade.

Figura 2.1 - Fogão a etanol (DOMETIC, 2013)

Também em aplicações domésticas, queimadores a etanol para lareiras residenciais são vendidos por diversas empresas como *Vauni®* e *Ecosmartfire®*.

Figura 2.2 - Lareira a etanol (VAUNI, 2012)

Todos estes queimadores apresentam baixa potência e também podem ser considerados de baixa tecnologia uma vez que não há dispositivo de alimentação e a chama é alimentada por evaporação do combustível (*pool fire*).

2.2 SUBSTITUIÇÃO DE ÓLEO DIESEL POR ETANOL

Em uma das poucas aplicações industriais documentadas, Barroso et al. (2010) versaram sobre as modificações de um queimador de uma caldeira a óleo diesel de 100 kW para etanol. Uma das modificações foi no detector de chama, dispositivo que interrompe o fornecimento de combustível em caso de apagamento da chama, uma vez que as chamas de etanol são menos radiantes. Outra questão é a cavitação no fornecimento de combustível, que exigiu a mudança da posição do tanque de combustível para uma altura superior. A conversão de combustível exigiu também a conversão dos bicos injetores e alteração no suprimento de ar para um mesmo calor gerado pela caldeira, uma vez que o etanol possui menor poder calorífico e necessita de uma menor vazão de ar na combustão. Como esperado, as emissões atmosféricas de NO_x , SO_2 e material particulado foram menores do que no queimador a diesel. Entretanto, fora do esperado, houve um aumento de emissões de CO. Uma das

possíveis causas levantadas pelos autores é o maior tempo necessário para sua vaporização e uma mistura mais lenta em relação ao óleo diesel, favorecendo uma combustão incompleta.

Asfar e Hamed (1998) testaram a queima de óleo diesel com até 20% de álcool (13% isobutanol, 7% etanol) com intuito de se avaliar as emissões e o calor transferido à água de arrefecimento do queimador. As emissões de NO_x , MP e HC se reduziram significativamente com adição de até 10% de álcool. Para adições maiores, as reduções não foram tão significativas. Em relação ao calor transferido, as misturas com mais etanol apresentaram maiores valores para uma mistura combustível-ar rica, apesar de possuir menor PCI. Isto se deve ao fato do etanol diminuir as emissões de HC e MP não queimado, aumentando a eficiência de queima do combustível. Para misturas de combustível-ar pobres, o calor transferido pelas misturas com etanol foi menor devido à menor emissividade de chama e menor PCI. Para misturas de combustível-ar excessivamente pobres, o calor transferido pelas misturas com etanol voltou a ser maior, provavelmente devido a uma maior estabilidade de chama.

Prieto-Fernandez et al. (1999) testaram a queima de óleo combustível leve com até 15% de etanol. O percentual de HC e MP nos gases de combustão apresentou-se menor com a adição de etanol. Entretanto, as emissões de NO_x foram maiores para concentrações de etanol acima de 10%.

Pérez et al. (2006) fizeram uma comparação teórica da substituição de óleo diesel por etanol na queima direta, levando em consideração propriedades químicas dos combustíveis, emissões, comportamento de chama, atomização e corrosão, chegando às seguintes conclusões:

“• É possível utilizar o mesmo atomizador de diesel para o álcool, com uma considerável melhora na atomização e, por conseguinte na eficiência da combustão. É importante observar que esta substituição só pode ser alcançada com uma regulação na pressão de injeção de combustível.

• É possível utilizar a mesma câmara de combustão sem alterar a turbulência e o tempo de residência dos gases na câmara, isso graças a que a temperatura e o volume dos gases não apresentam variação significativa quando realizada a substituição dos combustíveis.

• Com a queima de álcool etílico não se adiciona efetivamente dióxido de carbono para a atmosfera, dado que a cana, matéria prima do etanol absorve as moléculas de CO_2 do ambiente. É esperada também uma redução dos poluentes: fuligem, e material particulado em geral, CO, UHC e SO_2 .

- *O sistema de lubrificação e de injeção de combustível deve ser modificado, visto que, o etanol não apresenta a viscosidade suficiente para ser utilizado como lubrificante e para ser bombeado pela bomba de combustível.*
- *Devem ser tomadas medidas de segurança para evitar perdas por evaporação e risco de incêndios, principalmente nos tanques de estocagem.*
- *A ação corrosiva do etanol deve ser reduzida, seja pela adição de aditivos inibidores, ou pela substituição de materiais por outros mais nobres que não sejam atacados pelo álcool”*

2.3 PESQUISAS COM QUEIMADORES CONVENCIONAIS A ETANOL

Outra vertente é a pesquisa básica sobre comportamento de chamas de etanol. Em chamas laminares em escoamento não uniformes, Seiser et al. (2007) e Tanoue et al. (2011) investigaram a autoignição e extinção de chamas de etanol. Medições de velocidade de chama foram realizadas por Van Lipzig et al. (2011) e Konnov et al. (2011). Kasper et al. (2007) com uso de espectrometria de massa e Marques et al. (2010) com medições de quimioluminescência e fluorescência de NO_x investigaram a estrutura de chamas atmosféricas de etanol com foco em emissões.

Em chamas turbulentas, Breaux e Acharya (2013) analisaram a possibilidade de utilização de etanol com proporções de até 40% de água em chamas com *swirl*. Sacomano Filho (2011) analisou modelos CFD de chamas turbulentas em sprays comparando-os com dados de laboratório.

2.4 PESQUISAS COM QUEIMADORES NÃO-CONVENCIONAIS

Ainda em estágio de desenvolvimento, há algumas aplicações para os quais o etanol poderia apresentar grande viabilidade.

- Combustão em meios porosos: Fuse et al. (2005) estudaram a utilização de etanol e as características de combustão e de autoignição em meios porosos.

- Combustão com água líquida: pelo fato do etanol ser solúvel em água, poderia se utilizar o etanol para geração de vapor no próprio queimador não havendo a necessidade de investimento em caldeiras. Yi e Axelbaum (2013) investigaram a estabilidade da combustão, em um sistema em que água é misturada ao etanol e o vapor é gerado diretamente na chama.
- Combustão do etanol quando resíduo de processo: o etanol é um solvente utilizado em indústrias de impressão, junto com outros compostos orgânicos e por isso é um efluente do processo. Pelo fato das suas concentrações serem muito baixas, podem ser necessários processos de combustão catalítica. Agustina Campesi et al. (2012) investigaram o processo de combustão catalítica de etanol e acetato de etila com catalisadores de Manganês-Cobre. O foco principal desta aplicação é destinar corretamente o resíduo e não transformá-lo em energia.
- Combustão em micro-queimadores portáteis: o etanol, por ser um combustível com queima mais limpa em relação a combustíveis fósseis líquidos, poderia ser utilizado em substituição a baterias (que apresentam menor densidade de energia) em dispositivos elétricos com o uso de placas termoeletricas. Behrens et al. (2010) investigou o processo de evaporação de gotas para diversas temperaturas ambientes e o uso de diferentes catalisadores, para diferentes razões de equivalência na combustão. Como resultado, obteve as taxas de conversão de etanol para CO_2 e outros hidrocarbonetos.
- Combustão com glicerina: metanol, e em menores quantidades etanol, são utilizados na fabricação de biodiesel por meio de uma reação de transesterificação. Entretanto, um co-produto da reação é a glicerina, que possui elevadas concentrações (10-20%) de álcool. Em vez de recuperar o álcool do resíduo, uma alternativa é empregá-lo para auxiliar na combustão da glicerina, aumentando seu PCI. (BOHON et al., 2011)
- Célula de combustível a etanol: a princípio esta aplicação não seria uma combustão, mas sim uma catálise do etanol em CO e H_2 . O Hidrogênio liberado seria então utilizado para gerar uma corrente elétrica. O CO liberado poderia ser queimado para manter a célula de combustível a temperatura adequada de funcionamento. A eficiência de uso do combustível seria maior do que em um MCI e as emissões de poluentes seriam muito inferiores. O etanol seria um combustível intermediário na cadeia, já que apresenta vantagens frente ao hidrogênio na armazenagem e no transporte.

Pode se observar que as aplicações ainda são incipientes na combustão de etanol fora do âmbito de motores de combustões internas, restrita a queimadores de pequeno porte, com pouca tecnologia embarcada.

A maior parte das pesquisas se concentra na substituição de óleo diesel relevando fatores econômicos ou a aplicações em pesquisa básica sem foco em aplicações comerciais. Um dos intuitos deste trabalho é desenvolver uma aplicação comercial, poupando recursos humanos e financeiros em pesquisa.

3 SELEÇÃO DA APLICAÇÃO

Neste capítulo, a intenção é selecionar qual a seria a aplicação mais viável para utilização do etanol. Para tanto foi criada um metodologia de seleção com 3 perspectivas: seleção do insumo energético pelo consumidor, seleção do equipamento pelo consumidor e perspectiva do investidor.

3.1 SELEÇÃO DO INSUMO ENERGÉTICO PELO CONSUMIDOR - CLASSIFICAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS

Na etapa de seleção do insumo energético pelo consumidor, inicialmente foi criada uma classificação dos combustíveis para se conseguir compará-los. Esta classificação contempla sete critérios: custo de insumo energético, emissões de GEE, investimento no equipamento de queima, manutenção, facilidade de transporte, emissões de poluentes e riscos associados ao custo.

3.1.1 Custo do insumo energético

Foi feito um levantamento de custos (metodologia detalhada no **Apêndice B**) conforme pode ser observado na tabela 3.1. Para um consumidor residencial, observa-se que o etanol é mais barato em uma base R\$/MJ que a eletricidade, carvão vegetal e lenha. Para este consumidor, na região Sudeste, o etanol também é mais barato que o GN.

Para um consumidor industrial/comercial, o etanol seria mais barato que a eletricidade em todos os casos. Na região Sudeste, para o cliente comercial, o etanol também seria mais barato que o GN.

Tabela 3.1 - Comparativo de custos de insumo energético

Preço (R\$/MJ)	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Nordeste	Norte
Etanol	0,093	0,102	0,100	0,119	0,130
GLP (P-13)	0,075	0,077	0,081	0,074	0,085
Diesel	0,078	0,077	0,083	0,078	0,085
Carvão Vegetal Industrial	0,014	-	-	-	-
Carvão Vegetal Residencial	0,117	-	-	-	-
Lenha Industrial	0,005	-	-	-	-
Lenha Residencial	0,175	-	-	-	-
GN Industrial (309.279 Nm ³ /mês)	0,048	0,045	0,042	0,039	-
GN Industrial baixa (1.000 Nm ³ /mês)	0,067	0,073	0,063	0,056	-
GN Comercial (835 Nm ³ /mês)	0,102	0,070	0,066	0,064	-
GN Residencial (13,6 Nm ³ /mês)	0,115	0,089	0,077	0,075	-
Elettricidade Industrial	0,158	0,153	0,152	0,126	0,114
Elettricidade Comercial	0,169	0,180	0,174	0,161	0,162
Elettricidade Residencial	0,179	0,183	0,179	0,152	0,154

Além disso, parte dos combustíveis tem restrições de uso e venda, algumas citadas abaixo:

GLP: para alguns tipos de aplicações conforme resolução 15 da ANP (2005) é proibida a utilização de GLP em:

- motores de qualquer espécie
- fins automotivos, exceto em empilhadeiras
- saunas
- caldeiras
- aquecimento de piscinas (exceto para fins medicinais)

GN: pela sua natureza, de ocupar um grande volume a baixas pressões, normalmente seu uso se dá em consumidores conectados por tubulações. Caso não haja tubulação, o consumidor fica impossibilitado de adquirir o produto, exceto grandes consumidores que poderiam adquiri-lo na forma liquefeita.

Óleo diesel e óleo combustível: em alguns processos, o uso de combustíveis fósseis pode não ser viável tecnicamente devido à geração de odores, o que impossibilita o contato direto dos gases de combustão com os materiais do processo, por exemplo, em secadores de grãos.

Etanol: hoje não é possível a venda de etanol via Transportador Revendedor Retalhista (TRR) (ANP, 2007), somente de diesel, lubrificantes e graxas. Isto dificulta a revenda de produto ao consumidor final, uma vez que o TRR entrega o produto no estabelecimento do consumidor. O consumidor pode adquiri-lo somente em postos de combustíveis ou diretamente do distribuidor. Além disso, a venda do etanol hidratado no varejo convencional foi proibida com teor alcoólico acima de 54° GL (% fração volumétrica), pela resolução 46 da ANVISA (2002) (legalidade reconhecida em 2013), sendo permitida somente a venda na forma de gel acima desta concentração. Por um lado, isto inibe a ingestão indevida do combustível ou queimaduras por acidentes, mas por outro lado inibe a sua utilização como combustível.

3.1.2 Emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa)

a) Emissões de CO₂-equivalente para combustíveis fósseis

A queima de combustíveis de fósseis, por ser de origem não renovável, emite para a atmosfera GEE como CO₂, CH₄ e N₂O, cujos efeitos são de aquecer a atmosfera terrestre. Na tabela abaixo, observam-se os potenciais de aquecimento global conforme o IPCC (2007) em relação ao CO₂ para um período de 100 anos.

Tabela 3.2 - Potencial de aquecimento global (IPCC, 2007)

Gases	Potencial (ton-CO ₂ eq)
CH ₄	21
N ₂ O	310

Em aplicações estacionárias, observam-se os seguintes valores de emissões na combustão dos seguintes combustíveis fósseis. Esta planilha foi calculada conforme diretrizes do IPCC (2006) para emissões diretas computando-se emissões de CH₄ e N₂O, e com emissões indiretas providas pelo governo britânico (DEFRA; DECC, 2011).

Tabela 3.3 - Emissões por tipo de combustível

Combustíveis	Direta (ton-CO ₂ eq/TJ) (IPCC, 2006)	Indireta (ton-CO ₂ eq/TJ) (DEFRA; DECC, 2011).	Total (ton-CO ₂ eq/TJ)
GLP	63,872	8,000	71,872
Óleo Diesel	74,392	14,181	88,572
Gás Natural	56,731	5,544	62,275
Óleo Combustível	79,031	13,344	92,375

b) Emissões para combustíveis de biomassa

Os combustíveis renováveis também contribuem com emissões de gases de efeito estufa seja na plantação pela utilização de fertilizantes, de máquinas agrícolas impulsionadas a diesel e pela derrubada de vegetação original, seja na sua produção como a emissão de metano nas lagoas de vinhaça de usinas de cana-de-açúcar ou mesmo no seu transporte pela utilização de combustíveis fósseis como diesel.

No caso do etanol, na tabela 3.4 abaixo, pode se observar a emissão na cadeia do ciclo de combustível (emissões indiretas). Neste caso, foram contempladas emissões na plantação, fabricação e transporte de etanol em relação aos principais gases de efeito estufa (CO₂, CH₄ e N₂O). Para combustão, foi adicionada a emissão de CH₄ e N₂O, conforme IPCC (2006) para combustão em aplicações estacionárias, não considerada no estudo de Pereira (2008). Macedo (2004) e Ometto (2005) também realizaram estudos de emissões de CO₂ chegando a valores de 0,248 (kg-CO₂ eq/litro) e 0,120 (kg-CO₂ eq/litro), respectivamente. Como as plantações correspondem à maior parte das emissões e não é escopo analisar as diferenças de cálculo entre os estudos, foi utilizado, por segurança, o maior valor encontrado.

Tabela 3.4 - Emissões para o etanol hidratado em CO₂ equivalente

Combustíveis	Dados	Fontes
Etanol (kg-CO ₂ eq/l)	0,280	Pereira (2008)
Densidade (kg/l)	0,809	BEN (2015)
PCI (MJ/kg)	26,3	BEN (2015)
Total (ton-CO ₂ eq /TJ)	13,143	calculado
(ton-CO ₂ eq/TJ) CH ₄	0,060	IPCC (2006)
(ton-CO ₂ eq/TJ) N ₂ O	0, 179	IPCC (2006)
Total (ton-CO ₂ eq/TJ)	13,382	calculado

No caso do carvão vegetal, sua produção a partir de florestas plantadas, em áreas degradadas, sequestra mais carbono do que emite, com valores que variam de 37,033 a 148,133 ton-CO₂ eq/TJ de sequestro de carbono (BAILIS et al., 2013; ROUSSET et al., 2011). Entretanto, quando computadas as emissões da derrubada de florestas, a análise dependerá qual era a vegetação original, a tecnologia de produção do carvão vegetal, como a terra seria utilizada após o corte da vegetação original e o horizonte de tempo de análise. Em savanas no Quênia, Bailis (2009) demonstrou que o balanço de CO₂ poderia ser positivo, ou seja, há mais sequestro de CO₂ do que emissões, caso a área seja utilizada para produção de carvão de reflorestamento, após a derrubada da vegetação original.

No Brasil, não há nenhum estudo analisando-se as emissões de lenha e carvão vegetal conforme as variáveis no caso de produção a partir de derrubada de vegetação original, apesar da mudança de uso da terra e a derrubada de florestas serem a maior fonte de emissões de CO₂ no Brasil, respondendo por 77,8% do total (MCT, 2010). Isto se deve ao fato que a produção do carvão vegetal e lenha por desmatamento é uma atividade econômica secundária, decorrente do objetivo principal que é liberar áreas para a pecuária (MARGULIS, 2003) e, por isso normalmente não se relaciona o combustível com as emissões decorrentes do uso da vegetação original. Uma estimativa de Uhlig et al. (2008) é que a área desmatada para produzir 1,3 milhões de toneladas de carvão vegetal de mata nativa, 245 mil ha, em 2005, seja responsável pela emissão de 72 milhões de toneladas de gás carbônico. Convertendo os valores, as emissões seriam de 2.051,069 ton-CO₂ eq/TJ.

Segundo Sjolie (2012), as emissões de CO₂ por tonelada de carvão vegetal produzido na Tanzânia de maneira não renovável são de 665 kg-CO₂ eq/MWh, o que equivale a dizer que a emissão de CO₂ é de 184,722 ton-CO₂ eq/TJ. Pode-se observar, desta maneira, que os fatores de emissão do carvão vegetal possuem uma grande variação, dependendo das hipóteses estabelecidas.

Em virtude destas discrepâncias de valores e do fato da produção de lenha e de carvão vegetal ser decorrente da expansão agrícola, será utilizado o valor recomendado pelo IPCC (2006), para combustão de biomassa em fontes estacionárias. Este valor é a favor da segurança, uma vez que apresenta a menor diferença em relação ao etanol, uma vez que se desconsideram emissões indiretas e derrubada de vegetação nativa.

Tabela 3.5 - Emissões por tipo de combustível produzido a partir de biomassa não renovável (IPCC, 2006)

Combustíveis	ton-CO ₂ eq/TJ
Lenha	119,540
Carvão Vegetal	116,510

Quando considerada as emissões para carvão vegetal e lenha produzidos a partir de biomassa renovável em áreas degradadas, o balanço de GEE utilizado é igual a zero, ou seja, considera-se que não há sequestro ou emissões de GEE.

c) Fatores de emissão para eletricidade

O fator de emissão de inventário corporativo computa as emissões atuais na transformação de eletricidade, enquanto o fator de emissão de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), utilizado em projeto de créditos de carbono, é calculado pelo incremental de eletricidade adicionada à rede. O fato do fator de MDL ser maior é porque, à matriz de eletricidade, tem sido adicionada cada vez mais eletricidade de origem não-renovável. No estudo, foi utilizado o valor do inventário corporativo, uma vez que é considerado o estado atual. Os seus fatores de emissão podem ser observados abaixo:

Tabela 3.6 - Emissões para a eletricidade (MCT, 2011)

	Inventário corporativo	MDL
Eletricidade (kg-CO ₂ eq/kWh)	0,0292	0,1056
Eletricidade (ton-CO ₂ eq/TJ)	8,111	29,333

d) Análise comparativa de emissões de GEE por base energética

Quando analisados comparativamente os impactos de emissões de GEE por base energética, observa-se que os combustíveis de biomassa renovável possuem as menores emissões, seguidos pelo etanol, eletricidade, gás natural, derivados de petróleo em ordem

crescente de carbonos, carvão mineral e por último os combustíveis de biomassa de origem não-renovável.

e) Considerações sobre o impacto por setor

Os dados do BEN (2015) de consumos de energia por tipo de combustível e setor foram cruzados com os dados de fatores de emissão dos combustíveis. Com isso, consegue-se analisar quais são as maiores reduções de GEE (gases de efeito estufa) para os setores e combustíveis quando substituídos por etanol (maiores detalhes no **Apêndice A**). Os setores energéticos e de transporte estão parcialmente considerados como emissões indiretas dos combustíveis. Na tabela 3.7, pode se visualizar o impacto do etanol por setor.

Tabela 3.7 - Reduções de emissões de combustíveis na substituição por etanol em queimadores (10³ ton-CO₂ eq)

Setores	Álcool etílico	Carvão vapor	Carvão vegetal	Coque de carvão mineral	Eleticidade	Gás de cidade	Gás natural	Gasolina	GLP
Agropecuário	-	-	18	-	-	-	-	-	6
Comercial	-	-	197	-	-	-	366	-	1.083
Industrial	-	2.553	67	-	-	-	19.875	-	2.745
Público	-	-	-	-	-	-	81	-	630
Residencial	-	-	898	-	1.895	-	634	-	16.004
Transportes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energético	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Geral	-	2.553	1.180	-	1.895	-	20.957	-	20.468

Setores	Lenha	Óleo combustível	Óleo diesel	Outras de carvão mineral	Outras primárias renováveis	Outras secundárias de petróleo	Outros produtos da cana	Querosene	Total Geral
Agropecuário	5.960	80	-	-	-	-	-	-	6.062
Comercial	216	74	21	-	-	-	-	-	1.957
Industrial	13.493	8.549	3.804	-	-	10.558	-	3	61.646
Público	-	35	13	-	-	-	-	-	760
Residencial	11.865	-	-	-	-	-	-	9	31.306
Transportes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energético	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Geral	31.533	8.737	3.838	-	-	10.558	-	12	101.731

Observa-se que, do ponto de vista de possíveis aplicações de etanol em queimadores e de reduções de emissões de CO₂, as substituições de combustíveis com maiores impactos são as abaixo. Caso o Brasil queira desenvolver uma política energética renovável com base no etanol, essas deveriam ser os principais focos.

- setor agropecuário: lenha de biomassa não renovável
- setor residencial: lenha de biomassa não renovável e GLP
- setor industrial: GN e derivados de petróleo

Para substituição de lenha não renovável para uso agropecuário, o modelo de venda e distribuição de etanol deveria ser revisto, uma vez que a venda de lenha em grande parte das vezes não possui intermediários, comprando-se diretamente do produtor de lenha. O etanol, apesar de muitas vezes estar localizado muito próximo do produtor, deve ser vendido ao distribuidor e posteriormente ao revendedor, adicionando-se dois intermediários a mais na cadeia do produto. Além disso, hoje não é possível a venda de etanol via Transportador Revendedor Retalhista, somente de diesel. Isto dificulta a revenda de produto ao consumidor final, uma vez que o TRR chega a lugares de difícil acesso.

Para substituição de GLP para uso residencial, seria necessário garantir uma tributação com iguais incentivos para o etanol e GLP, o que atualmente não existe.

Para substituição do GN e derivados de petróleo na indústria, a substituição por etanol é mais difícil devido ao custo maior do etanol nestes casos.

3.1.3 Características dos equipamentos e combustíveis

a) Combustíveis e aspectos dos sistemas de combustão

Os combustíveis, conforme seu estado físico (sólido, líquido, gasoso) requerem diferentes tipos de soluções para sua combustão. Estas soluções têm impactos no custo e no investimento.

Usando como referência o trabalho de Kermes et al. (2008), foi elaborada a tabela abaixo. Pode-se observar que os combustíveis líquidos como o etanol apresentam como grande vantagem a facilidade de armazenagem e de transporte (um dos principais motivos por

serem utilizados em MCI e aplicações não-estacionárias) e como maior desvantagem os sistemas de alimentação e variação de potência mais complexos.

Tabela 3.8 - Considerações de combustíveis gasosos, líquidos e sólidos

Combustíveis	Sistemas de alimentação	Armazenamento/Transporte	Variação de potência
Gasosos	Não é necessário já que o gás normalmente já está pressurizado	Botijões a alta pressão ou sistemas de dutos em alta pressão	Controle de válvula de alimentação
Líquidos	Alimentação via sistemas de bombeamento e atomização. Pode ser necessário o pré-aquecimento da mistura	Recipientes sem grande especificação técnica	Válvula solenóide para sistemas atomizados
Sólidos	Alimentação manual ou via esteira	Não necessita de recipientes. Manuseio por lote. Maior área de armazenagem	Adição de combustível na grelha

Nota: Sistema de combustão de sólidos em grelha. Para combustão em sistemas com sólidos em suspensão ou em leito fluidizado, são adicionadas complexidades aos sistemas de combustão de sólidos.

Estes sistemas mais complexos para líquidos têm um impacto no investimento necessário para o equipamento. A ignição também é mais difícil em relação a combustíveis gasosos, uma vez que o líquido precisa ser vaporizado ou atomizado.

Outro fator importante é a maior dificuldade da capacidade do equipamento variar a sua potência quando com um combustível líquido, em relação a combustíveis gasosos (queimadores).

Todas essas características têm um impacto significativo no desenvolvimento do queimador pela sua maior dificuldade de projeto, o que impacta no investimento necessário para o produto. Pela maior presença de partes móveis e equipamentos mais complexos, os custos de manutenção também são impactados.

b) Características gerais dos combustíveis líquidos

Segundo Bizzo (2013), os combustíveis líquidos apresentam as seguintes características importantes para sua combustão:

Ponto de fulgor: é a temperatura do combustível na qual, sob a ação de uma chama escorvadora sobre a sua superfície líquida, ocorre uma ignição e combustão transitória.

Temperatura de autoignição: temperatura mínima de uma mistura ar/combustível na qual a combustão é iniciada e se mantém sem a presença de uma chama escorvadora.

Viscosidade: importante propriedade que vai determinar as temperaturas de armazenamento, bombeamento econômico e pulverização (atomização) para combustão.

Outras características importantes que possuem um grande impacto para a utilização do etanol, principalmente por serem diferentes em relação aos outros combustíveis, são:

Calor latente de vaporização: energia necessária para vaporizar certa quantidade de líquido a uma dada temperatura.

Teor de água: quantidade de água presente no combustível.

Razão ar/combustível estequiométrica: quantidade de ar necessária em unidades de massa para se realizar a combustão estequiométrica em relação à massa de combustível.

Temperatura de ebulição: faixa de temperatura em que ocorre a mudança de fase de líquido para gás a uma dada pressão. Para substâncias puras ou que se comportam como puras, como o etanol, a temperatura de ebulição é fixa.

Limites de inflamabilidade: faixa da quantidade de combustível em uma mistura gasosa ar-combustível necessária para que ocorra a ignição da mistura para uma dada temperatura e pressão

Abaixo, podem se observar algumas dessas características dos combustíveis.

Nota: Ponto de ignição é equivalente a ponto de fulgor

Figura 3.1 - Faixa de inflamabilidade (GARCIA, 2002)

c) Características de combustíveis gasosos

Caso o combustível já esteja vaporizado, segundo Bizzo (2013), outra característica importante é:

Índice de Wobbe: relação entre PCI e a raiz quadrada da densidade relativa ao ar. Este relaciona a quantidade de energia por volume que é possível passar por um orifício para uma correspondente queda de pressão.

d) Comparativo de especificações técnicas

Com intuito de se comparar os combustíveis, foi criado abaixo um quadro comparativo entre os combustíveis na tabela 3.9, relacionando-se as principais características do combustível para sua seleção:

Tabela 3.9 - Características dos combustíveis

Características	Unidades	Etanol anidro	Etanol hidratado	Querosene	Óleo Diesel	Óleo Combustível	GN	GLP	Carvão Vegetal	Lenha
Estado físico	-	líquido	líquido	líquido	líquido	líquido	gasoso	líquido e gasoso	sólido	sólido
Ponto de fulgor	°C	13 ^a	17 ^b	41 ^c	64 ^a	80 ^c	-145 ^e	2 ^f	-	-
Temperatura de auto ignição	°C	366 ^a	-	238 ^d	230 ^a	350 ⁱ	482-632 ^e	405 ^f	-	-
Temperatura de ebulição (1 atm)	°C	78,3 ^c	78,2 ^c	175-325 ^m	188-343 ^k	-	-161 ^k	-42 ^k (Propano)	-	-
Viscosidade cinemática (20 °C)	cSt (mm ² /s)	1,52 ^j	-	2,71 ^j	2-6 ^j (37,8°C)	2,39-26,4 ^j (21,1°C)	-	-	-	-
Calor latente de vaporização (15,5 °C)	kJ/kg	903 ^c	991 ^c	251 ^j	233 ^k	-	506 ^k	428 ^k (Propano)	-	-
Teor de água	INPM - % fração em massa	0,8 ^c	6,9 ^c	-	-	-	-	-	-	-
PCI ^g	MJ/kg	28,2	26,3	43,5	42,2	40,1	36,8 (MJ/Nm ³)	46,4	27,0	12,9
Densidade ^g	kg/m ³	791	809	799	840	1.000	0,740 (20 °C, 1 atm)	552 (Botijão)	250	390
Razão ar/combustível estequiométrica	-	9 ^c	8,3 ^c	15 ^l	14,7 ^k	13-15 ^c	17,2 ^k	15,7 ^k (Propano)	-	-
Índice de Wobbe	-	-	-	-	-	-	48,2-53,2 ^c	72,6-87,6 ^c	-	-
Limite de inflamabilidade inferior (20°C, 1 atm)	%, volume	3,3 ^a	-	0,7 ^j	1 ^k	0,7 ^j	5,3 ^k	2,2 ^k (Propano)	-	-
Limite de inflamabilidade superior (20°C, 1 atm)	%, volume	19 ^a	-	5 ^j	6 ^k	5 ^j	15 ^k	9,5 ^k (Propano)	-	-

(a) Hansen et al. (2005); (b) INMETRO (2012); (c) Bizzo (2013); (d) Petrobrás (2011a); (e) Comgas (2012); (f) Liquigás (2011); (g) BEN (2012); (h) CETESB (2013); (i) Petrobrás (2011b); (j) Engineering toolbox (2013); (k) EERC (2013); (l) Flagaan (1988); (m) GESTIS (2013)

Em relação ao ponto de fulgor, o etanol é o combustível com menor valor frente aos outros combustíveis líquidos utilizados em queimadores. Isto facilita a ignição do combustível. Ao mesmo tempo, apresenta o maior calor latente de vaporização, o que impacta negativamente na facilidade de combustão. A temperatura de autoignição do etanol é maior frente aos outros combustíveis líquidos, o que aumenta a segurança de utilização, mas também impacta negativamente a continuidade da combustão.

Em relação à viscosidade cinemática, o etanol apresenta o menor valor frente aos outros combustíveis líquidos, característica que facilita a atomização do combustível. O etanol também necessita de uma menor vazão de ar estequiométrica para sua combustão, o que facilita a combustão completa em chamas sem pré-misturas.

Em relação à temperatura de ebulição, o etanol, por apresentar uma temperatura constante, tende a vaporizar uniformemente as gotas em relação a outros combustíveis líquidos, o que proporciona uma combustão mais eficiente e também facilita a sua utilização como combustível na fase gasosa.

O teor de água é a principal diferença entre o etanol anidro e etanol hidratado frente aos outros combustíveis, tendo impacto na solubilidade em outros combustíveis ou em propriedades como ponto de fulgor e calor latente de vaporização. Além disso, é uma das principais causas de adulteração deste combustível, já que adição de água é simples de ser executada. Outro fator é que a água possui poder corrosivo, necessitando em alguns casos a utilização de materiais mais resistentes à corrosão.

As faixas de inflamabilidade do etanol são mais amplas em relação aos outros combustíveis líquidos, o que facilita sua ignição quando vaporizado.

3.1.4 Emissões de NO_x, SO_x, CO, hidrocarbonetos e material particulado

Outro fator relevante para a seleção do combustível é quantidade de substâncias emitidas durante a combustão do combustível. Atualmente, com o uso de tecnologias de mitigação de impactos de emissões, qualquer combustível pode proporcionar uma queima limpa. Porém, a adoção de tecnologias exige um investimento maior além de um custo maior de manutenção. Em aplicações de pequeno porte, normalmente o papel de mitigação é restrito ao próprio projeto do queimador e sua aplicação.

O poluente CO se forma em regiões com razão combustível/ar elevadas, em que não há oxigênio suficiente para combustão estequiométrica sendo maior na queima de

combustíveis sólidos e líquidos. O etanol por já apresentar na sua molécula o oxigênio necessita de menos ar na sua combustão, apresentando normalmente níveis mais baixos de emissões de CO para uma mesma quantidade de energia.

As emissões de NO_x estão principalmente relacionadas ao teor de nitrogênio no combustível (NO_{fuel}) e as temperaturas elevadas na câmara de combustão, necessárias para reação entre o N_2 e o O_2 (NO térmico), apesar de haver outros mecanismos em chamas pré-misturadas como NO_{prompt} e N_2O -intermediário. Normalmente, as emissões de NO_x atingem um pico em uma faixa com pequeno excesso de ar, caindo posteriormente com grande excesso de ar, devido à queda da temperatura da combustão. Abaixo se observa um exemplo de emissões de CO e NO_x .

Figura 3.2 - Emissões de CO e NO_x (PINHEIRO; VALLE, 2013)

O etanol, apesar de possuir pouco nitrogênio na sua composição, devido à presença de oxigênio na sua molécula, pode apresentar a tendência de apresentar maiores emissões de NO_x . Ao mesmo tempo, por apresentar temperatura de chama adiabática inferior ao dos outros combustíveis fósseis (GLAUDE et al., 2010) como se vê na figura abaixo (com exceção ao gás metano) e por possuir água na sua composição (etanol hidratado), o que resfria a chama, as emissões de NO_x podem ser diminuídas.

Figura 3.3 - Temperatura de chama adiabática (GLAUDE et al., 2010)

Em relação aos combustíveis fósseis líquidos, a combustão de combustíveis gasosos normalmente apresenta menores emissões de NO_x pela facilidade de controle destas tanto no projeto quanto na operação, evitando-se a formação de altas temperaturas no queimador. (KERMES et al., 2008)

As emissões de hidrocarbonetos e material particulado estão relacionadas assim como o CO a regiões onde não há oxigênio suficiente e ocorre a quebra de hidrocarbonetos em partículas menores ou mesmo a vaporização dos constituintes do combustível sem ocorrer a combustão. Dependendo do composto formado, pode haver a formação de odores. As emissões de material particulado possuem o mesmo mecanismo de formação sendo normalmente também maiores nos líquidos derivados de combustíveis fósseis e em combustíveis sólidos. Além disso, as formações destes tendem a aumentar quanto menor for a relação H/C do combustível.

As emissões de SO₂ estão relacionadas ao teor de enxofre do combustível. Está presente em combustíveis fósseis mais pesados, sendo praticamente inexistente no etanol ou em combustíveis fósseis gasosos.

Abaixo, observa-se uma classificação das emissões por tipo de combustível elaborada com base na discussão acima. Não é possível se estabelecer com precisão os combustíveis com maiores emissões para cada caso, já que estes irão depender da tecnologia de queima e do projeto do queimador, mas para fins comparativos a análise é válida.

Tabela 3.10 - Emissões comparativas por tipo de combustível

Combustíveis	CO	HC	MP	SO _x	NO _x
Etanol	1	3	3	3	3
Diesel	4	6	4	6	4
Óleo Combustível	5	7	5	7	5
GN	2	1	1	1	1
GLP	3	2	2	2	2
Carvão Vegetal	6	4	6	4	6
Lenha	7	5	7	5	7

Nota: quanto menor o número, menor a emissão

Em comparação com outros combustíveis, o etanol é o combustível que apresenta emissões somente superiores aos combustíveis gasosos como GLP e GN.

Como já foi visto no **Capítulo 1**, é muito significativa ainda no Brasil a combustão de lenha e carvão vegetal em aplicações residenciais e industriais. Estima-se que 1,6 milhões de mortes ocorram anualmente no mundo somente devido à poluição pela queima de combustíveis sólidos para a cocção de alimentos e geração de calor (WHO, 2002). O etanol pode ser visto como uma fonte de substituição das aplicações atuais de uso da lenha de maneira segura e renovável. (OHIMAIN, 2012)

3.1.5 Utilização de etanol e riscos econômicos associados

Atualmente, a produção do etanol é voltada basicamente para o atendimento da demanda de utilização em MCI.

A matéria-prima básica para produção do etanol no Brasil é a cana-de-açúcar, que pode ser direcionada para produção de açúcar conforme variação de preços, além de estar sujeita a variações naturais de safra.

Tabela 3.11 - Produção de cana-de-açúcar (UDOP, 2013)

Ano-Safra Harvest Year	Etanol Anidro Anhydrous (m³)	Etanol Hidratado Hydrous (m³)	Etanol Ethanol Total (m³)	Açúcar Sugar (ton)	Cana-de-açúcar Sugarcane (ton)
00/01	5.584.730	4.932.805	10.517.535	16.020.340	254.921.721
01/02	6.479.187	4.988.608	11.467.795	18.994.363	292.329.141
02/03	7.009.063	5.476.363	12.485.426	22.381.336	316.121.750
03/04	8.767.898	5.872.025	14.639.923	24.944.434	357.110.883
04/05	8.172.488	7.035.421	15.207.909	26.632.074	381.447.102
05/06	7.663.245	8.144.939	15.808.184	26.214.391	382.482.002
06/07	8.078.306	9.861.122	17.939.428	30.735.077	428.816.921
07/08	8.464.520	13.981.459	22.445.979	31.297.619	495.843.192
08/09	9.630.481	18.050.758	27.681.239	31.506.859	572.738.489
09/10	6.937.770	18.800.905	25.738.675	33.033.479	603.056.367
10/11	8.027.283	19.576.837	27.604.120	38.069.510	624.501.165
11/12	8.623.614	14.112.926	22.736.540	35.970.397	560.993.790
12/13(*)	9.389.572	13.453.222	22.842.794	36.919.451	572.048.923

Nota: Previsão em 01/01/2013

Existem outras fontes como mandioca, milho e sorgo sacarino. Com o desenvolvimento de plantas comerciais de etanol de 2ª geração, produzido a partir de celulose, outras fontes como resíduos de plantações e madeira poderão ser utilizadas.

A produção e o consumo de etanol estão concentrados em poucos países como podemos observar abaixo, dificultando uma maior estabilidade de preços, diferentemente de derivados de petróleo.

Tabela 3.12 - Produção de etanol por país em 2009 (RFA, 2013)

País	Milhões de litros
EUA	40.125
Brasil	24.900
União Europeia	3.935
China	2.050
Tailândia	1.647
Canadá	1.100
Outros	936
Índia	347
Colômbia	315
Austrália	215
Total	73.948

Diferentemente de outros combustíveis, a produção de etanol é concentrada durante o período da safra. Isto ocasiona uma grande concentração de produção e consumo em certos períodos do ano, exigindo maior capacidade de armazenamento por parte do governo e produtores.

Figura 3.4 - Produção de etanol durante o ano (MME, 2013)

Devido ao grande uso em MCI, em motores *flex*, o principal combustível balizador de preços do etanol hidratado é a gasolina, sendo que grande parte da produção está concentrada em refinarias da Petrobrás. Além disso, o governo pode variar o percentual de etanol anidro na gasolina entre 20 e 27%. Isto mostra que este mercado é altamente regulado e depende fortemente de atuação do governo; a utilização de etanol em queimadores estaria fortemente dependente da atuação do governo para estabilização e controle de preços, já que o consumidor poderia ser impactado por outro mercado consumidor (MCI).

Abaixo, pode se observar um quadro resumo com as características da produção e utilização do etanol produzido a partir da cana-de-açúcar.

Tabela 3.13 - Quadro comparativo de riscos para variação de preços do etanol e derivados de petróleo

Fatores	Etanol	Derivados de Petróleo
Dependência de fatores naturais no curto prazo	alta	baixa
Existência de co-produtos concorrentes a partir da mesma matéria prima	açúcar, etanol anidro e etanol hidratado	vários
Concentração de países produtores	alta	baixa
Concentração de produção durante ano	alta	baixa
Concentração de países consumidores	alta	baixa
Uso em MCI	alto	alto
Uso em queimadores	inexistente	alto

O que se pode depreender é que o uso do etanol apresenta vários fatores para formação de um mercado com grandes variações de preço e volumes de produção em comparação com o mercado dos derivados de petróleo.

Deste modo, o crescimento da sua utilização em motores de combustão interna só foi viabilizado devido ao uso de tecnologia de motores bi-combustível, com a qual foi permitido ao consumidor escolher qual combustível utilizar.

Em relação aos combustíveis sólidos de biomassa, estes apresentam regionalmente uma maior possibilidade de distorções de custos a curto e médio prazo, uma vez que o frete possui participação maior no seu custo; a eventual falta de produção de biomassa em uma determinada região implicaria mais facilmente em um aumento de custo.

O GN naturalmente também apresenta riscos de variações de preços no longo prazo em virtude de ser transportado e consumido por dutos, diminuindo a capacidade do consumidor de escolher outros fornecedores. Diminuindo o risco de utilização do GN, apresenta-se o fato de poder ser substituído em muitos casos pelo GLP com poucas alterações, o que diminui os riscos de sua utilização.

3.1.6 Classificação dos combustíveis

Com base nas análises realizadas, foram elaboradas as tabelas 3.14 e 3.15 abaixo com a intenção de ranquear os combustíveis conforme critérios de utilização. Esta classificação não deixa de ser arbitrária, uma vez que a seleção depende da tecnologia de queima e de dados de consumo, mas serve como subsídio para estabelecer diretrizes para sua seleção.

Tabela 3.14 - Comparativo de fontes de energia – consumidor residencial

	Custo do insumo energético (it. 3.1.1)	Emissões de GEE (it. 3.1.2)	Invest. no equipamento de queima (it. 3.1.3)	Manutenção (it. 3.1.3)	Facilidade de transporte (it. 3.1.3)	Emissões de poluentes (it. 3.1.4)	Riscos associados ao custo (it. 3.1.5)
Etanol	4	2	5	4	2	4	6
Gás natural	3	3	4	2	6	2	5
GLP	1	4	3	3	4	3	3
Óleo diesel	2	5	6	5	3	5	1
Lenha/ carvão vegetal	5	6	1	6	5	6	4
Eletricidade	6	1	2	1	1	1	2

Nota: quanto menor o número, melhor a classificação. Os valores de investimentos para lenha e carvão vegetal são os que apresentam as maiores diferenças, uma vez que dependem muito do método de combustão. Além disso, as emissões de gases de efeito estufa variam se for utilizada biomassa renovável ou não.

Tabela 3.15 - Comparativo de fontes de energia – consumidor industrial/comercial

Insumo energético	Custo de insumo energético (it. 3.1.1)	Emissões de GEE (it. 3.1.2)	Invest. no equipamento de queima (it. 3.1.3)	Manutenção (it. 3.1.3)	Facilidade de transporte (it. 3.1.3)	Emissões de poluentes (it. 3.1.4)	Riscos associados ao custo (it. 3.1.5)
Etanol	5	2	5	4	2	4	6
Gás natural	2	3	4	2	6	2	5
GLP	4	4	3	3	4	3	3
Óleo diesel	3	5	6	5	3	5	1
Lenha/ carvão vegetal	1	6	1	6	5	6	4
Elettricidade	6	1	2	1	1	1	2

Nota: quanto menor o número, melhor a classificação

Resumem-se abaixo as principais considerações em relação à classificação:

- Custo do insumo energético:

O etanol é o segundo insumo mais caro, atrás apenas da eletricidade, quando se fala em consumo industrial/comercial. Para aplicações residenciais, o etanol é mais barato que a eletricidade, a lenha e o carvão vegetal.

- Emissões de GEE:

O etanol apresenta emissões inferiores aos outros insumos energéticos, exceto em relação à eletricidade.

- Investimento no equipamento de queima:

O uso do etanol, na maior parte das vezes, exigiria um investimento maior no equipamento de queima frente aos combustíveis gasosos e sólidos, uma vez que as tecnologias de queima de combustível líquido não estão tão disseminadas. Combustíveis líquidos fósseis exigiriam equipamentos para atomização e para mitigação de emissões ainda mais sofisticados.

- Manutenção:

Os custos de manutenção e operação foram considerados proporcionais aos equipamentos de queima, exceto no caso de combustíveis sólidos, que apresentam os maiores custos de manutenção com menor investimento.

- Facilidade de transporte:

O etanol apresenta maior facilidade de transporte, não necessitando de botijão (GLP) ou tubulação (GN). Combustíveis líquidos fósseis exigiriam maior cuidado no transporte e armazenamento pela sua maior toxicidade.

- Emissões de poluentes:

O etanol apresenta emissões maiores que o GLP, GN e eletricidade, porém inferior a outros combustíveis sólidos e líquidos.

- Riscos associados ao custo:

O etanol, devido ao fato de não possuir estoques reguladores na quantidade necessária; ao fato da cana-de-açúcar também poder ser transformada em açúcar, e também ao fato do seu preço ser controlado pela política de preços estabelecidos para a gasolina, este é o insumo energético que apresenta a maior chance de bruscas variações de preços.

3.2 SELEÇÃO DO INSUMO ENERGÉTICO PELO CONSUMIDOR – ANÁLISE DAS APLICAÇÕES

Nesta etapa, foram selecionadas aplicações com maior potencial de utilização pelo consumidor, conforme tabelas 3.16 e 3.17 abaixo. Para tanto, foram elencadas diversas utilizações de uso de combustíveis nos setores comercial, residencial e industrial. As aplicações do segmento industrial analisadas foram limitadas à potência de 50 kW, para se limitar os investimentos necessários para a construção do protótipo.

Para cada uma das aplicações, foram arbitrados pesos para os critérios de seleção de combustíveis. Os pesos de cada um dos critérios de seleção foram baseados no consumo por aparelho, potência e frequência de uso, além de características individuais dos produtos. Para cada aplicação foi dada uma nota de 1-5, comparativamente aos outros combustíveis utilizados, conforme a classificação elaborada para os combustíveis. Foram selecionadas somente as aplicações com notas ponderadas iguais ou superiores a 3,0. No **Apêndice C**, há uma explicação detalhada com notas e pesos utilizados.

Tabela 3.16 - Matriz de seleção para aplicação residencial

		Principais insumos energéticos utilizados						Critérios de seleção															
Cluster	Equipamento	GLP	GN	eletri- cidade	lenha	carvão vegetal	óleo diesel	Inves- timento		Manun- tenção		GEE		Trans- porte		Emissões		Custo		Riscos		Peso	Ponde- ração
alta potência e alta penetração	forno	x	x	x	x	x		15%	2	5%	3	5%	5	15%	5	10%	4	40%	2	10%	1	100%	2,75
	fogão	x	x		x	x		20%	2	5%	3	5%	5	0%	0	10%	4	50%	2	10%	1	100%	2,30
	cooktop	x	x	x				20%	2	5%	2	5%	5	0%	0	10%	2	50%	2	10%	1	100%	2,05
	aquec. de água tipo boiler			x				20%	1	5%	1	5%	3	0%	0	5%	1	50%	4	15%	1	100%	2,60
	aquecedor de passagem	x	x					20%	2	5%	2	5%	5	0%	0	5%	2	50%	1	15%	1	100%	1,50
	chuveiro			x				25%	1	5%	1	5%	3	0%	0	5%	1	45%	4	15%	1	100%	2,45
alta potência e baixa penetração	secadoras de roupas	x	x	x				20%	2	5%	2	5%	5	0%	0	5%	2	50%	2	15%	1	100%	2,00
	aquecedor de ambiente			x				20%	1	5%	1	5%	3	15%	5	5%	1	40%	4	10%	1	100%	2,90
	calefação	x	x				x	20%	3	5%	3	5%	5	0%	0	5%	4	50%	1	15%	1	100%	1,85
	piscina		x	x				20%	2	5%	2	5%	5	0%	0	5%	2	50%	2	15%	2	100%	2,15
	banheiras	x	x	x				20%	2	5%	2	10%	5	0%	0	10%	2	40%	2	15%	1	100%	2,15
	sauna		x	x				20%	2	5%	2	10%	3	0%	0	10%	2	40%	2	15%	2	100%	2,10
	piso radiante	x	x	x				20%	2	5%	2	10%	3	0%	0	10%	2	40%	2	15%	1	100%	1,95
bio- massa	lareira	x	x		x			15%	2	5%	3	15%	5	20%	5	15%	4	25%	2	5%	1	100%	3,35
	churrasqueira	x	x	x		x		15%	2	5%	3	15%	5	20%	5	15%	4	25%	2	5%	1	100%	3,35
aplicações portáteis	aquecedor de área externas	x		x				15%	2	5%	2	15%	5	20%	5	15%	2	25%	2	5%	1	100%	3,00
	maçaricos	x						25%	1	5%	2	5%	5	40%	5	5%	2	15%	3	5%	1	100%	3,20
	isqueiros	x						25%	2	5%	3	5%	5	40%	5	5%	2	15%	3	5%	1	100%	3,50
	toalheiro			x				15%	1	5%	1	15%	3	20%	5	15%	1	25%	4	5%	1	100%	2,85
	tochas	x					x	20%	3	5%	3	5%	5	45%	5	5%	2	15%	1	5%	1	100%	3,55
	fogão portátil	x						20%	3	5%	3	5%	5	45%	5	5%	2	15%	3	5%	1	100%	3,85

Tabela 3.17 - Matriz de seleção para aplicação comercial/industrial/agropecuária

		Principais insumos energéticos utilizados						Critérios de seleção															
Cluster	Equipamento	GLP	GN	eletri- cidade	lenha	carvão vegetal	óleo diesel	Inves- timento		Manun- tenção		GEE		Trans- porte		Emissões		Custo		Riscos		Peso	Ponde- ração
cocção	forno diretos	x	x		x	x		15%	2	5%	3	5%	5	15%	5	5%	4	45%	1	10%	1	100%	2,20
	fornos indiretos	x	x		x	x		15%	2	5%	3	5%	5	15%	5	5%	4	45%	1	10%	1	100%	2,20
	forno de pizza	x	x		x			15%	2	5%	3	5%	5	15%	5	5%	4	45%	1	10%	1	100%	2,20
	fogão	x	x		x	x		15%	2	5%	3	5%	5	15%	5	5%	4	45%	1	10%	1	100%	2,20
	frangueira	x	x					15%	2	5%	2	5%	5	15%	5	5%	2	45%	1	10%	1	100%	2,05
	chapas quentes	x	x					15%	2	5%	2	5%	5	15%	5	5%	2	45%	1	10%	1	100%	2,05
lavagem de roupas	secadoras de roupas	x	x					20%	2	5%	2	5%	5	0%	0	5%	2	50%	1	15%	1	100%	1,50
	máquina de lavar	x	x					20%	2	5%	2	5%	5	0%	0	5%	2	50%	1	15%	1	100%	1,50
conforto térmico	calefação	x	x				x	20%	2	5%	3	5%	5	0%	0	5%	2	50%	1	15%	1	100%	1,55
	ciclo de absorção para refrigeração	x	x					20%	2	5%	2	5%	5	0%	0	5%	2	50%	1	15%	1	100%	1,50
lazer	piscinas		x	x				20%	2	5%	2	5%	5	0%	0	5%	2	50%	2	15%	2	100%	2,15
	sauna		x	x				20%	2	5%	2	5%	5	0%	0	5%	2	50%	2	15%	2	100%	2,15
labor- atório	bico de bunsen	x	x					20%	2	5%	2	5%	5	40%	5	5%	2	20%	1	5%	1	100%	3,10
	autoclave	x	x	x				20%	2	5%	2	5%	5	30%	5	10%	2	25%	2	5%	1	100%	3,00
diversos setores	central de água quente	x	x				x	20%	2	5%	3	5%	5	0%	0	5%	4	50%	1	15%	1	100%	1,65
	gerador de vapor		x		x		x	20%	2	5%	3	5%	5	0%	0	5%	4	50%	1	15%	1	100%	1,65
	maçaricos	x						25%	1	5%	2	5%	5	40%	5	5%	2	15%	3	5%	1	100%	3,20
agropecuário	secadoras de grãos	x			x			20%	2	5%	3	5%	5	0%	0	5%	4	50%	1	15%	1	100%	1,65
	torrefação de grãos	x			x			20%	2	5%	3	5%	5	0%	0	5%	4	50%	1	15%	1	100%	1,65
	aquecimento de granjas	x			x		x	20%	2	5%	3	5%	5	0%	0	5%	4	50%	1	15%	1	100%	1,65
	estufas	x			x			20%	2	5%	3	5%	5	0%	0	5%	4	50%	1	15%	1	100%	1,65

As aplicações que apresentaram as melhores notas ponderadas conforme tabelas 3.16 e 3.17 foram as seguintes:

- aquecedor de áreas externas
- lareira
- churrasqueira
- isqueiros
- maçaricos residenciais/industriais
- fogão portátil
- tochas
- bico de bunsen
- autoclave

Estas aplicações apresentam altos pesos no critério de facilidade de transporte (15-40%). Nestas aplicações, o custo do insumo energético não é o principal critério de seleção (pesos de 15-25%). Deve se salientar que foram dados baixos pesos para o critério de emissões de GEE (5-15%) para se minimizar o viés ambiental da análise, apesar de apresentar as melhores notas para o etanol.

3.3 SELEÇÃO PELO INVESTIDOR

Não basta o atendimento dos critérios do consumidor para que a solução seja viável. É necessário o atendimento também de critérios do ponto de vista do investidor. Para tanto, foram criados os critérios: abrangência da solução, inovação e volume de mercado. No **Apêndice C**, há uma explicação detalhada dos critérios e notas utilizadas.

Alguns critérios como margem obtida na venda do produto e investimentos necessários não foram utilizados diretamente como critério, uma vez que em uma primeira análise não se pode quantificá-los. Indo além, a inovação está relacionada com a margem e o volume de mercado está relacionado com a diluição do investimento necessário.

Para estes atributos, mais importante que o peso, é possuir uma nota mínima, como uma forma de mitigação de riscos para o desenvolvimento de projeto. A planilha com as respectivas notas está no **Apêndice D**.

As soluções que apresentaram notas médias muito baixas (inferiores a 2,5) foram excluídas da análise: as aplicações de **autoclave**, **tochas** e **bico de bunsen**. A lista final de aplicações com maior viabilidade são as seguintes:

- aquecimento de áreas externas
- lareira
- churrasqueira
- isqueiros
- maçaricos industriais/residenciais
- fogão portátil

3.4 SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO PELO CONSUMIDOR - ANÁLISE DAS APLICAÇÕES

Para se determinar a solução com maior aplicabilidade do etanol, devem-se avaliar com mais detalhes os equipamentos normalmente utilizados e não apenas os combustíveis utilizados. Para tanto uma análise detalhada foi realizada para se tomar a decisão.

3.4.1 Aquecedor de áreas externas

Este tipo de queimador possui um uso eventual, principalmente em bares e restaurantes, durante alguns meses. Em muitos casos os consumidores não compram o produto, mas o alugam. Na maior parte das vezes, o insumo energético utilizado é o GLP.

Os modelos de aquecedor atuam acima da capacidade de vaporização do insumo energético de GLP para botijão P-13, que é de 600 g-GLP/hora a 20 ° C. O próprio aquecedor aquece o botijão, permitindo a vaporização a taxas maiores.

A cada troca de botijão, o consumidor deve realizar o teste de estanqueidade na tubulação. Cada equipamento necessita um botijão, que custa por volta de R\$ 100,00. Normalmente, deve-se possuir um botijão reserva para a troca em caso de esgotamento do botijão.

O botijão duplica o peso do equipamento dificultando o seu transporte e aumenta o espaço ocupado pelo produto, às vezes escasso em restaurantes e bares. A padronização do botijão fixa a geometria da base, não permitindo o desenvolvimento de design diferente.

Em compensação, o botijão funciona como contrapeso evitando o tombamento do equipamento. Abaixo um exemplo de aquecedor de ambientes.

Figura 3.5 - Aquecedor de ambientes (GENERAL HEATER, 2013)

Modelo: PH-PLUS-1800

Potência: 2,6 - 12,6 kW

Dimensões: 2.210 mm (altura), 530mm (diâmetro da base inferior) e 820 mm (diâmetro da base superior)

Peso líquido: 22 kg

Peso com combustível: 15 kg (botijão vazio) + 13 kg (GLP) + 22 kg (equipamento) = 50kg

Queimador: Cerâmico (Infravermelho)

Consumo (Potência Máxima): 870 g-GLP/hora

Autonomia (Potência Máxima): 14,9 h

Combustível: GLP (botijão de 13 kg)

Ignição: Piezoelétrico com chama piloto

Controle: válvula (necessita esperar 5 minutos para girar o manípulo da posição piloto para a potência máxima)

Dispositivo de segurança: Corta chama na falta de chama ou tombamento do produto

Valor: R\$ 1.590

3.4.2 Lareira

O uso de lareira é muito pequeno no Brasil, sendo concentrado na região Sul e Sudeste, devido a baixas temperaturas. Além disso, o uso é esporádico, utilizando-se algumas vezes por ano, apresentando uma função mais estética do que de aquecimento. Entretanto, quando utilizada, ela deve prover o aquecimento de maneira eficaz.

A pouca disponibilidade de lenha, principalmente em grandes cidades, pode dificultar o seu uso. O uso de outros combustíveis é dificultado já que muitas vezes não se pensa em uma tubulação para instalação de GLP ou GN. Tampouco, usa-se o GLP diretamente do botijão por motivos estéticos.

Um fator de risco à segurança do consumidor é a qualidade da combustão da lenha, que pode liberar quantidades razoáveis de CO em ambientes fechados. Caso a chaminé não possua uma tiragem adequada, pode levar à intoxicação do consumidor. Outro fator é a eventual projeção de faíscas, que podem levar à combustão objetos próximos.

Lareiras convencionais a lenha necessitam de alimentação constante, além de possuir uma ignição lenta. O consumidor pode encarar isto como um fator positivo pela interação com o equipamento. Um fator positivo da utilização de lenha é que, uma vez feita a obra civil, não apresenta mais nenhum custo com queimadores.

Existem diversos modelos de lareira como:

- lareira a gás de pedras vulcânicas
- lareira a gás de falsos lenhos
- lareiras elétricas
- lareiras a etanol

Conforme já foi mostrado, existem vários modelos de lareiras a etanol portáteis. Abaixo, observa-se um exemplo deste:

Figura 3.6 - Lareira a etanol (VAUNI, 2012)

Modelo: OF WIDE

Potência: 3 kW

Dimensões: 410 mm (largura) x 90 mm (altura) x 220 mm (profundidade)

Peso: 5,5 kg

Capacidade de combustível: 3 litros

Autonomia: > 5h

Ignição: Ignitor à pilha ou acendimento manual com fósforo ou vareta piezoelétrica.

Controle: Abafamento da chama

As lareiras a etanol apresentam como vantagem preponderante a facilidade de instalação em qualquer local. Em relação às lareiras convencionais a lenha, apresentam vantagens como praticidade no uso (facilidade de ignição) e segurança de utilização (dependendo da área e ventilação do ambiente não é necessária a tiragem por chaminé), A principal desvantagem em relação às lareiras a gás e lenha é a menor potência do equipamento, normalmente inferior a 4 kW, já que as chamas se dão na superfície do etanol. Uma lareira convencional a GN ou GLP pode apresentar potências maiores chegando a 20 kW.

3.4.3 Churrasqueira

As churrasqueiras mais comuns podem ser construídas com obras civis ou portáteis. Normalmente se utiliza carvão vegetal como combustível, e em menor volume outros combustíveis como GLP ou GN. As de GLP/GN podem utilizar queimadores infravermelhos ou pedras vulcânicas para melhor cocção.

Os custos de operação normalmente são maiores para churrasqueiras a carvão, uma vez que o carvão vegetal, em grandes cidades, devido à baixa oferta de pontos de venda, é mais caro em uma base energética. Além disso, a combustão é muito menos eficiente devido à dificuldade de regulagem e maior tempo para atingir a temperatura ideal.

No caso das churrasqueiras a GLP, os botijões utilizados são os de 5 kg, o que impacta negativamente o preço do combustível. O botijão necessita estar aquecido, normalmente embutido dentro da churrasqueira, para se conseguir potências maiores que 5,1 kW para botijão P-5 e que 7,7 kW para botijão P-13.

Para o acendimento de churrasqueiras a carvão vegetal, é necessário um chama piloto, gerada com mais variados produtos como papel, óleo vegetal e também etanol. O acendimento de churrasqueiras a GLP/GN é feito por piezoelétrico ou fósforo.

Em ambientes comerciais, devido à necessidade de chama piloto, custo e emissões, há preferência por se utilizar churrasqueiras a GLP/GN. Em ambientes residenciais, por motivos culturais e pelo custo de investimento, o uso de carvão vegetal é muito utilizado. Em outros países, o uso de GLP é mais freqüente. Abaixo alguns exemplos de churrasqueiras.

Figura 3.7 - Churrasqueira a gás - Britain (NAUTIKA, 2013)

Potência: 3,9 kW

Peso: 16 kg

Peso com combustível: 11 kg (botijão vazio P-5) + 5 kg (GLP) + 16 kg (equipamento) = 32 kg

Dimensões: 980 mm (altura) x 540 mm (largura) x 950 mm (profundidade)

Consumo (Potência Máxima): 300 g-GLP/hora

Autonomia (Potência Máxima): 43 h

Combustível: GLP (botijão a partir de P-5)

Queimador: com pedras vulcânicas

Ignição: Piezoelétrico

Valor: R\$ 656

Figura 3.8 - Churrasqueira a gás (CHARBROIL, 2013)

Potência: 3,9 kW

Peso: 32 kg

Peso com combustível: 11 kg (botijão vazio P-5) + 5 kg (GLP) + 32 kg (equipamento) = 48 kg

Dimensões: 1170 mm (altura) x 680 mm (largura) x 560 mm (profundidade)

Combustível: GLP (botijão a partir de P-5) / GN

Queimador: Infravermelho

Ignição: Piezoelétrico

Valor: R\$ 3.499

Percebe-se que as churrasqueiras portáteis apresentam peso elevado, sendo em parte devido ao combustível e ao botijão. Diferentemente das lareiras, aqui não existem modelos a etanol.

3.4.4 Maçaricos

Aqui serão analisados maçaricos de pequeno porte e industriais. Os maçaricos de pequeno porte utilizam normalmente butano/propano como combustível com preço variando de R\$ 30 a R\$ 200. Normalmente são utilizados em aplicações culinárias.

Existem também maçaricos para uso comercial/industrial. Estes podem ser divididos em duas categorias: baixa temperatura e alta temperatura (queima com oxigênio puro)

Os maçaricos de baixa temperatura utilizam gases como butano/propano, GLP e MAPP (mistura de metilacetileno e propadieno) e são utilizados em processos de brasagem para união de tubos de cobre e aço, podendo também ser utilizados para fins culinários. Normalmente são mais portáteis, mas também há modelos que podem ser acoplados diretamente ao botijão que custam a partir de R\$ 30.

Figura 3.9 - Maçaricos de baixa temperatura (BENZOMATIC, 2013)

Modelo: TS7000, Benzomatic

Potência: 3,6 kW

Peso: 0,545 kg (aparelho) + 0,400 kg (combustível)

Dimensões: 275 mm (comprimento) x 90 mm (largura) x 30 mm (altura)

Autonomia: 1,7 h

Ignição: Piezoelétrico

Valor: R\$ 254

Combustível: Cilindro de Gás MAPP (400g), R\$ 32

Os maçaricos de alta temperatura utilizam gases como MAPP, Acetileno e GLP para processos de corte e solda de metais, utilizando oxigênio puro na combustão para atingir temperaturas mais altas. Necessitam de 2 botijões sendo um do oxigênio e um do combustível. O maior peso dos aparelhos está concentrado nos 2 botijões. O uso do etanol neste dispositivo eliminaria carregar um botijão, mas o de oxigênio deveria possuir uma solução particular. O maçarico em si pode ser encontrado a partir das R\$ 150, sendo necessária a aquisição de outros dispositivos como mangueira, válvulas de controle, válvula anti-retrocesso de chama e reguladores de gases.

Figura 3.10 - Componentes básicos de maçaricos de alta temperatura (HOW STUFF WORKS, 2008)

Observa-se que os combustíveis utilizados como acetileno, MAPP e, butano/propano (vendidos separadamente) são combustíveis mais caros, além de necessitar aquisição em pontos específicos.

3.4.5 Fogão Portátil

Normalmente apresentam de uma a duas bocas. Os meios energéticos que podem ser utilizados são GLP, propano/butano, eletricidade ou etanol. Os custos normalmente são bem

baixos indo de R\$ 50,00 a R\$ 200,00. Apresentam baixa potência, inferiores a 3 kW por queimador.

Como já foi visto, os modelos a etanol disponíveis no mercado são utilizados em diferentes países da África em substituição a combustão de lenha e carvão vegetal. Além disso, são muito utilizados em aplicações de *camping* sendo muitas vezes produzidos artesanalmente. Apresentam baixa potência, pelo método de combustão utilizado, e necessidade de ignição com fósforos.

Os fogões portáteis podem ser utilizados em feiras de rua, podendo também, serem levados à mesa para preparo imediato.

3.4.6 Isqueiros

Os isqueiros descartáveis normalmente utilizam gás butano como combustível. Em isqueiros recarregáveis, o fluido de isqueiro normalmente é formado por derivados de nafta.

As propriedades do etanol são próximas aos fluidos de isqueiros produzidos pela *Ronson®* e *Zippo®*, conforme pode se observar abaixo.

Tabela 3.18 - Propriedades de fluidos de isqueiro em comparação com etanol

Características	Unidades	Ronson (2000)	Zippo (2010)	Etanol anidro
Ponto de fulgor	°C	4	<23	13
Temperatura de auto ignição	°C	230	n.d.	366
Temperatura de vaporização (1 atm)	°C	100-155	>32	78,3
Limite Inferior de Inflamabilidade	%	0,9	0,85	3,3

A chama em isqueiros recarregáveis se dá na superfície de um meio poroso e alimentação da chama se dá por difusão e evaporação do fluido neste meio. A ignição é feita por meio de uma roda de ignição que gera uma faísca entre um cristal e um metal. A sua combustão produz um odor característico, o que diminui a sua aceitação no acendimento de charutos e cachimbos.

Teoricamente, o etanol pode substituir com nenhuma ou pouca modificação os isqueiros recarregáveis, trazendo benefícios como custo menor e diminuição de odor na combustão. Para isqueiros descartáveis, a substituição é mais difícil devido ao uso do butano, que é um gás na pressão e temperatura ambiente.

3.4.7 Seleção de melhor aplicação para o etanol

Diferentemente do item 3.2, cujo foco era na seleção do insumo energético, esta seleção apresenta um foco no equipamento e as vantagens que o etanol poderia trazer para o consumidor.

Para tanto, os critérios de seleção do insumo energético foram detalhados para que se consiga diferenciar as vantagens e também foram criados outros critérios que poderiam diferenciar os equipamentos e seus combustíveis. Com isso, obteve-se a seguinte lista de critérios. No **Apêndice C**, estão descritos em detalhe os critérios utilizados.

- peso
- estética
- volume do aparelho
- operação de adição de insumo energético
- aquisição de insumo energético
- variação de potência
- consumo de insumo energético
- potência máxima
- geração de fuligem/odor
- segurança
- facilidade de limpeza
- facilidade de ignição
- investimento no equipamento
- facilidade de manutenção
- facilidade de instalação

Abaixo, na tabela 3.19, podem ser vistos em detalhes os comparativos entre os combustíveis utilizados e aspectos importantes na seleção de cada equipamento pelo consumidor, ressaltando as vantagens de cada insumo energético.

Continua

Tabela 3.19 - Comparativo de insumo energético por equipamento

Nota: “+”significa vantagem do respectivo insumo energético; quando “=” está marcado para ambos combustíveis, não há diferença significativa

Aquecedor de áreas externas	etanol	GLP P-13	
peso	+		
estética	+		
volume do aparelho	+		
facilidade de adição de insumo energético	=	=	
facilidade de aquisição de insumo energético	+		
variação de potência	=	=	
consumo de insumo energético		+	
potência máxima	+		
geração de fuligem/odor	=	=	
segurança	=	=	
facilidade de limpeza	=	=	
facilidade de ignição		+	
investimento no equipamento		+	
facilidade de manutenção	=	=	
facilidade de instalação	=	=	
Lareira	etanol	GLP/GN	lenha
peso	=	=	=
estética	=	=	=
volume do aparelho	=	=	=
facilidade de adição de insumo energético	=	=	
facilidade de aquisição de insumo energético	+		
variação de potência	=	=	
consumo de insumo energético		+	
potência máxima	=		=
geração de fuligem/odor	=	=	
segurança	=	=	
facilidade de limpeza	=	=	
facilidade de ignição		+	
investimento no equipamento			+
facilidade de manutenção			+
facilidade de instalação			+

Tabela 3.19 - Comparativo de insumo energético por equipamento

Churrasqueira	etanol	GLP (P-5)	carvão vegetal
peso	=		=
estética	+		
volume do aparelho	+		
facilidade de adição de insumo energético	=	=	
facilidade de aquisição de insumo energético	+		
variação de potência	=	=	
consumo de insumo energético	+		
potência máxima	=		=
geração de fuligem/odor	=	=	
segurança	=	=	
facilidade de limpeza	=	=	
facilidade de ignição		+	
investimento no equipamento			+
facilidade de manutenção			+
facilidade de instalação			+
Maçarico	etanol	GLP (P-2 e P-5)	butano
peso			+
estética			+
volume do aparelho			+
facilidade de adição de insumo energético			+
facilidade de aquisição de insumo energético	=		=
variação de potência	=	=	=
consumo de insumo energético	+		
potência máxima	=	=	=
geração de fuligem/odor	=	=	=
segurança	=	=	=
facilidade de limpeza			+
facilidade de ignição		+	+
investimento no equipamento		+	+
facilidade de manutenção		+	
facilidade de instalação		+	+

Tabela 3.19 - Comparativo de insumo energético por equipamento

Fogão portátil	etanol	GLP (P-2 e P-5)	butano
peso	=		=
estética	=		=
volume do aparelho	=		=
facilidade de adição de insumo energético	=		=
facilidade de aquisição de insumo energético	+		
variação de potência	=	=	=
consumo de insumo energético	+		
potência máxima	=	=	=
geração de fuligem/odor	=	=	=
segurança	=	=	=
facilidade de limpeza	=	=	=
facilidade de ignição		+	+
investimento no equipamento	+		
facilidade de manutenção	=	=	=
facilidade de instalação	=	=	=
Isqueiro	etanol	fluido de isqueiro	butano
peso			+
estética	=	=	=
volume do aparelho	=	=	=
facilidade de adição de insumo energético	=	=	
facilidade de aquisição de insumo energético	+		
variação de potência			+
consumo de insumo energético	+		
potência máxima	=	=	=
geração de fuligem/odor	=		=
segurança	=	=	=
facilidade de limpeza	=	=	=
facilidade de ignição		+	+
investimento no equipamento	=	=	=
facilidade de manutenção	=	=	=
facilidade de instalação	=	=	=

Pode-se observar que as aplicações que apresentam diferenças significativas do etanol frente aos outros combustíveis em mais de 2 critérios estabelecidos são as abaixo.

- Aquecedor de áreas externas
- Churrasqueira
- Fogão portátil

As aplicações que apresentam diferenças significativas do etanol em até 2 critérios são as seguintes:

- Isqueiro
- Lareira

A aplicação, que apresenta clara desvantagem do etanol pelas diferenças significativas dos outros combustíveis frente ao etanol, é a seguinte:

- Maçarico

Desta maneira, pode-se dizer que as aplicações com maior viabilidade para uso do etanol são aquecedor de áreas externas, churrasqueira e fogão portátil. Utilizando-se os critérios de seleção pelo investidor como critério de desempate, verifica-se que a churrasqueira apresenta claramente um volume maior de mercado em relação às duas soluções. Além disso, no critério inovação, o fogão portátil apresenta uma clara desvantagem por já existir uma solução com etanol para este mercado. Por este motivo, a aplicação selecionada para utilização do etanol é a **churrasqueira**.

Tabela 3.20 - Comparativo entre as soluções com critérios do investidor

	Critérios de seleção do investidor			
	Abrangência da solução	Inovação	Volume	
equipamento\pesos	33%	33%	33%	Ponderação
aquecimento de áreas externas	3	4	2	3,00
churrasqueira	3	4	3	3,33
fogão portátil	4	2	2	2,67

O etanol conseguirá impactar o equipamento na estética e volume (configurações mais compactas poderão ser construídas, prescindindo de espaço para queima para carvão e do botijão de GLP), na facilidade de compra de combustível (GLP e carvão devem ser comprados em lojas específicas, ao contrário do etanol que pode ser comprado em qualquer posto de combustível), na adição de combustível (não necessita de troca de botijão ou de despejo de carvão), consumo de combustível (etanol é mais barato do que o carvão vegetal para consumidor final ou do que o GLP em botijões pequenos) e potência máxima (a potência do GLP é limitada pela capacidade de evaporação do combustível e o carvão apresenta um atraso até conseguir a máxima potência).

3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE APLICAÇÕES ACIMA DE 50 kW

Apesar de não serem o foco do trabalho, possíveis soluções com potências acima de 50 kW foram analisadas.

No âmbito industrial, exceto em algumas aplicações modulares como caldeiras, o projeto do queimador possui uma relação muito grande com o processo. Em algumas aplicações industriais específicas, os queimadores a etanol poderiam ser utilizados, principalmente nas indústrias que são grandes consumidoras ou fabricantes de etanol. Nestas aplicações, o etanol poderia apresentar um custo inferior a de outras formas de energia devido ao alto volume comprado ou custo de produção inferior a outros combustíveis, além de apresentar riscos de uso do etanol já inerentes ao próprio negócio.

As principais indústrias nas quais o etanol poderia ser utilizado em queimadores são:

- Usinas de açúcar e álcool:

Há alguns processos em que não se pode utilizar vapor gerado pela própria usina devido à baixa temperatura do mesmo ou a necessidade de uma troca de calor mais intensa. Um processo é a fabricação de H_2SO_4 a partir do enxofre em fornos específicos. Para a partida é necessária a utilização de combustível como óleo diesel ou gás, ou eletricidade para o pré-aquecimento do forno (HERMAN DE GROOT, 1991). O etanol poderia ser um substituto para este tipo de aplicação. Outra possível aplicação é na partida de caldeiras de bagaço de cana.

- Fabricante de polímeros de etanol e indústrias de bioplástico:

Atualmente, a maior parte da indústria petroquímica utiliza gás natural como combustível nos processos. A *Braskem*® atualmente vende polietileno produzido a partir de eteno obtido a partir do etanol.

O processo de fabricação do etileno a partir do etanol é uma reação de desidratação da molécula de etanol. Esta reação é endotérmica, utilizando um vapor de diluição para fornecer calor ou fluido de aquecimento. Além disso, o etanol deve ser vaporizado antes da reação. (DO CARMO et al., 2012).

Normalmente, utiliza-se vapor para aquecimento do reator, por meio da queima de gás natural como combustível, diminuindo a sustentabilidade do processo.

- Indústrias de bebidas alcoólicas, alimentícia (fabricação de vinagres, solventes de aroma), antissépticos, cosméticos, farmacêutica:

O etanol utilizado neste tipo de indústria é mais especificado que o etanol industrial ou etanol carburante (EMBRAPA, 2013), devendo-se avaliar a sua viabilidade econômica. O etanol poderia ser utilizado como combustível em secadores e para geração de vapor para lavagem, pasteurização, cocção e destilação.

- Indústria de produtos de limpeza:

Esta indústria utiliza etanol industrial, que apresenta características e preços similares ao etanol combustível, como pode se observar abaixo. Assim, o etanol poderia ser utilizado como combustível em vários processos industriais.

Figura 3.11 - Preços do etanol hidratado por tipo - 01/2008 a 03/2013 (CEPEA, 2013)

- Indústria de tintas, solventes, vernizes, cloral (utilizado na produção DDT)

Este tipo de indústria, em muitos casos, já adquire grande quantidade de derivados de petróleo utilizados na fabricação de seus produtos, podendo adquiri-los diretamente da refinaria. Por isso, o etanol pode apresentar desvantagens de preço devido ao grande volume de aquisições de derivados de petróleo.

- Indústrias próximas a dutos de etanol:

Empresas poderiam utilizar etanol transportado pelos dutos a serem construídos pela Logum (2012) (Empresa formada por: Camargo Corrêa Construções e Participações (10%), Coopersucar (20%), Raizen (20%), Odebrecht Transporte Participações (20%), Petrobrás (20%) e Uniduto Logística (10%)). Apesar do foco do duto de etanol ser a sua exportação, os valores provavelmente seriam competitivos em relação ao gás natural ou óleo diesel, principalmente para os próprios associados.

4 PROJETO DA APLICAÇÃO

Para a produção do protótipo da churrasqueira a etanol, mostra-se necessária a seleção de qual tipo de queimador será utilizado.

4.1 TIPOS DE QUEIMADORES

Basicamente, existem duas maneiras de queimar um combustível líquido: vaporização do combustível ou pela pulverização (SAN JOSÉ ALONSO et. al., 2012).

Quando os fluidos são vaporizados, estes podem ser divididos em 3 grandes grupos, conforme o modo de mistura do ar com o combustível (BIZZO, 2013):

- Queimadores com pré-mistura: nestes queimadores o combustível se mistura ao ar primário antes da ocorrência da combustão, normalmente com o uso de Venturi que arrasta o ar. Normalmente são utilizados em queimadores de pequeno porte pela grande possibilidade de retorno de chama. Apresentam uma menor possibilidade de variação de potência.
- Queimadores com chama de difusão: nestes queimadores o ar secundário é arrastado pelo combustível. Apresentam uma tendência de apagamento de chama antes que ela possa carregar uma quantidade significativa de ar. Por isso, são utilizados estabilizadores de chama ou recirculação que permitem o aquecimento da base da chama. São normalmente utilizados em queimadores de pequeno porte.
- Queimadores com bicos de mistura: nestes queimadores o combustível e o ar são injetados dentro da câmara de combustão. Neste tipo de queimador não há nenhuma possibilidade de retorno da chama e são utilizados em queimadores de grande porte.

Quando é realizada a pulverização do combustível, esta pode ser feita de 3 formas (BIZZO, 2013) (SAN JOSÉ ALONSO, 2012):

- Jato de pressão: nestes queimadores, são produzidas gotículas de combustível pela passagem do combustível pressurizado em um pequeno orifício. Se o tamanho de gota tiver que ser

mantido, este queimador não possui grande flexibilidade. Pode ser empregado mais de um jato para se aumentar a flexibilidade de potência. Outros métodos para se modular a potência sem alterar o tamanho de gota são recircular o fluido ou ter um pulverizador com orifício variável. Outro aspecto a ser considerado é a necessidade de filtro do combustível dependendo do tamanho de gota necessário.

Figura 4.1 - Pulverizador de jato de pressão (BIZZO, 2013)

- Pulverizador de 2 fluidos: neste caso, o jato de combustível é cortado por fluido auxiliar. A velocidade relativa dos fluidos é o que determina o tamanho das gotículas. A modulação de potência é facilitada e é menos suscetível ao entupimento de filtros. Normalmente é utilizado para líquidos de alta viscosidade como óleos combustíveis. O fluido auxiliar normalmente é ar que pode estar a baixas pressões (0,5-1,0 bar), médias (0,5-1,5 bar) ou elevadas ($> 1,5$ bar). A pressões elevadas, vapor também é utilizado. O uso de vapor é restrito a grandes instalações onde ele esteja disponível. Pulverizadores a ar são mais comuns em instalações de pequeno porte.

Figura 4.2 - Pulverizador a 2 fluidos (BIZZO, 2013)

- Copo rotativo: neste tipo de queimador, combustível é introduzido para o centro de um copo que gira a 5.000 rpm. À medida que o combustível é arremessado para as paredes, é pulverizado pela corrente de ar primário. São muito utilizados nas indústrias de cimento e cal, para grandes potências.

Figura 4.3 - Copo rotativo (BIZZO, 2013)

Abaixo, observa-se a tabela 4.1 em que estão resumidas as principais características dos queimadores aplicados a combustíveis líquidos:

Tabela 4.1 - Comparativo de queimadores de líquidos (SAN JOSÉ ALONSO, 2012)

Tipo de queimador		Princípio	Pressão do combustível no bico (atm)	Máxima viscosidade no bico (mm ² /s)	Variação de potência	Consumo de fluido (kg fluido/kg comb.)	Pressão de fluido auxiliar (atm)	Energia requerida por kg comb.
Evaporação		Térmico	0	6,2	Não	Não	Não	>>0,05
Pulverização	Injeção direta	Pressão	14-20	50-59	1:1,2	Não	Não	0,05
	Injeção com retorno		20-30		1:3			>0,05
	Fluido auxiliar	Vapor a alta pressão	0,5-12	75-118	1:6	0,1-0,15 ^a 0,2-0,3 ^b	0,5-10	0,1-0,15
		Pressão de fluido auxiliar	20	50-59	1:10	0,03 ^c 0,06 ^d	Ar 1,5-6 Vapor 3-10	0,07
		Ar a alta pressão	0,7-7	59-118	1:5	0,3	1,5-8	0,1-0,15
		Ar a média pressão	0,1-1,5	50-118	1:5	0,4-0,5	0,5-1,5	0,08-0,1
		Ar a baixa pressão	0,1-0,5	50-118	1:5	15-30% ar de comb.	0,5-1	0,08-0,15
	Copo rotativo	Força centrífuga	0	59-118	1:4	10-15 ar de comb.	0,25-0,3	0,07

(a) para vapor a 7-10 atm; (b) para pressão de vapor abaixo de 7 atm; (c) com ar comprimido a 6 atm; (d) com vapor a 6-8 atm

Além destes modelos, há os queimadores porosos que podem ser utilizados para a combustão de fluidos gasosos ou líquidos. Nestes queimadores, a combustão ocorre dentro de um meio poroso e a vaporização do combustível líquido ocorre dentro do próprio queimador. A principal aplicação atual é em queimadores infravermelhos, cuja transferência de calor se dá em grande parte por radiação.

Figura 4.4 - Queimadores por radiação (BIZZO, 2013)

A grande vantagem é a maior estabilidade de chama, podendo-se variar a vazão de ar e de combustível, modulando-se a potência. Além disso, os limites de inflamabilidade são

ampliados, a ignição é facilitada e as emissões de NO_x e CO são diminuídas em virtude da combustão mais homogênea. Este tipo de queimador é utilizado preferencialmente com pré-mistura com poucas aplicações de chamas de difusão. (ABDUL MUJEEBU et al., 2009)

Algumas desvantagens do uso deste tipo de queimador são: os limites de temperatura impostos pelo material utilizado como meio poroso, a pureza necessária no ar de admissão e no combustível para se evitar o entupimento da superfície do queimador, o fato do queimador poder ser danificado quando em contato com água ou outras substâncias, a possibilidade de ocorrência de retorno de chama e a maior perda de carga no queimador, necessitando de sistemas de alimentação de ar conforme o caso. (BAUKAL, 2000)

Outro tipo de queimador é o do tipo *pool fire*. É utilizado com combustível líquido, sendo que a combustão ocorre na superfície do fluido. Como já foi visto, este tipo de queimador é utilizado em lareiras e fogões portáteis a etanol, para baixas potências.

A queima do combustível neste tipo é dependente da razão de aspecto do queimador, modo de troca de calor e pressão atmosférica. (TU et al, 2013)

Figura 4.5 - *Pool fire* e influência da razão de aspecto (TU et al., 2013)

Resumindo, as alternativas para combustão do etanol são as seguintes:

- vaporização e pressurização do etanol
- pulverização

- *pool fire*
- queimador poroso em combinação com as alternativas acima

4.2 SELEÇÃO DO QUEIMADOR

A princípio, o etanol poderia ser vaporizado e pressurizado, uma vez que, diferentemente de combustíveis fósseis líquidos, o seu ponto de ebulição não varia. Para uma aplicação portátil, para vaporização e pressurização do etanol seria consumida uma potência de 340 W sem perdas para um queimador de 7,7 kW (**Apêndice D**). Além disso, seria necessária a implementação de um sistema para vaporizar o combustível e controlar a vaporização.

O queimador tipo *pool-fire* também não seria o mais adequado devido às baixas potências obtidas.

Outra possibilidade é a pulverização. Um modelo de pulverizador necessitaria de no mínimo 0,05 kWh/kg de combustível (vide tabela 4.1). Para uma potência de 7,7 kW, a potência necessária para pressurizar o combustível seria de 53 W. Um sistema gravitacional não conseguiria fornecer esta potência para pressurizar isoladamente, sendo necessária uma bomba para se manter o sistema em funcionamento. Porém, seria 85% menor que a potência para vaporizar o etanol. Além disso, não há necessidade de um sistema de controle como na vaporização do combustível.

Por isso, o modelo de queimador escolhido foi o do tipo pulverizador. Deste tipo de queimador foi utilizado o de injeção com retorno, uma vez que possibilita um maior controle da pressão no bico pulverizador.

Para a solução escolhida (churrasqueira), há a necessidade de um queimador radiante em conjunto para se conseguir altas taxas de transferência de calor ao alimento, cozinhando-o de maneira adequada. O único tipo de queimador que se encaixa é um queimador poroso. Este tipo de queimador é utilizado em algumas churrasqueiras tipo “frangueira” para se conseguir uma alta taxa de transferência de calor por radiação.

4.3 QUEIMADORES POROSOS COM COMBUSTÃO DE LÍQUIDOS JÁ DESENVOLVIDOS

O uso de queimadores porosos com combustíveis líquidos é incipiente, com poucos estudos experimentais e numéricos já realizados, em comparação com combustíveis gasosos (KAYAL e CHAKRAVARTY, 2006). O primeiro experimento documentado foi realizado por Kaplan e Hall (1995), no qual foram testados diversos materiais porosos, utilizando heptano e um queimador tipo pulverizador. Com uso de bico injetor automotivo, Hall e Peroutka (1995) testaram o uso de metanol em um queimador poroso, não conseguindo alcançar a vaporização e combustão completa do metanol, por causa do seu alto calor latente de vaporização.

Figura 4.6 - Queimador poroso com pulverizador (KAPLAN; HALL, 1995)

Howell et al. (1996) realizaram experimentos que mostram os efeitos do meio poroso em taxas de reação, limites de inflamabilidade e estabilização de chamas e discutiram abordagens para se prever perfis de temperatura, concentração de espécies e eficiência radiante. Comparando-se com estes resultados, foi desenvolvido por Martynenko et al. (1998) o primeiro modelo numérico simplificado de combustão de líquidos em meios porosos.

Kayal e Chakravarty (2005; 2006; 2007) e Zhao e Xie (2008) desenvolveram modelos numéricos mais sofisticados para simulação de combustão de líquidos em meios porosos.

Deve-se salientar que estes modelos foram desenvolvidos para experimentos específicos e precisam de mais validações para outros experimentos.

Outro experimento físico foi desenvolvido por Vikaykant e Agrawal (2007) com intuito de se diminuir as emissões de poluentes na combustão de querosene, na mesma linha do trabalho de Kaplan e Hall (1995).

Com intuito de simplificar o processo de combustão, foi desenvolvido por Takami et al. (1998) um processo de combustão em meio poroso em que o líquido é gotejado sobre o meio poroso e não pulverizado. Deste modo não há necessidade de um sistema de alimentação do combustível. Jugjai et al. (2002), Jugjai e Polmart (2003), e Jugjai e Phothiya (2007) também desenvolveram combustão em meios porosos com alimentação de combustível por gotejamento. Chegou-se a cogitar a utilização de alimentação de combustível por gotejamento no presente trabalho, mas, devido à grande variação de temperatura a qual o sistema estaria sujeito, que implicaria em uma grande variação de viscosidade do etanol e consequentemente em uma grande variação de vazão de gotejamento, este sistema não foi utilizado.

Fuse et al. (2005), na mesma linha de retirar o pulverizador, desenvolveu um sistema com um oscilador ultrassônico que pressuriza uma piscina de etanol, forçando a passagem deste por um meio poroso.

A literatura apresenta poucos casos para aplicação prática de combustão de líquidos em meios porosos, podendo ser citados os estudos de Trimis et al. (2013) e Brehmer et al. (2013). No primeiro caso o foco é o desenvolvimento de um queimador industrial com pré-vaporização do óleo diesel com alta modulação (2-23 kW de potência). No segundo, o foco é o desenvolvimento de um queimador para calefação também com pré-vaporização do óleo e alta modulação.

No Brasil, pode-se citar Dantas (2010), que realizou experimento de combustão de glicerina com GLP em um queimador infravermelho comercial em proporções de até 25% em vazão mássica, com combustão estável, atendendo limites de emissões de gases poluentes.

4.4 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO

a) Sistema de queima

Um aspecto relevante para combustão em meio porosos é referente à seleção de materiais para a utilização. Inicialmente, foram utilizados queimadores de frangueiras pelo

seu baixo custo, construídos com material metálico e cerâmico. Outra questão avaliada foi a capacidade dos queimadores de se aproximar do modelo de troca térmica das churrasqueiras a carvão vegetal.

Para tanto, foi feita uma análise qualitativa utilizando GLP como combustível em queimadores radiantes por meio de um protótipo do conceito elaborado pelo autor. Este protótipo foi elaborado modificando uma “frangueira” modelo PRR-051N da *PROGÁS®* para o conceito de uma churrasqueira convencional como pode se observar na figura 4.7 abaixo.

Figura 4.7 - Protótipo conceitual com GLP

A frangueira foi montada horizontalmente e seus 2 queimadores desmontados. Os 2 queimadores foram reposicionados na horizontal, obliquamente ao alimento para se evitar o respingo de resíduos do alimento na sua superfície e para se aumentar a troca por radiação. A potência de cada queimador era de 2.250 kcal/h (2,617 kW). Foi avaliado qualitativamente que esta potência era baixa (total de 5,2 kW), uma vez que o cozimento da carne foi homogêneo, o que não é o ideal neste caso, como pode se observar na figura 4.8 abaixo.

Figura 4.8 - Cozimento do alimento no protótipo conceitual com GLP

Isso direcionou o projeto para o aumento de potência do projeto. A intenção foi aumentar a taxa de troca de calor para se aproximar da churrasqueira a carvão (potência total estimada de 10-20 kW). Com isso, foram escolhidos inicialmente 2 queimadores *Jackwal*® de 5.500 kcal/h cada (6,397 kW) para GLP.

Na configuração final, as placas cerâmicas dos queimadores *Jackwal*® foram posicionadas sobre uma câmara de combustão cilíndrica formada pela união de duas luvas de 4" de aço galvanizado (queimador estreito). Para se chegar a potência desejada, foram utilizados 4 queimadores estreitos. Foi testado também um queimador com as mesmas placas cerâmicas posicionadas sobre uma câmara de combustão cilíndrica formada pela união de duas painéis de cozinha de 160 mm de diâmetro (queimador largo).

Na configuração final, foi utilizado também um sistema de aquecimento do queimador. Este sistema não será mostrado uma vez que se encontra em fase de análise de viabilidade de um pedido de patente; a publicação das soluções impediria o registro da patente.

Para início da combustão, foi utilizado um maçarico de gás butano.

b) Sistemas de alimentação de combustível

Foi utilizado um sistema de pulverização de combustível com retorno, uma vez que permite variar a vazão sem reduzir a pressão de pulverização no bico pulverizador. Foram testados bicos pulverizadores de 0,25 GPH (galões por hora; 1 galão equivale a 3,758 litros) e 0,4 GPH para óleo diesel. O dimensionamento inicial do sistema encontra-se no **Apêndice F**.

A bomba de combustível utilizada foi de motocicletas *Honda*® *flex* devido ao baixo custo e confiabilidade. Esta não seria a ideal, uma vez que a pressão de trabalho gira em torno

de 3 bar, enquanto os bicos injetores são dimensionados para 7 bar ou mais. Foi utilizada então a pressão de 4 bar, uma vez que se constatou que esta era a pressão mínima para que não acontecesse gotejamento no bico pulverizador. Além disso, pressões maiores levariam a vazões maiores que a necessária para o queimador, além de possivelmente comprometer a durabilidade da bomba. O controle da pressão foi realizado com o uso de uma válvula de retorno.

Bomba de combustível do tipo engrenagens utilizada em sistemas de injeção de óleo diesel não puderam ser utilizadas, uma vez que o próprio óleo lubrifica a bomba, o que não aconteceria com o etanol. Bombas dosadoras poderiam ser utilizadas, porém seu alto custo inviabilizaria sua aplicação final.

Foram utilizados regulador de pressão, filtro de combustível e conexões de combustível da própria *Honda*®, além de conexões para ar comprimido de ¼” e ½”.

c) Sistemas de alimentação de ar

Foi testado inicialmente um sistema de ventilação forçada utilizado em sopradores portáteis para secagem de pintura devido ao seu baixo custo e confiabilidade, porém a vazão foi muito baixa. Posteriormente, foi utilizado um soprador para jardinagem que possibilitou uma vazão adequada.

Foram utilizadas conexões e tubulação de 1 ¼” e 2” de PVC e aço galvanizado (próximo ao queimador) para água devido ao baixo custo e facilidade de montagem.

d) Sistemas de medição

O medidor de vazão de ar utilizado foi do tipo rotâmetro, por apresentar pouca perda de carga e precisão adequada com custo reduzido. Foram adquiridos 2 rotâmetros para acomodar diferentes vazões uma vez que a calculada inicialmente foi super estimada. Para medição de consumo de combustível, o método escolhido foi do tipo gravimétrico (balança), uma vez que medidores para pequenas vazões de líquido apresentam custo elevado.

As pressões foram verificadas com manômetros tipo bourdon. Para medição de temperatura da placa cerâmica do queimador, foi utilizado um medidor portátil tipo K.

Foi utilizado um medidor portátil tipo eletroquímico para medição do percentual de O₂ e CO dos gases de combustão para se compreender melhor a qualidade de combustão. Deve-se salientar que medições padronizadas de gases de combustão exigiriam retirada de umidade

dos gases de combustão, uso de coifa de medição e gases de calibração, além de um medidor com maior repetibilidade como um medidor tipo infravermelho. Porém, devido ao alto investimento necessário, estas soluções não foram implementadas. Desta forma, para as medições realizadas, foram mostradas somente as ordens de grandeza, sem cálculo das incertezas.

Conforme modelo esquemático na figura 4.9 abaixo, pode se observar como é o modelo da churrasqueira na sua configuração final. Os componentes utilizados estão listados na tabela 4.2 abaixo.

Figura 4.9 - Modelo de protótipo de churrasqueira a etanol

Tabela 4.2 - Especificação dos componentes

	Componente	Descrição
Sistema de alimentação de ar	SO-01	soprador linha profissional 1,2-2,9 m ³ /min, ref: Makita
	MP-01	manômetro tipo bourdon, ar, 0-1 bar
	VC-01	válvula de controle tipo gaveta, 1 1/4", latão
	VE-01/02/03/04/05/06/07/08/09	válvula esfera, 1 1/4", PVC
	MV-01	rotâmetro, ar, 0-0,2 bar, 1-10 m ³ /h
	MV-02	rotâmetro, ar, 0-0,2 bar, 6-60 m ³ /h
Sistema de alimentação de combustível	BA-01	balança semi-analítica, 0-4 kg, resolução 0,01 g
	BO-01	bomba de motocicleta, Honda CG 150 Mix, ref: Magnetron
	FC-01	filtro de combustível, Honda CG 150 Mix
	RP-01	regulador de pressão, Honda CG 150 Mix
	FA-01	fonte de alimentação, 5 Amperes, 12 Volts
	MP-02	manômetro tipo bourdon, 0-10 bar
	VE-10/11/12/13/14	válvula esfera, 1/2", aço
	VC-02	válvula de controle tipo agulha, 1/4", aço
	BP-01/02/03/04	bico pulverizador, 60°, 0,25 GPH, cone sólido, ref: Steinen
Sistema de queima	QU-01/02/03/04 (queimador estreito)	diâmetro de 115 mm, comprimento de 230 mm, placa de cerâmica JackWal
	QU-05 (queimador largo)	diâmetro de 160 mm, comprimento de 260 mm, placa de cerâmica JackWal
	MT-01	tipo K, -50-1300 °C, portátil, ref: Kiltler
	AG-01	Analizador de gases eletroquímico (CO e O ₂), portátil, ref: UEi C75

Nas figuras 4.10 e 4.11 abaixo, pode se observar a instalação na sua configuração final.

Figura 4.10 - Modelo na sua configuração final

Figura 4.11 - Queimadores estreitos na sua configuração final em funcionamento

Foram gastos, no total, por volta de R\$ 22 mil de recursos próprios do autor para aquisição de equipamentos e materiais de consumo.

5 RESULTADOS OBTIDOS

5.1 CONFIGURAÇÕES TESTADAS

Foi realizada uma série de testes com diferentes configurações de queimadores e bicos pulverizadores até se chegar na configuração final. Na tabela 5.1, resumem-se os testes que foram realizados.

Continua

Tabela 5.1 - Configurações testadas

Configuração	Bico pulverizador	Tipo de queimador	Variação na configuração	Descrição da chama	Grau de gotejamento	Comentários
1	0,4 GPH - 45° - cone oco	original modificado - entrada inferior		interna e externa	+++	
2	0,4 GPH - 45° - cone oco	original modificado - entrada lateral		interna, externa e superfície do queimador (não-uniforme)	+++	
3	0,4 GPH - 45° - cone oco	curto e estreito		superfície, mais concentrada	+++	
4	0,4 GPH - 45° - cone oco	curto e largo		superfície, mais concentrada	+++	
5	0,25 GPH - 60° - cone sólido	curto e estreito		superfície, menos concentrada	++	
6	0,25 GPH - 60° - cone sólido	curto e largo		superfície, mais concentrada	++	
7	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e estreito		superfície, uniforme	+	
8	0,25 GPH - 45° - cone sólido	longo e estreito		superfície, uniforme	+	
9	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e largo		superfície, uniforme	+	
10	0,25 GPH - 45° - cone sólido	longo e largo		superfície, uniforme	+	
11	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e estreito	pressão maior (5 bar) na vazão de combustível - tubo de alimentação de ar de 1 1/4"	superfície, uniforme	+	
12	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e estreito	placas cerâmicas com 11 cm de espaçamento	chama azul concentrada na primeira placa	+	

Continuação

Tabela 5.1 - Configurações testadas

Confi- guração	Bico pulverizador	Tipo de queimador	Variação na configuração	Descrição da chama	Grau de gotejamento	Comentários
13	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e estreito	sistema de aquecimento tipo 1	superfície, uniforme	zero	vazão de ar estável de 2,6 a 3,2 m³/h
14	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e largo	sistema de aquecimento tipo 1	superfície, uniforme	zero	vazão de ar estável de 4,0 a 6,2 m³/h
15	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e estreito	sistema de aquecimento tipo 2 menor capacidade	superfície, uniforme	+	
16	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e estreito	sistema de aquecimento tipo 2 maior capacidade	não verificado	não verificado	derretimento da mangueira
17	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e estreito	sistema de aquecimento tipo 1 - 4 queimadores, outro fornecedor de mangueira	superfície, uniforme	zero	sobreaquecimento da mangueira
18	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e estreito	sistema de aquecimento tipo 1 - 4 queimadores, mesmo fornecedor de mangueira (lote diferente)	superfície, uniforme	zero	sobreaquecimento da mangueira
19	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e estreito	sistema de aquecimento tipo 1 modificado - 4 queimadores	superfície, uniforme	+	
20	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e estreito	sistema de aquecimento tipo 1 - tubulação de combustível metálica - 4 queimadores	superfície, uniforme	zero	sobreaquecimento da mangueira
21	0,25 GPH - 60° - cone sólido	longo e estreito	sistema de aquecimento tipo 1 - tubulação de combustível metálica alongada - 4 queimadores	superfície, uniforme	zero	

Tendo em vista manter o custo de componentes e de investimento futuro baixo, foram testados inicialmente um queimador original de potência de 5.500 kcal/h (6,397 kW) para GLP e um bico injetor de 0,4 GPH (mínimo disponível no mercado).

O queimador foi modificado para possibilitar os testes com combustível líquido, sendo que direcionadores de fluxo internos foram retirados. Foram testadas entradas de ar lateral e inferior ao queimador.

Com entrada inferior, o queimador apresentou dois modos de queima conforme a vazão de ar: chama interna e chama externa, não apresentando a chama na superfície do queimador como esperado.

Com entrada lateral, o queimador apresentou 3 modos de queima: chama interna, chama externa e chama na superfície. Porém, a chama na superfície se mostrou instável e apenas em parte da superfície do queimador, com gotejamento de combustível, indicando combustão incompleta. Este gotejamento de combustível não é desejável, uma vez que provoca incêndios no sistema de combustão; inclusive, durante os testes das configurações, ocorreram vários incêndios, que exigiram a troca constante de peças utilizadas e remontagem do protótipo.

Figura 5.1 - Configurações 1 e 2 (entrada inferior e lateral no queimador original)

Com este resultado negativo, foi montada uma câmara de combustão cilíndrica utilizando uma luva de 4" de aço galvanizado. Foram posicionados sobre esta luva 2 placas de cerâmica (no queimador original são 4) e a tela de inox do queimador. Os testes atingiram o

modo ideal de chama, porém a vazão de combustível se mostrou elevada com elevado gotejamento de combustível; o dimensionamento original era para um bico de 0,4 GPH e previa o queimador original com 4 placas de cerâmicas e não com 2 placas de cerâmica como testado.

Figura 5.2 - Configuração 3 (queimador curto e estreito)

Deste modo, foram encomendados junto à fabricante *Steinen*® bicos pulverizadores de 0,25 GPH (mínimo disponível sob encomenda entre os fabricantes). Com intuito de se melhorar a distribuição da chama, ao invés de um bico pulverizador de cone oco testado inicialmente, foram encomendados bicos de cone sólido. Os testes com este bico pulverizador foram satisfatórios. Porém, o gotejamento de combustível ainda se mostrou considerável. Foi testado também um queimador mais largo, porém não houve diferenças significativas no gotejamento.

Tendo em vista que o gotejamento poderia ser causado pelo choque de gotas de etanol com a superfície porosa prematuramente sem uma mistura adequada ar-combustível, foram montados queimadores largo e estreito com o dobro do comprimento de câmara. Nesta configuração, o gotejamento de combustível foi bastante reduzido e a distribuição da chama se mostrou mais uniforme. Foram testados bicos com cone de ângulos de 45° e 60° e não houve diferenças significativas.

Nota: da esquerda para direita e de cima para baixo

Figura 5.3 - Configurações 7, 8, 9 e 10

Com intuito de reduzir o gotejamento, foram feitos testes aumentando a pressão do combustível e aumentando a velocidade do ar na entrada da câmara de combustão, além de posicionar uma placa cerâmica adicional para pré-aquecer o combustível. Porém, nenhuma destas alternativas solucionou o problema.

Este problema também foi relatado por Hall e Peroutka (1995), com o uso de metanol em um queimador poroso, não conseguindo alcançar a vaporização e combustão completa do combustível, por causa do seu alto calor latente de vaporização.

Tendo em vista estes aspectos, foram testadas duas configurações de aquecimento do queimador. As soluções não serão mostradas uma vez que está se verificando a viabilidade de um pedido de patente; a publicação das soluções impediria o registro da patente.

As soluções de tipo 2 não foram bem sucedidas, ou pela pouca capacidade ou pelo derretimento da mangueira e das vedações. A solução de tipo 1 foi bem sucedida inicialmente.

Então, o sistema foi escalonado para 4 queimadores estreitos; o queimador estreito foi selecionado uma vez que representaria um menor custo no produto final. Porém, quando foi feito o escalonamento com mangueira de combustível de outros fornecedores e com mangueira de combustível de outro lote do mesmo fornecedor, ocorreu o sobreaquecimento em algumas mangueiras. Com isso, uma série de soluções foi testada para reduzir a temperatura da mangueira; a solução final retirou qualquer tipo de aquecimento das mangueiras de combustível.

5.2 MEDIÇÃO DE POTÊNCIA E DE CO

Na sua configuração final, a vazão de combustível medida com uso da balança semi-analítica foi de $2,37 \pm 0,10$ kg/h. A vazão mássica real do queimador foi obtida, realizando a medição da massa inicial do recipiente do etanol e sistema de alimentação de combustível e após 1 minuto realizando uma nova medição. Com diferença de valores obtidos, corrigidos pela taxa de evaporação do etanol (obtida com medição da massa inicial do recipiente do etanol e sistema de alimentação de combustível com o sistema desligado e após 1 minuto realizando uma nova medição), obteve-se a vazão mássica real do etanol. Foram feitas várias medições possibilitando o cálculo da incerteza.

Esta vazão foi próxima ao valor dimensionado dentro da margem de incerteza (**Apêndice F**). Multiplicando-se pelo PCI do etanol, a potência obtida com os 4 queimadores foi de $16,4 \pm 0,9$ kW.

Para se compreender melhor a combustão, a planilha de dimensionamento inicial foi alimentada com os dados experimentais, conforme **Apêndice F**.

Foi verificado nos experimentos que a maior variação em relação ao dimensionado foi na vazão de ar, uma vez que, além de vazão de ar do soprador, ar externo é necessário para estabilizar a chama na superfície. Para o queimador estreito, por volta de 29% do ar é fornecido pelo soprador; o restante do ar de combustão é externo.

Em relação ao tamanho do queimador, nota-se que o queimador estreito acomoda uma menor vazão de ar ($2,6$ a $3,2$ m³/h) para se manter estável em relação ao queimador largo ($4,0$ a $6,2$ m³/h).

À medida que a vazão de ar do soprador é reduzida, a chama tende a se alongar da placa cerâmica, indicando uma maior necessidade de ar externo. Além disso, a placa cerâmica tende a se tornar menos radiante.

No limite superior de vazão de ar, temporariamente a placa cerâmica se torna mais radiante, porém, logo depois, a chama perde potência e se recolhe para dentro do queimador, com chama interna.

Com o uso de um analisador de gases, foram feitas medições de CO e O₂, em uma região superior em 20 cm ao centro do queimador. Posteriormente, a concentração de CO foi corrigida para um teor de O₂ de 3%, conforme equação 5.1 abaixo.

$$\text{Concentração}_{CO, corrigida} = \text{Concentração}_{CO, medida} * (20,9 - 3) / (20,9 - \text{Concentração}_{O_2, medida}) \quad (5.1)$$

O queimador estreito, com vazão de ar do soprador de 3 m³/h, para um percentual corrigido de O₂ de 3%, apresentou CO da ordem de 1.000 ppm, enquanto o queimador largo com vazão de ar de 5 m³/h da ordem de 400 ppm.

Provavelmente, as diferenças de CO entre o queimador largo e queimador estreito devem-se ao fato do largo apresentar um tempo de residência de gases maior e ser estável com uma maior vazão de ar do soprador, contribuindo para uma maior oxidação do CO.

Nos testes de Kaplan e Hall (1995) e Hall e Peroutka (1995), as emissões de CO para combustão de heptano foram da ordem de 10 ppm e para metanol foram da ordem de 5.000 ppm para 3% de O₂, respectivamente, sendo que na combustão de metanol houve gotejamento de combustível. Porém, nestes experimentos, com o uso de placas porosas empilhadas, a estabilidade da combustão foi obtida com excesso de ar do compressor, favorecendo a oxidação do CO.

Na configuração final, com 4 queimadores estreitos em funcionamento com uma vazão de ar de 12 m³/h, a churrasqueira apresentou emissões de CO da ordem de 1.500 ppm, com medição realizada em uma região superior em 20 cm ao centro da churrasqueira, nível maior do que o queimador individual. Provavelmente, deve-se ao fato de haver maior competição entre os queimadores para utilização do ar externo.

Para fins comparativos, foram feitas medições com a mesma metodologia em uma churrasqueira a carvão vegetal e em uma frangueira modelo PRR-051N da *PROGÁS®* utilizada no **Capítulo 4**. A primeira apresentou emissões de CO na ordem de 18.000 ppm, enquanto a frangueira apresentou emissões da ordem de 200 ppm. Assim, pode se inferir que a churrasqueira a etanol apresentou valores intermediários de emissões em relação às churrasqueiras disponíveis no mercado.

Para locais externos, a churrasqueira a etanol não apresentaria riscos, uma vez que, na posição do consumidor, o nível de CO está na ordem de 1 ppm para 20,9% de O₂.

5.3 TESTE QUALITATIVO

Foi realizado um teste qualitativo do protótipo para se avaliar se está adequado à sua aplicação. Tendo em vista o menor custo futuro de investimento e de material, foi testado o queimador estreito.

Figura 5.4 - Teste de Campo

Figura 5.5 - Cozimento da carne

Conforme pode ser observado, o cozimento da carne foi mais desuniforme, indicando um cozimento mais próximo de uma churrasqueira convencional, em comparação com o protótipo conceitual de GLP, testado inicialmente. Além disso, não apresentou paladar do combustível, como ocorre com churrasqueiras a carvão.

5.4 CONSIDERAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Tendo em vista que o protótipo apresentou performance adequada, as próximas etapas de desenvolvimento da churrasqueira seriam:

- desenvolvimento de sistema de ignição automática
- desenvolvimento do detector de chama
- encapsulamento do soprador para redução de ruído
- desenvolvimento de placa para automação para ligar/desligar o equipamento
- seleção do tipo de conexão tendo em vista a montagem do produto
- desenvolvimento de design do produto
- avaliação para montagem do produto em churrasqueiras convencionais
- avaliação para montagem em locais fechados
- desenvolvimento da embalagem do produto
- teste de campo para avaliar a receptividade do produto junto aos consumidores
- teste de vida dos principais componentes (bomba, soprador) e do conjunto como um todo

6 CONCLUSÕES

A maior parte da matriz energética brasileira é de origem não renovável (55,9 %). Grande parte dos esforços de substituição de fontes não-renováveis tem se focado no uso em MCI para veículos de passeio e eletricidade, relevando o uso em queimadores, que representam grande parte do consumo. Tendo isto em vista, foi estimado o potencial de substituição de fontes não-renováveis por etanol de 16% ($40.342 \cdot 10^3$ toneladas equivalentes de petróleo) do total de energia consumida no país, que corresponderia a mais que 3 vezes o consumo atual de etanol no Brasil, conforme visto no **Capítulo 1**.

Foi observado que as aplicações comerciais ainda são incipientes na combustão de etanol fora do âmbito de motores de combustões internas, restrita a queimadores de pequeno porte, com pouca tecnologia embarcada, enquanto a maior parte das pesquisas se concentra na substituição de óleo diesel relevando fatores econômicos ou em aplicações de pesquisa básica sem foco em aplicações comerciais, conforme observado no **Capítulo 2**.

Com intuito de se selecionar a aplicação mais viável, com potência até 50 kW, foi desenvolvida uma metodologia tendo em vista três perspectivas: seleção do insumo energético pelo consumidor, seleção do equipamento pelo consumidor e perspectiva do investidor.

Na perspectiva de seleção do insumo energético pelo consumidor, aplicações que necessitem serem transportadas apresentaram as melhores notas. Na perspectiva de seleção do equipamento pelo consumidor, as aplicações de aquecedor de áreas externas, churrasqueira e fogão portátil se mostraram as mais viáveis. Na perspectiva do investidor, a aplicação escolhida foi a churrasqueira, uma vez que apresenta volume de mercado considerável, além de possibilidades de inovação, conforme observado no **Capítulo 3**.

Para a churrasqueira, foi selecionado um queimador do tipo pulverizador em conjunto com um meio poroso infravermelho para se conseguir altas taxas de transferência de calor ao alimento. Foi verificado que o uso de queimadores porosos com combustíveis líquidos é incipiente, com poucos estudos experimentais e numéricos já realizados, em comparação com combustíveis gasosos, não havendo queimadores comerciais. Foi realizado o projeto de um queimador utilizando componentes de baixo custo, conforme observado no **Capítulo 4**.

Conforme observado no **Capítulo 5**, durante os testes, a combustão incompleta com gotejamento de combustível se mostrou um problema frequente. Foi construída uma série de protótipos até se minimizar o problema. A solução definitiva só foi alcançada com

aquecimento do queimador; será verificada a viabilidade de um registro de patente desta solução.

Foi observado que, para a estabilização da combustão, além de alimentação de ar do soprador, ar externo também é necessário. Para o queimador estreito, estimou-se em 29% o percentual de ar fornecido pelo soprador; o restante do ar de combustão é externo. Em relação ao tamanho do queimador, observou-se que o queimador estreito acomoda uma menor vazão de ar (2,6 a 3,2 m³/h) para se manter estável em relação ao queimador largo (4,0 a 6,2 m³/h). Em relação a emissões, o queimador estreito com vazão de ar do soprador de 3 m³/h apresentou emissões de CO da ordem de 1.000 ppm, enquanto o queimador largo com vazão de ar de 5 m³/h da ordem de 400 ppm, para um percentual corrigido de 3% de O₂.

Foi construído um protótipo da churrasqueira com 4 queimadores estreitos alcançando potência de 16,4±0,93 kW e emissões de CO da ordem de 1.500 ppm. No teste qualitativo, o queimador apresentou um cozimento adequado da carne. O protótipo final utiliza componentes de baixo custo, possibilitando uma eventual aplicação comercial futura. Foram estabelecidas algumas diretrizes para o desenvolvimento de um futuro produto.

Para futuros trabalhos, recomenda-se a utilização da metodologia para outras fontes renováveis como biodiesel ou energia solar térmica/fotovoltaica. Além disso, a substituição de fontes não-renováveis por etanol em aplicações industriais com potências acima de 50 kW poderia ser estudada.

Em queimadores porosos com combustíveis líquidos, mostra-se necessária uma melhor compreensão do fenômeno de combustão; no caso do etanol, isto se torna ainda mais relevante, tendo em vista sua combustão incompleta neste tipo de queimador.

REFERÊNCIAS

ABDUL MUJEEBU, M.; ABDULLAH, M.Z.; ABU BAKAR, M.Z.; MOHAMAD, A.A.; MUHAD, R.M.N.; ABDULLAH, M.K. Combustion in porous media and its applications - A comprehensive survey. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 2287-2312, 2009.

ABEGÁS, Associação Brasileira de Distribuidores de Gás Natural. **Mercado de Distribuição**. Ano VI, n. 5, ago./set. 2012.

AGUSTINA CAMPESI, M.; MARIANI, N.J.; BRESSA, S.P.; PRAMPARO, M.C.; BARBERO, B.P.; CADÚS, L.E.; BARRETO, G.F.; MARTÍNEZ, O.M. Kinetic study of the combustion of ethanol and ethyl acetate mixtures over a MnCu catalyst. **Fuel Processing Technology**, v. 103, p. 84-90, 2012.

AMS, Associação Mineira de Silvicultura. Disponível em: < <http://www.silviminas.com.br>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 15 ago. 2015.

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução nº 15, 18 de maio de 2005**.

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução nº 8, 6 de março de 2007**.

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 46, de 21 de fevereiro de 2002**.

ASFAR, K.R.; HAMED, H. Combustion of fuel blends. **Energy Conversion and Management**, v. 39, issue 10, p. 1081-1093, 1998.

BAHIAGÁS. Disponível em: < <http://www.bahiagas.com.br>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

BAILIS, R. Modeling climate change mitigation from alternative methods of charcoal production in Kenya. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, p. 1491-1502, 2009.

BAILIS, R.; RUJANAVECH, C.; DWIVEDI, P.; VILELA, A.O.; CHANG, H.; DE MIRANDA, R.C. Innovation in charcoal production: A comparative life-cycle assessment of two kiln technologies in Brazil. **Energy for Sustainable Development**, v. 17, issue 2, p. 189-200, 2013.

BARROSO, J.; BALLESTER, J.; PINA, A. Some considerations about bioethanol combustion in oil-fired boilers. **Fuel Processing Technology**, v. 91, p. 1357-1550, 2010.

BAUKAL, C.E. **Heat transfer in industrial combustion**. Editora CRC, 2000.

BEHRENS, D. A.; LEE, I.C.; WAITS, C. M. Catalytic combustion of alcohols for microburner applications. **Journal of Power Sources**, v. 195, issue 7, p. 2008-2013, 2010.

BEN, **Balanco energético nacional elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética**. ano-base 2014, 2015, 292 p.

BENZOMATIC. Disponível em: <<http://www.bernzomatic.com/item.html?id=2>>. Acesso em: 8 mar. 2013.

BIZZO, A. W. **Notas de aula da disciplina Sistemas Fluidotérmicos I**. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em672>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

BOHON, M.D.; METZGER, B.A.; LINAK, W.P.; KING, C.J.; ROBERTS, W.L. Glycerol combustion and emissions. **Proceedings of the Combustion Institute**, v. 33, issue 2, p. 2717-2724, 2001.

BREAUX, B.B.; ACHARYA, S. The effect of elevated water content on swirl-stabilized ethanol/air flames. **Fuel**, v. 105, p. 90-102, 2013.

BREHMER, T.; HEGER, F.; LUCKA, K.; SCHLOSS, J.V.; ABU-SHAREKH, Y.; TRIMIS, D. et al. **Bioflam project: application of liquid biofuels in new heating technologies for domestic appliances based on cool flame vaporization and porous medium combustion**. Disponível em: <http://lab.fs.unij.si/opet/knjiznica/seminar_celje2004/pdf%20formati/Thomas%20Brehmer.pdf>. Acesso em: 9 out. 2013.

BUSCAPÉ. Disponível em: <<http://www.buscaped.com.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

CCGE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Siderurgia no Brasil 2010-2015**, n. 9, nov. 2010.

CEPEA, Centro de estudos avançados em economia aplicada - ESALQ/USP. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/etanol/#>>. Acesso em: 19 mar. 2013.

CEPEA, Centro de estudos avançados em economia aplicada - ESALQ/USP. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

CETESB. Informação de segurança de produto químico - FISPQ, Querosene. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=QUEROSENE>. Acesso em: 12 set. 2013

CHARBROIL. Disponível em: <<http://www.charbroil.com/grills/gas-grills/char-broil-commercial-series-tru-infrared-2-burner-gas-grill-t-22d.html>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

CLEAN STAR. Disponível em: <<http://www.cleanstarmozambique.com>>. Acesso em: 9 dez. 2012.

COMGAS. Ficha de informação de segurança de produto químico - FISPQ n. 1, Gás Natural, 2012. Disponível em: <http://www.comgas.com.br/conheca_gasnatural/media/pdf/fispq-gas-natural.pdf>. Acesso em: 9 set. 2012.

COMGAS. Disponível em: <<http://www.comgas.com.br/pt/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

DAL BEM, A.J. **Análise de desempenho de um motor ciclo Otto alimentado com álcool de 75 INPM**. 2008. 231 f. Tese (Doutorado em engenharia mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

DANTAS, M.A. **Análise do desempenho de um queimador infravermelho funcionando com gás liquefeito de petróleo e glicerina**. 2010. 94 f. Dissertação (mestrado em ciência e engenharia de petróleo), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DEFRA, Department for Environment, Food and Rural Affairs; DECC, Department of Energy and Climate Change. **Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting**. versão 1.2, 2011.

DELAVAN. **Fuel Nozzles for Oil Burners: Technical Aspects of Applications**. Disponível em: <http://www.delavaninc.com/pdf/Fuel_Nozzles_for_Burners.PDF>. Acesso em: 20 jun. 2014.

DO CARMO, R.W.; BELOLI, R.; MORSCHBAKER, A. Polietileno Verde- Braskem. **Boletim de Tecnologia de Desenvolvimento de Embalagens**, v. 24, n. 1, 5 p., jan./fev./mar. 2012.

DOMETIC. Disponível em: <<http://www.dometic.com/enie/International/Site/CleanCook-Alcohol-Fueled-Stoves>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

EERC, Energy, Environment and Resources Center. Disponível em: <<http://eerc.ra.utk.edu/etcfc/docs/altfuelttable.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

EMPRAPA. **As especificações do álcool focadas para o mercado mundial**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Especificacoes_do-
alcool_Focado_para_Mercado_Mundial_000fxgfcrtu02wyiv80soht9hal6t8qx.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Especificacoes_do-alcool_Focado_para_Mercado_Mundial_000fxgfcrtu02wyiv80soht9hal6t8qx.pdf)>. Acesso em: 19 mar. 2013.

ENGINEERING TOOL BOX. Disponível em: <<http://www.engineeringtoolbox.com/>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

FLAGAN, R.C. **Combustion Fundamentals**, cap. 2, 1988. Disponível em: <<http://authors.library.caltech.edu/25069/4/AirPollution88-Ch2.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

FUSE, T.; KOBAYASHI, N.; HASATANI, M. Combustion characteristics of ethanol in a porous ceramic burner and ignition improved by enhancement of liquid-fuel intrusion in the pore with ultrasonic irradiation. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 29, p. 467-476, 2005.

GARCIA, O.; BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. 2ª Edição, 1992. 367 p.

GARCIA, R. **Combustíveis e Combustão Industrial**. Editora Interciência, 2002. 202 p.

GENERAL HEATER. Disponível em: <<http://www.generalheater.com.br/dados.php?cdproduto=72>>. Acesso em: 05 mar. 2013.

GESTIS. Disponível em: <<http://gestis-en.itrust.de>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

GLAUDE, P.; FOURNETA, R.; BOUNACEURA, R.; MOLIÈRE, M. Adiabatic flame temperature from biofuels and fossil fuels and derived effect on NO_x emissions. **Fuel Processing Technology**, v. 91, issue 2, p. 229-235, 2010.

HALL, M.J.; PEROUTKA, X.N. A Porous Media Burner for Reforming Methanol for Fuel Cell Powered Electric Vehicles. **SAE Technical Paper Series**, 950095, International Congress and Exposition, Detroit, Michigan, 1995

HANSEN, A. C.; ZHANGA, Q.; LYNEB, P. W. L. Ethanol–diesel fuel blends - a review. **Bioresource Technology**, v. 96, issue 3, p. 277-285, 2005.

HENKE, S.; KADLEC, P.; BUBNÍK, Z. Physico-chemical properties of ethanol -Compilation of existing data. **Journal of Food Engineering**, v. 99, p. 497-504, 2010.

HERMANN DE GROOT, V. **Sulphonation technology in the detergent industry**. Editora Springer, 1991. 289 p.

HOW STUFF WORKS. Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/macarico-de-mao1.htm>>. Acesso em: 8 mar. 2013.

HOWELL, J.R.; HALL, M.J.; ELLZEY, J.L. Combustion of hydrocarbon fuels within porous inert media. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 22, p. 121-145, 1996.

INMETRO. Ficha de informações de segurança de produtos químicos - FISPQ nº 8852, Material de Referência Certificado de etanol em água, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/MRC/FISPQ-8852.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, v. 2, 2006.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis**, TS 2.5, 2007.

JUGJAI, S.; PHOTHIYA, C. Liquid fuels-fired porous combustor-heater. **Fuel**, v. 86, p. 1062-1068, 2007.

JUGJAI, S.; POLMART, N. Enhancement of evaporation and combustion of liquid fuels through porous media. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 27, p. 901-909, 2003.

JUGJAI, S.; WONGPANIT, N.; LAOKETKAN, T.; NOKKAEW, S. The combustion of liquid fuels using a porous medium. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 26, p. 15-23, 2002.

KAPLAN, M.; HALL, M.J. The combustion of liquid fuels within a porous media radiant burner. **Experimental Thermal Fluid Science**, v. 11, p. 13-20, 1995.

KASPER, T.S.; OSSWALD, P.; KAMPHUS, M.; KOHSE-HÖINGHAUS, K. Ethanol flame structure investigated by molecular beam mass spectrometry. **Combustion and Flame**, v. 150, p. 220-231, 2007.

KAYAL, K.T.; CHAKRAVARTY, M. Combustion of liquid fuel inside inert porous media: an analytical approach. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 48, p. 331-339, 2005.

KAYAL, K.T.; CHAKRAVARTY, M. Modeling of trickle flow liquid fuel combustion in inert porous medium. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 49, p. 975-983, 2006.

KAYAL, K.T.; CHAKRAVARTY, M. Modeling of a conceptual self-sustained liquid fuel vaporization–combustion system with radiative output using inert porous media. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 50, p. 1715-1722, 2007.

KERMES, V., BELOHRADSKÝ, P., ORAL, J.; STEHLÍK, P. Testing of gas and liquid fuel burners for power and process industries. **Energy**, v. 33, p. 1551-1561, 2008.

KONNOV, A.A.; MEUWISSEN, R.J.; DE GOEY, L.P.H. The temperature dependence of the laminar burning velocity of ethanol flames. **Proceedings of the Combustion Institute**, v. 33, p. 1011-1019, 2011

LIQUIGÁS. Ficha de informação de segurança de produto químico - FISPQ nº 9000113, GLP, 2011. Disponível em: <<http://www.liquigas.com.br/wps/wcm/connect/a94a95004640d0be8ce7cddd2947447b/FISPQ+GLP+rev+01-11.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 18 fev. 2013

LOGUM. Disponível em: <<http://www.logum.com.br>>. Acesso: 09 dez. 2012

MACEDO, I.C.; LEAL, M.R.L.V.; SILVA, J.E.A.R. **Balço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. Governo do Estado de São Paulo, abr. 2004. 37 p.

MARGULIS, S. **Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira**. Banco Mundial, 2003. 100 p.

MARQUES, C.S.T.; BARRETA, L.G.; SBAMPATO, M.E.; DOS SANTOS, A.M. Laser-saturated fluorescence of nitric oxide and chemiluminescence measurements in premixed ethanol flames. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 34, p. 1142-1150, 2010.

MARTYNENKO, V.V.; ECHIGO, R.; YOSHIDA, H. Mathematical model of self-sustaining combustion in inert porous medium with phase change under complex heat transfer. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 41, p. 117-126, 1998.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima**. 2010. 280 p.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Fatores de Emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil em 2011**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/72764.html>>. Acesso em: 29 jan. 2013

MELO, T.C.C.; MACHADO, G.B.; BELCHIOR, C.R.P.; COLAÇO, M.J.; BARROS, J.E.M.; OLIVEIRA, E.J.; OLIVEIRA, D.G. Hydrous ethanol-gasoline blends – Combustion and emission investigations on a Flex-Fuel engine. **Fuel**, v. 97, p. 796-804, 2012.

MME, Ministério das Minas e Energia. **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis**, n. 60, jan. 2013. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/spg/menu/publicacoes.html>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

MSGÁS. Disponível em: <<http://www.msgas.com.br/home>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

NAUTIKA. Disponível em:

<http://www.nautika.com.br/lazer/nautika/Produtos_Detalhe.aspx?cat=135&id=523>. Acesso em: 07 mar. 2013.

OHIMAIN, E.I. The benefits and potential impacts of household cooking fuel substitution with bio-ethanol produced from cassava feedstock in Nigeria. **Energy for Sustainable Development**, v. 16, p. 352-362, 2012.

OMETTO, A. **Avaliação do Ciclo de vida do Álcool Etílico Hidratado Combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. 2005. 200 f. Tese (Doutorado em engenharia hidráulica e saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PEREIRA, C.L.F. **Avaliação de Sustentabilidade Ampliada de Produtos Agroindustriais, Estudo de Caso: Suco de laranja e Etanol**. 2008. 268 f. Tese (Doutorado em engenharia de alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

PÉREZ, E.P.; CARVALHO JÚNIOR, J.A.; CARROCCI, L.R. Substituição do óleo diesel por álcool etílico hidratado na queima direta, uma comparação. **Encontro de Energia Meio Rural**, ano 6, 2006. Disponível em:
<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000200042&script=sci_arttext>. Acesso em: 08 mar. 2013.

PETROBRASa. Ficha de informação de segurança de produto químico - FISPQ nº BR0030, QAV-1, 2011. Disponível em:
<<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/f884ae8043a79f5ebdf2bfec2d0136c/fispq-avi-querosene-jeta1.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

PETROBRASb. Ficha de informação de segurança de produto químico - FISPQ nº BR0350, Óleo Combustível Marítimo Bunker C, 2011. Disponível em:
<<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/fb08378043a7acc4895a8fecc2d0136c/fispq-oleocomb-oc-mar-mf-380.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

PINHEIRO, P.C.C.; VALLE, R.M. **Controle de Combustão: Otimização do Excesso de Ar**. Disponível em: <<http://www.demec.ufmg.br/professor/paulocpinheiro/papers/excesso.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

PRIETO-FERNANDEZ, I.; LUENGO-GARCIA, J.; PONTE-GUTIERREZ, D. Improvements in light oil combustion by adding small quantities of alcohol. Possible application in cold starts up in thermal power stations. **Fuel Processing Technology**, v. 60, p. 15-27, 1999.

PROJETO GAIA. Disponível em: <<http://www.projectgaia.com/files/AboutProjectGaia.pdf>>. Acesso em: 9 dez. 2012.

REID, R.C.; PRAUSNITZ, J.M.; POLING, B.E.. **The Properties of Gases and Liquids**, 4^a edição, 1987

RFA, Renewable Fuels Association, 2012. Disponível em: <<http://ethanolrfa.org/pages/World-Fuel-Ethanol-Production>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

ROUSSET, P.; CALDEIRA-PIRES, A.; SABLowski, A.; RODRIGUES, T. LCA of eucalyptus wood charcoal briquettes. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, p. 1647-1653, 2011.

RONSON. Material safety data sheet - Ronson lighter fluid, mai. 2000. Disponível em: <http://www.local510.org/msds_sheets/Ronsonol_MSDS.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2013.

SACOMANO FILHO, F.L. **Simulações de chamas turbulentas de etanol com modelo de turbulência k-ε**. 2011. 149 f. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SAN JOSÉ ALONSO, J.F.; ROMERO-ÁVILA, C.; SAN JOSÉ HERNÁNDEZ, L.M.; AWF, A. Characterising biofuels and selecting the most appropriate burner for their combustion. **Fuel Processing Technology**, v. 103, p. 39-44, 2012.

SEISER, R.; HUMER, S.; SESHADRI, K.; PUCHER, E. Experimental investigation of methanol and ethanol flames in nonuniform flows. **Proceedings of the Combustion Institute**, v. 31, p. 1173-1180, 2007.

SJOLIE, H.S. Reducing greenhouse gas emissions from households and industry by the use of charcoal from sawmill residues in Tanzania. **Journal of Cleaner Production**, v. 27, p. 109-117, 2012.

SULGAS. Disponível em: < <http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

TAKAMI, H.; SUZUKI, T.; LTAYA, Y.; HASATANI, M. Performance of flammability of kerosene and NO_x emission in the porous burner. **Fuel**, v. 77, n. 3, p. 165-171, 1998.

TANOUE, K.; BABA, T.; MATSUNAGA, T. Experimental study of combustion of ethanol and primary reference fuels in laminar nonuniform flows. **Proceedings of the Combustion Institute**, v. 33, p. 1029-1035, 2011.

TRIMIS, D.; WAWRZINEK, K.; HATZFELD, O.; LUCKA, K.; RUTSCHE, A.; HAASE, F.; KRÜGER, K.; KÜCHEN, C. **A novel porous burner for liquid fuels based on porous media combustion and cool flame vaporization**. Disponível em: <http://wordpress.owi-aachen.de/wp-uploads/2012/07/010916_Italien.pdf>. Acesso em: 9 out. 2013.

TU, R.; FANG, J.; ZHANG, Y.; ZHANG, J.; ZENG, Y. Effects of low air pressure on radiation-controlled rectangular ethanol and n-heptane pool fires. **Proceedings of the Combustion Institute**, v. 34, p. 2591-2598, 2013.

UDOP, União dos Produtores de Bioenergia. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=safra>>. Acesso em: 21 fev. 2013.

UHLIG, A.; GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.T. O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 2, p. 67-85, 2º sem. 2008.

VAN LIPZIG, J.P.J.; NILSSON, E.J.K.; DE GOEY, L.P.H.; KONNOV, A.A. Laminar burning velocities of n-heptane, iso-octane, ethanol and their binary and tertiary mixtures. **Fuel**, v. 90, p. 2773-2781, 2011.

SONNTAG, E.R.; BORGNAKKE, C.; VAN WYLEN, G.J. Fundamentos de Termodinâmica, 6ª Edição, 2002.

VAUNI. Disponível em: <<http://www.vauni.com>>. Acesso em: 9 dez. 2012.

VIJAYKANT, S.; AGRAWAL, A.K.. Liquid fuel combustion within silicon-carbide coated carbon foam. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 32, p. 117-125, 2007.

VILANOVA, L. C. **Efeitos da adição de etanol hidratado no combustível e do sistema de formação de mistura no desempenho e nas emissões de um motor combustível brasileiro**. 2007. 134 f. Tese (Doutorado em engenharia mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

WHO, World Health Organization, **The World Health Report**, 2002.

YI, F.; AXELBAUM, R. Stability of spray combustion for water/alcohols mixtures in oxygen-enriched air. **Proceedings of the Combustion Institute**, v. 34, p. 1697-1704, 2013.

ZHAO, Z.; XIE, M. Numerical simulation about interaction between pressure swirl spray and hot porous medium. **Energy Conversion and Management**, v. 49, p. 1047-1055, 2008.

ZIPPO. Material Safety Data Sheet, Zippo Blend C, 2010. Disponível em: <<http://www.co.vermilion.il.us/MSDS/EMA/Zippo%20Lighter%20Fluid-USA.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

Continua

APÊNDICE A - CONSUMO FINAL ENERGÉTICO POR FONTE E SETOR, POTENCIAL DE SUBSTITUIÇÃO POR ETANOL E EMISSÕES MITIGADAS

Para cada um dos setores, subsetores (no caso do setor industrial) e fontes, foi analisado se poderia haver ou não a substituição por etanol e qual seria o impacto do ponto de vista de GEE.

Tabela A.1 - Consumo final energético por fonte e setor, potencial de substituição por etanol e emissões mitigadas

Setores	Subsetor	Fontes	Valores	Valores substituíveis	Reduções mitigadas	Critérios utilizados
Energético	-	Gás natural	6.306	-	-	no setor energético, não haveria substituição direta, apenas indireta
Energético	-	Carvão vapor	-	-	-	-
Energético	-	Lenha	-	-	-	-
Energético	-	Outros produtos da cana	12.466	-	-	no setor energético, não haveria substituição direta, apenas indireta
Energético	-	Outras primárias renováveis	-	-	-	-
Energético	-	Óleo diesel	1.513	-	-	no setor energético, não haveria substituição direta, apenas indireta
Energético	-	Óleo combustível	311	-	-	no setor energético, não haveria substituição direta, apenas indireta
Energético	-	Gasolina	-	-	-	-
Energético	-	GLP	5	-	-	no setor energético, não haveria substituição direta, apenas indireta
Energético	-	Querosene	-	-	-	-
Energético	-	Gás de cidade	187	-	-	no setor energético, não haveria substituição direta, apenas indireta
Energético	-	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Energético	-	Eletricidade	2.678	-	-	no setor energético, não haveria substituição direta, apenas indireta
Energético	-	Carvão vegetal	-	-	-	-
Energético	-	Álcool etílico	-	-	-	-
Energético	-	Outras secundárias de petróleo	3.985	-	-	no setor energético, não haveria substituição direta, apenas indireta
Energético	-	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Residencial	-	Gás natural	310	310	634	possível substituição por etanol
Residencial	-	Carvão vapor	-	-	-	-
Residencial	-	Lenha	6.109	6.109	11.865	possível substituição por etanol; uso de lenha tende a diminuir com a evolução de renda
Residencial	-	Outros produtos da cana	-	-	-	-

Continuação

Tabela A.1 - Consumo final energético por fonte e setor, potencial de substituição por etanol e emissões mitigadas

Setores	Subsetor	Fontes	Valores	Valores substituíveis	Reduções mitigadas	Critérios utilizados
Residencial	-	Outras primárias renováveis	-	-	-	-
Residencial	-	Óleo diesel	-	-	-	-
Residencial	-	Óleo combustível	-	-	-	-
Residencial	-	Gasolina	-	-	-	-
Residencial	-	GLP	6.535	6.535	16.004	possível substituição por etanol
Residencial	-	Querosene	3	3	9	possível substituição por etanol
Residencial	-	Gás de cidade	-	-	-	-
Residencial	-	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Residencial	-	Eletricidade	11.352	2.838	1.895	possível substituição do chuveiro elétrico; chuveiro elétrico corresponde a 25% do consumo residencial
Residencial	-	Carvão vegetal	478	478	898	possível substituição por etanol; uso de carvão vegetal tende a diminuir com a evolução de renda
Residencial	-	Álcool etílico	-	-	-	-
Residencial	-	Outras secundárias de petróleo	-	-	-	-
Residencial	-	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Comercial	-	Gás natural	179	179	366	possível substituição por etanol
Comercial	-	Carvão vapor	-	-	-	-
Comercial	-	Lenha	97	48	216	possível substituição da lenha de origem não-renovável (50%)
Comercial	-	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Comercial	-	Outras primárias renováveis	-	-	-	-
Comercial	-	Óleo diesel	7	7	21	possível substituição por etanol
Comercial	-	Óleo combustível	22	22	74	possível substituição por etanol
Comercial	-	Gasolina	-	-	-	-
Comercial	-	GLP	442	442	1.083	possível substituição por etanol
Comercial	-	Querosene	-	-	-	-
Comercial	-	Gás de cidade	-	-	-	-
Comercial	-	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Comercial	-	Eletricidade	7.790	-	-	não haveria potencial (iluminação/condicionamento de ar)
Comercial	-	Carvão vegetal	91	46	197	possível substituição de carvão vegetal de origem não-renovável (50%)
Comercial	-	Álcool etílico	-	-	-	-
Comercial	-	Outras secundárias de petróleo	-	-	-	-

Continuação

Tabela A.1 - Consumo final energético por fonte e setor, potencial de substituição por etanol e emissões mitigadas

Setores	Subsetor	Fontes	Valores	Valores substituíveis	Reduções mitigadas	Critérios utilizados
Comercial	-	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Público	-	Gás natural	40	40	81	possível substituição por etanol
Público	-	Carvão vapor	-	-	-	-
Público	-	Lenha	-	-	-	-
Público	-	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Público	-	Outras primárias renováveis	-	-	-	-
Público	-	Óleo diesel	4	4	13	possível substituição por etanol
Público	-	Óleo combustível	11	11	35	possível substituição por etanol
Público	-	Gasolina	-	-	-	-
Público	-	GLP	257	257	630	possível substituição por etanol
Público	-	Querosene	0	-	-	-
Público	-	Gás de cidade	-	-	-	-
Público	-	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Público	-	Eletricidade	3.666	-	-	não haveria potencial significativo (iluminação/condicionamento de ar)
Público	-	Carvão vegetal	-	-	-	-
Público	-	Álcool etílico	-	-	-	-
Público	-	Outras secundárias de petróleo	-	-	-	-
Público	-	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Agropecuário	-	Gás natural	-	-	-	-
Agropecuário	-	Carvão vapor	-	-	-	-
Agropecuário	-	Lenha	2.682	1.341	5.960	possível substituição da lenha de origem não-renovável (50%)
Agropecuário	-	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Agropecuário	-	Outras primárias renováveis	-	-	-	-
Agropecuário	-	Óleo diesel	6.184	-	-	não haveria potencial (uso em motores estacionários e máquinas agrícolas)
Agropecuário	-	Óleo combustível	24	24	80	possível substituição por etanol
Agropecuário	-	Gasolina	-	-	-	-
Agropecuário	-	GLP	2	2	6	possível substituição por etanol
Agropecuário	-	Querosene	0	-	-	-
Agropecuário	-	Gás de cidade	-	-	-	-
Agropecuário	-	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Agropecuário	-	Eletricidade	2.298	-	-	não haveria potencial significativo (motores elétricos, iluminação)

Continuação

Tabela A.1 - Consumo final energético por fonte e setor, potencial de substituição por etanol e emissões mitigadas

Setores	Subsetor	Fontes	Valores	Valores substituíveis	Reduções mitigadas	Critérios utilizados
Agropecuário	-	Carvão vegetal	8	4	18	possível substituição de carvão vegetal de origem não-renovável (50%)
Agropecuário	-	Álcool etílico	11	-	-	utilização já existente do etanol
Agropecuário	-	Outras secundárias de petróleo	-	-	-	-
Agropecuário	-	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Transportes	-	Gás natural	1.594	-	-	não haveria potencial (uso em motores)
Transportes	-	Carvão vapor	-	-	-	-
Transportes	-	Lenha	-	-	-	-
Transportes	-	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Transportes	-	Outras primárias renováveis	-	-	-	-
Transportes	-	Óleo diesel	41.019	-	-	não haveria potencial (uso em motores)
Transportes	-	Óleo combustível	1.133	-	-	não haveria potencial (uso em motores)
Transportes	-	Gasolina	25.740	-	-	não haveria potencial (uso em motores)
Transportes	-	GLP	-	-	-	-
Transportes	-	Querosene	3.651	-	-	não haveria potencial (uso em motores)
Transportes	-	Gás de cidade	-	-	-	-
Transportes	-	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Transportes	-	Eleticidade	167	-	-	não haveria potencial (uso em motores)
Transportes	-	Carvão vegetal	-	-	-	-
Transportes	-	Álcool etílico	13.008	-	-	utilização já existente do etanol
Transportes	-	Outras secundárias de petróleo	-	-	-	-
Transportes	-	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Cimento	Gás natural	25	25	51	possível substituição por etanol
Industrial	Cimento	Carvão vapor	123	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Cimento	Lenha	79	40	176	possível substituição da lenha de origem não-renovável (50%)
Industrial	Cimento	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Industrial	Cimento	Outras primárias renováveis	364	-	-	não haveria potencial (fonte renovável já sendo utilizada)
Industrial	Cimento	Óleo diesel	72	72	226	possível substituição por etanol
Industrial	Cimento	Óleo combustível	14	14	47	possível substituição por etanol
Industrial	Cimento	Gasolina	-	-	-	-
Industrial	Cimento	GLP	18	18	44	possível substituição por etanol
Industrial	Cimento	Querosene	-	-	-	-

Continuação

Tabela A.1 - Consumo final energético por fonte e setor, potencial de substituição por etanol e emissões mitigadas

Setores	Subsetor	Fontes	Valores	Valores substituíveis	Reduções mitigadas	Critérios utilizados
Industrial	Cimento	Gás de cidade	-	-	-	-
Industrial	Cimento	Coque de carvão mineral	77	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Cimento	Eletricidade	687	-	-	não haveria potencial significativo (uso de eletricidade para aquecimento)
Industrial	Cimento	Carvão vegetal	122	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Cimento	Álcool etílico	-	-	-	-
Industrial	Cimento	Outras secundárias de petróleo	3.763	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Cimento	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Ferro gusa e aço	Gás natural	1.036	1.036	2.120	possível substituição por etanol
Industrial	Ferro gusa e aço	Carvão vapor	1.871	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Ferro gusa e aço	Lenha	-	-	-	-
Industrial	Ferro gusa e aço	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Industrial	Ferro gusa e aço	Outras primárias renováveis	0	-	-	-
Industrial	Ferro gusa e aço	Óleo diesel	35	35	111	possível substituição por etanol
Industrial	Ferro gusa e aço	Óleo combustível	35	35	116	possível substituição por etanol
Industrial	Ferro gusa e aço	Gasolina	-	-	-	-
Industrial	Ferro gusa e aço	GLP	26	26	63	possível substituição por etanol
Industrial	Ferro gusa e aço	Querosene	-	-	-	-
Industrial	Ferro gusa e aço	Gás de cidade	1.242	-	-	não haveria potencial (resíduo de processo)
Industrial	Ferro gusa e aço	Coque de carvão mineral	7.522	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Ferro gusa e aço	Eletricidade	1.671	-	-	não haveria potencial significativo (uso de eletricidade para aquecimento)
Industrial	Ferro gusa e aço	Carvão vegetal	2.783	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Ferro gusa e aço	Álcool etílico	-	-	-	-
Industrial	Ferro gusa e aço	Outras secundárias de petróleo	41	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Ferro gusa e aço	Outras de carvão mineral	92	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Ferro ligas	Gás natural	20	20	41	possível substituição por etanol
Industrial	Ferro ligas	Carvão vapor	-	-	-	-
Industrial	Ferro ligas	Lenha	70	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Ferro ligas	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Industrial	Ferro ligas	Outras primárias renováveis	-	-	-	-
Industrial	Ferro ligas	Óleo diesel	7	7	23	possível substituição por etanol
Industrial	Ferro ligas	Óleo combustível	86	86	286	possível substituição por etanol

Continuação

Tabela A.1 - Consumo final energético por fonte e setor, potencial de substituição por etanol e emissões mitigadas

Setores	Subsetor	Fontes	Valores	Valores substituíveis	Reduções mitigadas	Critérios utilizados
Industrial	Ferro ligas	Gasolina	-	-	-	-
Industrial	Ferro ligas	GLP	24	24	58	possível substituição por etanol
Industrial	Ferro ligas	Querosene	0	-	-	-
Industrial	Ferro ligas	Gás de cidade	-	-	-	-
Industrial	Ferro ligas	Coque de carvão mineral	78	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Ferro ligas	Elettricidade	582	-	-	não haveria potencial significativo (uso de eletricidade para aquecimento)
Industrial	Ferro ligas	Carvão vegetal	436	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Ferro ligas	Álcool etílico	-	-	-	-
Industrial	Ferro ligas	Outras secundárias de petróleo	127	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Ferro ligas	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Mineração e pelotização	Gás natural	707	707	1.448	possível substituição por etanol
Industrial	Mineração e pelotização	Carvão vapor	430	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Mineração e pelotização	Lenha	-	-	-	-
Industrial	Mineração e pelotização	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Industrial	Mineração e pelotização	Outras primárias renováveis	-	-	-	-
Industrial	Mineração e pelotização	Óleo diesel	424	424	1.335	possível substituição por etanol
Industrial	Mineração e pelotização	Óleo combustível	166	166	549	possível substituição por etanol
Industrial	Mineração e pelotização	Gasolina	-	-	-	-
Industrial	Mineração e pelotização	GLP	28	28	69	possível substituição por etanol
Industrial	Mineração e pelotização	Querosene	1	1	3	possível substituição por etanol
Industrial	Mineração e pelotização	Gás de cidade	-	-	-	-
Industrial	Mineração e pelotização	Coque de carvão mineral	61	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Mineração e pelotização	Elettricidade	1.082	-	-	não haveria potencial significativo (uso de eletricidade para aquecimento)
Industrial	Mineração e pelotização	Carvão vegetal	-	-	-	-
Industrial	Mineração e pelotização	Álcool etílico	-	-	-	-
Industrial	Mineração e pelotização	Outras secundárias de petróleo	534	-	-	não haveria potencial
Industrial	Mineração e pelotização	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Gás natural	896	896	1.834	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Carvão vapor	783	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Lenha	-	-	-	-
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Outros produtos da cana	-	-	-	-

Continuação

Tabela A.1 - Consumo final energético por fonte e setor, potencial de substituição por etanol e emissões mitigadas

Setores	Subsetor	Fontes	Valores	Valores substituíveis	Reduções mitigadas	Critérios utilizados
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Outras primárias renováveis	-	-	-	-
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Óleo diesel	9	9	27	possível substituição por etanol
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Óleo combustível	1.200	1.200	3.970	possível substituição por etanol
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Gasolina	-	-	-	-
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	GLP	42	42	102	possível substituição por etanol
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Querosene	-	-	-	-
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Gás de cidade	-	-	-	-
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Coque de carvão mineral	279	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Elettricidade	2.798	-	-	não haveria potencial significativo (uso de eletricidade para aquecimento)
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Carvão vegetal	14	-	-	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Álcool etílico	-	-	-	-
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Outras secundárias de petróleo	595	595	1.873	não haveria potencial (requisito de processo)
Industrial	Não ferrosos e out. metalurg.	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Química	Gás natural	2.022	2.022	4.139	possível substituição por etanol
Industrial	Química	Carvão vapor	169	169	700	possível substituição por etanol
Industrial	Química	Lenha	49	24	108	possível substituição de lenha de origem não-renovável (50%)
Industrial	Química	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Industrial	Química	Outras primárias renováveis	89	-	-	não haveria potencial (fonte renovável já sendo utilizada)
Industrial	Química	Óleo diesel	20	20	62	possível substituição por etanol
Industrial	Química	Óleo combustível	323	323	1.068	possível substituição por etanol
Industrial	Química	Gasolina	-	-	-	-
Industrial	Química	GLP	217	217	532	possível substituição por etanol
Industrial	Química	Querosene	-	-	-	-
Industrial	Química	Gás de cidade	-	-	-	-
Industrial	Química	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Química	Elettricidade	1.922	-	-	não haveria potencial significativo (uso de eletricidade para aquecimento)
Industrial	Química	Carvão vegetal	18	9	39	possível substituição de carvão vegetal de origem não-renovável (50%)
Industrial	Química	Álcool etílico	-	-	-	-
Industrial	Química	Outras secundárias de petróleo	1.880	1.880	5.918	possível substituição por etanol
Industrial	Química	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Alimentos e bebidas	Gás natural	736	736	1.506	possível substituição por etanol

Continuação

Tabela A.1 - Consumo final energético por fonte e setor, potencial de substituição por etanol e emissões mitigadas

Setores	Subsetor	Fontes	Valores	Valores substituíveis	Reduções mitigadas	Critérios utilizados
Industrial	Alimentos e bebidas	Carvão vapor	66	66	274	possível substituição por etanol
Industrial	Alimentos e bebidas	Lenha	2.250	1.125	5.000	possível substituição de lenha de origem não-renovável (50%)
Industrial	Alimentos e bebidas	Outros produtos da cana	16.120	-	-	não haveria potencial (fonte renovável já sendo utilizada)
Industrial	Alimentos e bebidas	Outras primárias renováveis	11	-	-	não haveria potencial (fonte renovável já sendo utilizada)
Industrial	Alimentos e bebidas	Óleo diesel	249	249	783	possível substituição por etanol
Industrial	Alimentos e bebidas	Óleo combustível	148	148	490	possível substituição por etanol
Industrial	Alimentos e bebidas	Gasolina	-	-	-	não haveria potencial (fonte renovável já sendo utilizada)
Industrial	Alimentos e bebidas	GLP	220	220	540	possível substituição por etanol
Industrial	Alimentos e bebidas	Querosene	0	-	-	-
Industrial	Alimentos e bebidas	Gás de cidade	-	-	-	-
Industrial	Alimentos e bebidas	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Alimentos e bebidas	Eleticidade	2.324	-	-	não haveria potencial significativo (uso de eletricidade para aquecimento)
Industrial	Alimentos e bebidas	Carvão vegetal	-	-	-	-
Industrial	Alimentos e bebidas	Álcool etílico	-	-	-	-
Industrial	Alimentos e bebidas	Outras secundárias de petróleo	84	84	266	possível substituição por etanol
Industrial	Alimentos e bebidas	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Têxtil	Gás natural	248	248	507	possível substituição por etanol
Industrial	Têxtil	Carvão vapor	-	-	-	-
Industrial	Têxtil	Lenha	69	69	308	possível substituição de lenha de origem não-renovável (50%)
Industrial	Têxtil	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Industrial	Têxtil	Outras primárias renováveis	-	-	-	-
Industrial	Têxtil	Óleo diesel	5	5	14	possível substituição por etanol
Industrial	Têxtil	Óleo combustível	34	34	111	possível substituição por etanol
Industrial	Têxtil	Gasolina	-	-	-	-
Industrial	Têxtil	GLP	40	40	98	possível substituição por etanol
Industrial	Têxtil	Querosene	0	-	-	-
Industrial	Têxtil	Gás de cidade	-	-	-	-
Industrial	Têxtil	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Têxtil	Eleticidade	622	-	-	não haveria potencial significativo (uso de eletricidade para aquecimento)
Industrial	Têxtil	Carvão vegetal	-	-	-	-
Industrial	Têxtil	Álcool etílico	-	-	-	-

Continuação

Tabela A.1 - Consumo final energético por fonte e setor, potencial de substituição por etanol e emissões mitigadas

Setores	Subsetor	Fontes	Valores	Valores substituíveis	Reduções mitigadas	Critérios utilizados
Industrial	Têxtil	Outras secundárias de petróleo	-	-	-	-
Industrial	Têxtil	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Papel e celulose	Gás natural	848	848	1.736	possível substituição por etanol
Industrial	Papel e celulose	Carvão vapor	117	117	487	possível substituição por etanol
Industrial	Papel e celulose	Lenha	1.713	-	-	não haveria potencial significativo (resíduo de processo de fabricação de celulose)
Industrial	Papel e celulose	Outros produtos da cana	25	-	-	não haveria potencial (fonte renovável já sendo utilizada)
Industrial	Papel e celulose	Outras primárias renováveis	6.338	-	-	não haveria potencial significativo (resíduo de processo como licor negro)
Industrial	Papel e celulose	Óleo diesel	164	164	518	possível substituição por etanol
Industrial	Papel e celulose	Óleo combustível	365	365	1.206	possível substituição por etanol
Industrial	Papel e celulose	Gasolina	-	-	-	-
Industrial	Papel e celulose	GLP	73	73	178	possível substituição por etanol
Industrial	Papel e celulose	Querosene	-	-	-	-
Industrial	Papel e celulose	Gás de cidade	-	-	-	-
Industrial	Papel e celulose	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Papel e celulose	Eletricidade	1.780	-	-	não haveria potencial significativo (uso de eletricidade para aquecimento)
Industrial	Papel e celulose	Carvão vegetal	-	-	-	-
Industrial	Papel e celulose	Álcool etílico	-	-	-	-
Industrial	Papel e celulose	Outras secundárias de petróleo	-	-	-	-
Industrial	Papel e celulose	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Cerâmica	Gás natural	1.339	1.339	2.741	possível substituição por etanol
Industrial	Cerâmica	Carvão vapor	50	50	210	possível substituição por etanol
Industrial	Cerâmica	Lenha	2.657	1.329	5.905	possível substituição de lenha de origem não-renovável (50%)
Industrial	Cerâmica	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Industrial	Cerâmica	Outras primárias renováveis	66	-	-	não haveria potencial (fonte renovável já sendo utilizada)
Industrial	Cerâmica	Óleo diesel	26	26	82	possível substituição por etanol
Industrial	Cerâmica	Óleo combustível	102	102	337	possível substituição por etanol
Industrial	Cerâmica	Gasolina	-	-	-	-
Industrial	Cerâmica	GLP	171	171	420	possível substituição por etanol
Industrial	Cerâmica	Querosene	0	-	-	-
Industrial	Cerâmica	Gás de cidade	-	-	-	-

Continuação

Tabela A.1 - Consumo final energético por fonte e setor, potencial de substituição por etanol e emissões mitigadas

Setores	Subsetor	Fontes	Valores	Valores substituíveis	Reduções mitigadas	Critérios utilizados
Industrial	Cerâmica	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Cerâmica	Elettricidade	376	-	-	não haveria potencial significativo (uso de eletricidade para aquecimento)
Industrial	Cerâmica	Carvão vegetal	-	-	-	-
Industrial	Cerâmica	Álcool etílico	-	-	-	-
Industrial	Cerâmica	Outras secundárias de petróleo	292	292	918	possível substituição por etanol
Industrial	Cerâmica	Outras de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Outras indústrias	Gás natural	1.832	1.832	3.751	possível substituição por etanol
Industrial	Outras indústrias	Carvão vapor	212	212	882	possível substituição por etanol
Industrial	Outras indústrias	Lenha	898	449	1.995	possível substituição de lenha de origem não-renovável (50%)
Industrial	Outras indústrias	Outros produtos da cana	-	-	-	-
Industrial	Outras indústrias	Outras primárias renováveis	-	-	-	-
Industrial	Outras indústrias	Óleo diesel	198	198	622	possível substituição por etanol
Industrial	Outras indústrias	Óleo combustível	111	111	368	possível substituição por etanol
Industrial	Outras indústrias	Gasolina	-	-	-	-
Industrial	Outras indústrias	GLP	262	262	642	possível substituição por etanol
Industrial	Outras indústrias	Querosene	0	-	-	-
Industrial	Outras indústrias	Gás de cidade	-	-	-	-
Industrial	Outras indústrias	Coque de carvão mineral	-	-	-	-
Industrial	Outras indústrias	Elettricidade	3.857	-	-	não haveria potencial significativo (uso de eletricidade para aquecimento)
Industrial	Outras indústrias	Carvão vegetal	13	7	28	possível substituição de carvão vegetal de origem não-renovável (50%)
Industrial	Outras indústrias	Álcool etílico	-	-	-	-
Industrial	Outras indústrias	Outras secundárias de petróleo	503	503	1.583	possível substituição por etanol
Industrial	Outras indústrias	Outras de carvão mineral	-	-	-	-

APÊNDICE B - LEVANTAMENTO DE CUSTOS DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Inicialmente foram levantados os valores de PCI para cada um dos combustíveis:

Tabela B.1 - PCI dos combustíveis (BEN, 2015)

Combustíveis	PCI
Etanol (MJ/kg)	26,3
Óleo diesel (MJ/kg)	42,2
GLP (MJ/kg)	46,4
Gás Natural (MJ/Nm ³)	36,8
Lenha (MJ/kg)	13,0
Carvão Vegetal (MJ/kg)	27,0

Posteriormente, foram levantados os preços para os insumos conforme metodologia abaixo e transformados em uma base MJ/kg com base na planilha acima.

Etanol: preços médios em R\$/litro por região em agosto de 2015 junto ao site da ANP (2015). A densidade do etanol utilizada foi de 0,809 kg/litro (BEN,2015).

Óleo diesel: preços médios em R\$/litro por região em agosto de 2015 junto ao site da ANP (2015). A densidade do óleo diesel utilizada foi de 0,840 kg/litro (BEN,2015).

GLP: preços médios por botijão de 13 kg por região em agosto de 2015 junto ao site da ANP (2015).

Carvão vegetal industrial: pesquisa realizada em agosto de 2015 junto ao site da AMS (2015) para a cidade de Belo Horizonte (região Sudeste). Para as outras regiões não foram encontrados dados.

Carvão vegetal residencial: pesquisa realizada em agosto de 2015 junto ao site Buscapé (2015). O menor preço encontrado foi listado. Para as outras regiões não foram encontrados dados.

Lenha industrial: pesquisa realizada em agosto de 2015 junto ao site do CEPEA (2015). Para as outras regiões não foram encontrados dados.

Lenha residencial: pesquisa realizada em agosto de 2015 junto ao site Buscapé. O menor preço encontrado foi listado. Para as outras regiões não foram encontrados dados.

GN: preços em agosto de 2015 com base nas tabelas das concessionárias Comgas (2015) no estado de São Paulo (Sudeste), Sulgas (2015) no estado do Rio Grande do Sul (Sul), Msgás (2015) no estado do Mato Grosso do Sul (Centro-Oeste) e Bahiagás (2015) no estado da Bahia (Nordeste). Os valores de consumos médios foram obtidos junto a ABEGÁS (2012).

Elettricidade: preços médios em R\$/MWh por região em agosto de 2015 junto ao site da ANEEL (2015).

APÊNDICE C - CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

a) Critérios de seleção do insumo energético pelo consumidor:

- Investimento no equipamento de queima
- Manutenção
- Emissões de GEE
- Facilidade de Transporte
- Emissões de poluentes
- Riscos associados ao custo

- Investimento no equipamento de queima:

Os combustíveis líquidos apresentam o maior valor de investimento de equipamento. Por isso, preferencialmente as notas dadas foram 2. Em alguns casos, foram dadas notas 1, para aplicações em que o investimento é muito baixo (por exemplo: chuveiros elétricos, maçarico). Em alguns casos, foram dadas notas 3 para aplicações que também utilizam óleo diesel como insumo energético (por exemplo: calefação) ou quando a aplicação não necessita de queimadores.

Em relação aos pesos, foram dados valores de 25% para aplicações em o investimento é menor como chuveiro elétrico, maçaricos ou para equipamentos mais disseminados na população. Para aplicações em que o investimento é maior, o uso é menos disseminado ou uso é mais frequente (maior impacto do custo do combustível), foram dados pesos de 15 a 20%.

- Manutenção:

Os combustíveis líquidos apresentam o maior valor de investimento de equipamento e consequentemente no custo de manutenção do equipamento em relação a combustíveis gasosos e eletricidade. Combustíveis sólidos apresentam uma maior necessidade de manutenção pela necessidade de limpeza do equipamento após sua utilização. Por isso, para aplicações em que o uso da eletricidade e de GLP/GN é mais frequente, foram dadas as notas 1 e 2. Para aplicações que utilizam também biomassa e óleo diesel, ou não dependeriam de equipamentos para combustão com etanol como isqueiros, foram dadas notas 3.

Em relação aos pesos, foram dados pesos de 5% para todas as aplicações.

- Emissões de GEE:

O etanol apresenta as menores de GEE, exceto quando comparado com a eletricidade. Desta forma, para aplicações que utilizam majoritariamente eletricidade (por exemplo: chuveiro elétrico), foram dadas notas 3. No restante das aplicações foram dadas notas 5.

- Facilidade de Transporte:

O grande diferencial de combustíveis líquidos é sua facilidade de transporte. Foram dadas notas 5 nas aplicações em geral. Para aplicações sem peso, não foram dadas notas.

Em relação aos pesos, foi dado nenhum peso para aplicações fixas. Para aplicações que necessitem serem transportadas foram dados pesos de 15% (eventualmente transportadas) como frangueiras até 45% para aplicações que necessitem serem transportadas em tempo integral como maçaricos.

- Emissões de poluentes:

O etanol apresenta emissões de gases nocivos e partículas maiores em relação a combustíveis gasosos e menores em relação à biomassa e ao óleo diesel. Foram dadas notas 1 para aplicações que utilizam exclusivamente eletricidade. Para aplicações convencionais que utilizam GN/GLP, foram dadas notas 2. Para aplicações que utilizam biomassa e óleo diesel, como lareira e calefação, foram dadas notas 4.

Em relação aos pesos, foram dados pesos de 10% a 15% para aplicações com interface direta com o consumidor como fogão, fornos, churrasqueira, lareira. Para aplicações com pouca interface foram dados pesos de 5%.

- Custo do insumo energético:

O etanol apresenta, para aplicações residenciais, na maior parte das regiões do país, os maiores custos em uma base energética exceto quando comparado com a eletricidade e carvão vegetal/lenha. Para aplicações comerciais e industriais, o etanol somente é mais barato que a eletricidade.

Foram dadas notas 4 para aplicações que utilizam exclusivamente eletricidade como chuveiros. Para aplicações que utilizam GN/GLP e eletricidade, foram dadas notas 2. Para aplicações que também utilizam lenha/carvão, foram dadas notas 2. Para aplicações que utilizam GN/GLP, foram dadas notas 1. Para algumas aplicações portáteis que utilizam GLP em botijões de pequeno porte, foram dadas notas 3, uma vez que o GLP, nestes casos, apresenta preços superiores ao etanol.

Para aplicações comerciais que utilizam GN/GLP e lenha/carvão vegetal, foram dadas notas 1.

Em relação aos pesos, foram dados pesos de 40 a 50% para aplicações de uso mais intenso. Para aplicações portáteis e com uso menos intenso, foram dados pesos de 15 a 25%.

- Riscos associados ao custo:

O etanol apresenta os maiores riscos associados à variação de preços. O etanol não apresentaria nenhuma vantagem em relação aos combustíveis já utilizados. Desta forma foram dadas notas 1 para maior parte das aplicações. Para aplicações em que o uso do GLP é restrito, como saunas e piscinas, foram dadas notas 2.

Em relação aos pesos, foram dados pesos de 10 a 15% para aplicações de uso mais intenso. Para aplicações portáteis e com uso menos intenso, foram dados pesos de 5%.

b) Critérios de seleção do insumo energético pelo investidor

- Abrangência da solução

- Inovação

- Volume de mercado

- Abrangência da solução:

Este critério está relacionado ao fato do queimador para aquela aplicação ser específico ou necessitar de poucas adaptações para atendimento de diferentes consumidores. Isto minimiza o risco de desenvolvimento, uma vez que se a solução não obtiver sucesso em um mercado, com poucas adaptações pode se efetuar a migração para outras áreas.

Desta forma, foram dadas, por exemplo, notas 1 para aplicações específicas como bico de bunsen e notas 5 para equipamentos mais transversais como aquecedor de passagem.

- Inovação:

Este critério está relacionado ao fato de ser o pioneiro no mercado e garantir pelo menos inicialmente barreiras de mercado em relação aos concorrentes como marca e patentes. Aplicações para os quais já existem produtos a etanol ou que com pequenas modificações poderiam utilizá-lo, obtiveram notas baixas nestes critérios. Soluções com o uso de poucos combustíveis atualmente obtiveram notas altas.

Desta forma, foram dadas, por exemplo, notas 2 para aplicações como fogão portátil e notas 5 para equipamentos como autoclave.

- Volume de mercado:

Os produtos com maior volume hoje tendem a ser mais vantajosos, uma vez que a solução irá atingir uma maior quantidade de consumidores. Além disso, é de interesse do autor que a solução escolhida tenha um maior impacto na redução de GEE.

Desta forma, foram dadas, por exemplo, notas 5 para aplicações mais vendidas como fogão e notas 1 para aplicações como bico de bunsen.

c) Critérios de seleção do equipamento pelo consumidor

- Peso
- Estética
- Volume do aparelho
- Operação de adição de insumo energético
- Aquisição de insumo energético
- Variação de potência
- Consumo de insumo energético
- Potência máxima
- Geração de fuligem/odor
- Segurança
- Facilidade de limpeza
- Facilidade de ignição
- Investimento no equipamento
- Facilidade de manutenção
- Facilidade de instalação

- Peso:

O peso do equipamento é dependente do peso do sistema de combustão e o peso do recipiente de transporte do combustível. Na aplicação de aquecedor de áreas externas o uso do etanol potencialmente iria reduzir o peso do equipamento pela ausência do botijão de GLP. Na aplicação de isqueiro e maçaricos, o sistema de combustão do etanol potencialmente seria

mais complexo impactando consideravelmente o peso do equipamento. Para outras aplicações não haveria impactos consideráveis positivos ou negativos com o uso do etanol.

- Estética:

Este critério está relacionado ao fato de ter mais liberdade para criar um design externo do produto independentemente do combustível utilizado. No caso do aquecedor de áreas externas, a ausência de botijão permitiria conceber geometrias diferentes de produtos. No caso da churrasqueira, o uso do carvão vegetal restringe os tipos de geometria do equipamento; a necessidade de botijão no caso do GLP também restringe as geometrias possíveis. No caso do maçarico, o uso do etanol impactaria negativamente as geometrias. Nas outras aplicações, não se observam impactos significativos.

- Volume do equipamento:

Este critério está relacionado ao fato do volume do equipamento poder ser reduzido com o uso do etanol. No caso do aquecedor de áreas externas, o volume do equipamento poderia ser diminuído pela ausência de botijão. No caso da churrasqueira, o volume poderia ser reduzido também, por não ser necessário espalhar o carvão vegetal sobre uma superfície. No caso do isqueiro e maçarico, o uso do etanol impactaria negativamente o volume do equipamento. Nas outras aplicações, não se observam impactos significativos.

- Facilidade de adição de insumo energético:

Este critério está relacionado à facilidade de adição de insumo energético. O etanol em relação ao GLP não traria vantagens significativas; somente em relação ao uso de carvão vegetal e lenha haveria vantagens, uma vez que a adição destes combustíveis com o equipamento em funcionamento como em churrasqueiras e lareiras é mais difícil. Em relação aos cilindros de butano, utilizado em maçaricos, o etanol traria desvantagens, uma vez que a troca de cilindro é bem simples.

- Facilidade de aquisição de insumo energético:

Este critério está relacionado à quantidade de pontos de vendas disponíveis. Abaixo, a relação de combustíveis e os pontos de vendas.

Tabela C.1 - Combustíveis e pontos de venda

Combustíveis	Pontos de venda
Etanol	Postos de combustíveis
Carvão vegetal	Grandes supermercados, alguns açougues e alguns postos de combustíveis
GLP	Distribuidores
Cilindro de butano	Algumas lojas de material de construção e tabacarias
Lenha	Lojas específicas
Fluido de isqueiro	Tabacarias

Pela maior quantidade de postos de combustíveis em relação, pode se concluir que o etanol é o combustível mais fácil de ser adquirido, apresentando impacto significativo em relação aos outros combustíveis em todas as aplicações.

- Variação de potência:

Este critério está relacionado à possibilidade de variar a potência do equipamento em uso e a facilidade de realizar esta tarefa.

No caso do aquecedor, da lareira e churrasqueira, o etanol e o GLP apresentam uma variação de potência do equipamento simplificada efetuada por meio de válvulas. No caso da biomassa, a variação de potência é dificultada pela necessidade de adição do combustível ou apagamento da chama.

Especificamente, no caso do fogão portátil, a variação de potência é feita por meio de cobrimento de parte da chama, o que também não traz grandes dificuldades. No caso do isqueiro, a concepção do equipamento impede a variação de potência com o uso de etanol e fluido de isqueiro.

- Consumo de insumo energético:

Este critério está relacionado ao custo do insumo energético em uma base energética (R\$/MJ). No caso do aquecedor e da lareira, o etanol apresenta custo mais elevado do que o GLP (P-13), mas mais barato do que a lenha. No caso das outras aplicações, que utilizam botijões portáteis (P-2) e (P-5), cilindros ou carvão vegetal, o etanol apresenta menores custos em todas as aplicações.

- Potência máxima:

Este critério está relacionado com a potência máxima que o equipamento atinge com o determinado combustível. No caso do aquecedor de áreas externas, a potência máxima está

limitada à capacidade de evaporação de GLP no botijão, apresentado o etanol uma vantagem significativa. No caso das churrasqueiras e lareiras, o etanol e combustíveis de biomassa apresentariam a mesma potência, não trazendo vantagens significativas. No caso do maçarico, fogão portátil e isqueiro, a potência máxima não seria diferencial para estes produtos.

- Geração de fuligem/odor:

Este critério está relacionado à geração de fuligem/odor emitido pelo combustível durante sua combustão. Em todas as aplicações que usam GLP/GN, o etanol não apresenta nenhum diferencial; somente quando há utilização de lenha ou carvão vegetal.

- Segurança:

Este critério está relacionado ao risco de sofrer queimaduras no acendimento e no aumento de potência do produto. Em todas as aplicações que usam GLP/GN, o etanol não apresenta nenhum diferencial; somente, quando há utilização de lenha ou carvão vegetal, uma vez que o usuário muitas vezes se expõe ao risco para o acendimento/aumento deste tipo de equipamento.

- Facilidade de limpeza:

Este critério está relacionado à facilidade de limpeza do produto. Em todas as aplicações que usam GLP/GN, o etanol não apresenta nenhum diferencial, uma vez que a combustão não gera resíduos. Quando há utilização de lenha ou carvão vegetal, há geração de resíduos que são retirados pelo usuário após o uso.

- Facilidade de ignição:

Este critério está relacionado à facilidade de ignição do combustível. Combustíveis gasosos apresentam uma maior facilidade em relação a combustíveis líquidos e sólidos. Nestes casos o etanol apresentaria vantagem somente em relação ao carvão vegetal e lenha.

- Investimento no equipamento:

Este critério está relacionado ao investimento no equipamento de combustão. Em quase todos os casos o etanol não traria vantagens significativas uma vez que seria necessário um sistema de combustão mais complexo, exceto no caso do fogão portátil em que o método de combustão seria do tipo *pool fire* e no caso do isqueiro o método seria similar aos isqueiros recarregáveis.

- Facilidade de manutenção:

Este critério está relacionado à facilidade de manutenção dos equipamentos. Em todos os casos o etanol não traria vantagens significativas uma vez que seria necessário um sistema de combustão mais complexo e conseqüentemente que demandaria maior manutenção por parte do usuário.

- Facilidade de instalação:

Este critério está relacionado à facilidade de colocar o equipamento em uso após sua aquisição do produto ou modificação de sua posição. Não foram observadas vantagens significativas do etanol em relação a nenhum dos equipamentos analisados.

APÊNDICE D - NOTAS DE SELEÇÃO DO INVESTIDOR

Tabela D.1 - Notas de seleção do investidor

		Critérios de seleção do investidor			Ponderação
		Abrangência da solução	Inovação	Volume	
Cluster	Equipamentos	33%	33%	33%	
alta potência e alta penetração	forno	2	4	4	3,33
	fogão	3	2	5	3,33
	cooktop	3	2	5	3,33
	aquec. de água tipo boiler	3	4	3	3,33
	aquecedor de passagem	5	2	4	3,67
	chuveiro	3	5	5	4,33
alta potência e baixa penetração	secadoras de roupas	2	3	3	2,67
	aquecedor de ambiente	3	3	3	3,00
	calefação	4	3	1	2,67
	piscina	4	4	2	3,33
	banheiras	4	4	2	3,33
	sauna	3	4	2	3,00
	piso radiante	1	5	1	2,33
bio-massa	lareira	4	2	2	2,67
	churrasqueira	3	4	3	3,33
aplicações portáteis	aquecedor de área externas	3	4	2	3,00
	maçaricos	4	5	2	3,67
	isqueiros	1	5	5	3,67
	toalheiro	1	4	1	2,00
	tochas	3	2	1	2,00
	fogão portátil	4	2	2	2,67
coção	forno diretos	3	3	2	2,67
	fornos indiretos	2	3	1	2,00
	forno de pizza	2	4	2	2,67
	fogão	4	3	3	3,33
	frangueira	2	3	1	2,00
	chapas quentes	2	3	1	2,00
lava-gem de roupas	secadoras de roupas	2	3	1	2,00
	máquina de lavar	2	3	1	2,00
con-forto térmico	calefação	4	3	1	2,67
	ciclo de absorção para refrigeração	4	3	1	2,67
lazer	piscinas	4	4	2	3,33
	sauna	3	4	2	3,00
labo-ratório	bico de bunsen	1	5	1	2,33
	autoclave	1	5	1	2,33
diversos setores	central de água quente	4	3	2	3,00
	gerador de vapor	4	3	3	3,33
	maçaricos	4	4	2	3,33
agropecuário	secadoras de grãos	4	3	3	3,33
	torrefação de grãos	2	3	1	2,00
	aquecimento de granjas	3	3	2	2,67
	estufas	3	3	2	2,67

APÊNDICE E - DIMENSIONAMENTO DA VAPORIZAÇÃO DO ETANOL

Com intuito de se avaliar a possibilidade de se vaporizar o etanol, ao invés de pulverizá-lo, foi calculada a potência necessária conforme Tabela E.1 abaixo.

Tabela E.1 - Dimensionamento da vaporização do etanol

Cálculo	Fontes	Unidades	Valores
Pressão ambiente (P_{amb})	dado	kPa	102,8
Temperatura ambiente (T_{amb})	dado	°C	20
Potência da aplicação (P)	dado	kW	7,7
PCI_{etanol}	BEN(2015)	MJ/kg	26,3
Temperatura de vaporização do etanol ($T_{etanol,vap}$)	Reid (1987)	°C	78,7
Calor específico do etanol (Cp_{etanol})	Zábranský et al. (1996) apud Henke et al. (2010)	kJ/°C.kg	2,6
Calor específico da água ($Cp_{água}$)	dado	kJ/°C.kg	4,18
Entalpia de vaporização do etanol ($\Delta h_{etanol,vap}$)	Majer e Svoboda (1985) apud Henke et al. (2010)	kJ/kg	840
Entalpia de vaporização da água ($\Delta h_{água,vap}$)	Sonntag et al. (2003)	kJ/kg	2.378
Percentual de água no etanol (x)	Garcia e Brunetti (1992)	%	6,90%
Vazão mássica de etanol hidratado (m'_{etanol})	calculado: $P/(PCI_{etanol} * 1000)$	kg/s	2,93E-04
Vazão mássica de etanol sem água ($m'_{etanol,s/água}$)	calculado: $m'_{etanol} * (1-x)$	kg/s	2,73E-04
Vazão mássica de água no etanol ($m'_{água}$)	calculado: $m'_{etanol} * x$	kg/s	2,02E-05
Temperatura média para cálculo de Cp (T_m)	calculado: $(T_{amb} + T_{etanol,vap})/2$	°C	49,4
Potência para aquecer a $T_{etanol,vap}$ (P_{aquec})	calculado: $(m'_{etanol,s/água} * Cp_{etanol} + m'_{água} * Cp_{água}) * (T_{etanol,vap} - T_{amb})$	kW	0,047
Potência para vaporizar (P_{vap})	calculado: $m'_{etanol,s/água} * \Delta h_{etanol,vap} + m'_{água} * \Delta h_{água,vap}$	kW	0,277
Potência total (P)	calculado: $P_{aquec} + P_{vap}$	kW	0,324
Fração da potência necessária para vaporizar o etanol	calculado: P_v/P	%	4,2%

APÊNDICE F - DIMENSIONAMENTO INICIAL E VALORES MEDIDOS

A especificação do bico injetor foi calculada, utilizando-se a tabela F.1 abaixo. Uma vez que, ao invés de óleo diesel, etanol é utilizado, as vazões devem ser corrigidas considerando as diferenças de densidade e viscosidade entre os combustíveis. Além disso, deve ser feita a correção considerando que a pressão da bomba de combustível é menor que a utilizada para queimadores a óleo.

Tabela F.1 - Dimensionamento inicial da vazão de etanol para bico de 0,25 GPH e vazão obtida

	Fontes	Unidades	Valores
Vazão volumétrica do bico ($Q'_{\text{óleo}}$)	dado do fabricante	GPH	0,25
Densidade do óleo diesel ($d_{\text{óleo}}$)	BEN (2015)	kg/m ³	840
Vazão mássica do bico ($m'_{\text{óleo}}$)	calculado: $(Q'_{\text{óleo}} * 3,7854 * d_{\text{óleo}}) / 1000$	kg/h	0,79
$PCI_{\text{óleo}}$	BEN (2015)	kJ/kg	42.200
Potência do bico ($P_{\text{óleo}}$)	calculado: $(m'_{\text{óleo}} * PCI_{\text{óleo}}) / 3600$	kW	9,32
Vazão volumétrica do bico em l/h ($Q'_{l/h, \text{óleo}}$)	calculado: $Q'_{\text{óleo}} * 3,7854$	litros/h	0,95
Densidade do etanol (d_{etanol})	BEN (2015)	kg/m ³	809
Vazão mássica com etanol corrigida pela densidade ($m'_{d, \text{etanol}}$)	calculado: $Q'_{l/h, \text{óleo}} * (d_{\text{óleo}} / d_{\text{etanol}})^{(0,5)} * (d_{\text{etanol}}) / 1000$	kg/h	0,78
Influência da viscosidade (x)	Delavan (2014)	-	2,5%
Vazão mássica com etanol corrigida pela viscosidade ($m'_{v, \text{etanol}}$)	calculado: $m'_{d, \text{etanol}} * (1-x)$	kg/h	0,76
Pressão do óleo diesel ($p_{\text{óleo}}$)	dado do fabricante	bar	7
Pressão do etanol (p_{etanol})	dado	bar	4
Vazão mássica com etanol corrigida pela pressão (m'_{etanol})	calculado: $m'_{v, \text{etanol}} * (p_{\text{etanol}} / p_{\text{óleo}})^{(0,5)}$	kg/h	0,57
PCI_{etanol}	média de BEN (2015), Bizzo(2013), Dal Bem (2008), Vila Nova (2007) e Melo et al. (2012)	kJ/kg	$(25,0 \pm 0,9) * 10^3$
Potência do bico com etanol (P_{etanol})	calculado: $m'_{\text{etanol}} * PCI_{\text{etanol}}$	kW	3,99
Vazão mássica real ($m'_{\text{etanol, real}}$)	medido	kg/h	$0,592 \pm 0,026$
Potência do bico com etanol ($P_{\text{etanol, real}}$)	calculado: $m'_{\text{etanol, real}} * PCI_{\text{etanol}}$	kW	$4,11 \pm 0,23$

Observa-se nas tabelas F.2 e F.3 abaixo o dimensionamento inicial para sua aplicação final. Foi estimada a temperatura do queimador em 750 °C. Com base neste valor e com a potência do queimador, foi feito todo o dimensionamento do sistema por método iterativo variando o valor do excesso de ar. Pode se citar como a variável com menor conhecimento a taxa de transferência de calor por radiação que pode variar de 10-30%. Para o dimensionamento, foi utilizado um valor intermediário de 20%.

Tabela F.2 - Dimensionamento inicial da vazão de ar para bico de 0,25 GPH

	Fontes	Unidades	Valores
Taxa de transferência de calor por radiação (q)	estimado (15-25%)	%	20%
Temperatura ambiente (T_{amb})	dado	°C	25,0
Temperatura máxima de trabalho ($T_{máx}$)	calculado: $T_{amb} + ((PCI_{etanol} * MM_{pond,etanol} * 1000) * (1 - q)) / \sum cp * MM_{pond}$	°C	749,6
Excesso de ar (e)	iterado para $T_{máx} = 750$ °C	-	182%
Razão ar-combustível estequiométrica ($R_{ar,comb,est}$)	calculado para $e=0$	-	8,34
Razão ar-combustível ($R_{ar,comb}$)	calculado: $(MM_{pond, reag, N_2} + MM_{pond, reag, O_2}) / MM_{pond, etanol}$	-	23,51
Vazão mássica de ar (m'_{ar})	calculado: $R_{ar,comb} * m'_{etanol}$	kg/h	13,52
Densidade do ar seco em São Paulo a 25 °C	dado	kg/m ³	1,08
Vazão volumétrica de ar (Q'_{ar})	calculado: m'_{ar} / d_{ar}	m ³ /h	12,5

Tabela F.3 - Valores da reação química para dimensionamento inicial

	Componentes	Massa molecular (MM)	índices da reação (i)	Massa Molecular ponderada ($MM_{pond} = MM * i$)	cp (kJ/kg)(387 °C) EES	cp*MM _{pond}
Produtos	H ₂ O	18	3,19	57	2,062	118
	CO ₂	44	2,00	88	1,108	98
	N ₂	28	31,81	891	1,089	970
	O ₂	32	5,46	175	1,018	178
	Σ	-	42,46	1.211	-	1.364
Reagentes	C ₂ H ₅ OH	46	1,00	46		
	H ₂ O no combustível	18	0,19	3,4		
	Etanol hidratado (6,90% de massa de H ₂ O)	-	-	49		
	N ₂	28	31,81	891		
	O ₂	32	8,46	271		
	% _{INPM,etanol}	Bizzo (2013)	%	6,90%		

Foram realizadas medições de temperatura no centro do queimador obtendo-se uma temperatura aproximada de 900 °C, superior à temperatura de 750 °C estimada inicialmente. As medições de temperatura degradavam o termopar, impedindo diversas medições, impossibilitando o cálculo da incerteza.

Com este valor de temperatura e com as vazões reais de combustível, pôde-se estimar uma taxa de radiação do queimador por volta de 27%. O cálculo da incerteza também não foi

possível, uma vez que, além da impossibilidade de cálculo de incerteza da temperatura do queimador, a vazão de combustível é correlacionada com esta temperatura, exigindo um estudo de correlação das duas variáveis.

Deve-se salientar também que foram feitas algumas simplificações como a temperatura do queimador uniforme e emissividade do queimador igual a 1; infelizmente, o fornecedor do queimador não dispõe de dados. Além disso, pressupõe-se uma combustão completa do etanol.

Com todas estas simplificações, pode-se estimar que por volta 71% do ar de combustão não é disponibilizado pelo soprador, conforme tabelas F.4 e F.5 abaixo.

Tabela F.4 - Dimensionamento final da vazão de ar para bico de 0,25 GPH

	Fontes	Unidades	Valores
Potência do bico com etanol ($P_{\text{etanol,real}}$)	calculado: $m'_{\text{etanol,real}} * PCI_{\text{etanol}}$	kW	4,11
Diâmetro do queimador (D)	medido	m	0,115
Potência por área de queimador ($P_{\text{área}}$)	calculado: $P_{\text{etanol,real}} / (\pi * D^2 / 4)$	kW/m ²	396
Temperatura do queimador (T)	medido	°C	900
Temperatura ambiente (T_{amb})	dado	°C	25,0
Emissividade do queimador (ϵ)	estimado por Hall e Peroutka (1995)	-	1
Potência de radiação (P_{rad})	calculado: $\epsilon * \sigma_{\text{stefan-boltzmann}} * ((T+273)^4 - (T_{\text{amb}}+273)^4) / 1000$	kW/m ²	107
Taxa de transferência de calor por radiação (q)	calculado: $P_{\text{rad}} / P_{\text{área}}$	%	27%
Temperatura de aquecimento (T_{aquec})	medido	°C	120,0
Temperatura máxima de trabalho ($T_{\text{máx}}$)	calculado: $T_{\text{aquec}} + ((PCI_{\text{etanol}} * MM_{\text{pond,etanol}} * 1000) * (1 - q)) / \sum c_p * MM_{\text{pond}}$	°C	900,3
Excesso de ar (e)	iterado para $T_{\text{máx}} = 900$ °C	-	126%
Razão ar-combustível estequiométrica ($R_{\text{ar,comb,est}}$)	calculado para e=0	-	8,34
Razão ar-combustível ($R_{\text{ar,comb}}$)	calculado: $(MM_{\text{pond, reag, N}_2} + MM_{\text{pond, reag, O}_2}) / MM_{\text{pond, etanol}}$	-	18,84
Vazão mássica de ar (m'_{ar})	calculado: $R_{\text{ar,comb}} * m'_{\text{etanol,real}}$	kg/h	11,15
Densidade do ar seco em São Paulo a 25 °C	dado	kg/Nm ³	1,08
Vazão volumétrica de ar (Q'_{ar})	calculado: $m'_{\text{ar}} / d_{\text{ar}}$	m ³ /h	10,3
Vazão volumétrica de ar do soprador (Q'_{sop})	medido	m ³ /h	3,0
Diferença dimensionado x soprador	calculado: $(Q'_{\text{ar}} - Q'_{\text{sop}}) / Q'_{\text{ar}}$	-	71%

Tabela F.5 - Valores da reação química para dimensionamento final

	Componentes	Massa molecular (MM)	índices da reação (i)	Massa Molecular ponderada ($MM_{pond}=MM*i$)	cp (kJ/kg)(527°C) EES	cp*MM _{pond}
Produtos	H ₂ O	18	3,19	57	2,147	123
	CO ₂	44	2,00	88	1,168	103
	N ₂	28	25,49	714	1,122	801
	O ₂	32	3,78	121	1,054	127
	Σ	-	34,46	980	-	1.154
Reagentes	C ₂ H ₅ OH	46	1,00	46		
	H ₂ O no combustível	18	0,19	3,4		
	Etanol hidratado (6,90% de massa de H ₂ O)	-	-	49		
	N ₂	28	25,49	714		
	O ₂	32	6,78	217		
	% _{INPM,etanol}	Bizzo (2013)	%	6,90%		