

PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

*** Edição 2014 ***

PARTICIPANTE: KRONA CONSULTORIA E PROJETOS
e DMJ ENGENHARIA E CONSULTORIA

CATEGORIA: MEIO AMBIENTE

TÍTULO:

**REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO
COM MISTURAS GLP - BioDME**



PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA
*** Edição 2014 ***

PARTICIPANTES: KRONA CONSULTORIA E PROJETOS
DMJ ENGENHARIA E CONSULTORIA

CATEGORIA: MEIO AMBIENTE

TÍTULO: REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO
COM MISTURAS GLP – BioDME

AUTORES: Fernando Cörner da Costa ⁽¹⁾
Denis Pinto Monteiro ⁽²⁾

(1) Eng. Mecânico (PUC-RJ), Eng. de Segurança do Trabalho (UERJ), M.Sc. em Processos Químicos e Bioquímicos (Mauá), D.Sc. em Energia (USP) e *Senior Partner* da Krona.

(2) Eng. Mecânico (FEI), Sócio-Gerente e Consultor da DMJ.

ABSTRACT

This paper shows the possibilities of Liquefied Petroleum Gas (LPG) – BioDimethyl Ether (BioDME) blends in order to reduce carbon footprint. Based on international experience tests were performed in domestic stoves, considering that about 80% of the LPG sold in Brazil is intended to residential applications. The test results show the reliability of this premise and the conclusions are reported.

RESUMO

Este trabalho mostra as possibilidades das misturas Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) – BioDimetil Éter (BioDME) com o objetivo de reduzir a pegada de carbono. Baseando-se na experiência internacional, testes foram desenvolvidos em fogões domésticos, considerando que cerca de 80% do GLP vendido no Brasil destina-se a aplicações residenciais. Os resultados dos testes mostraram a viabilidade desta premissa e as conclusões foram relatadas.

1. BREVE HISTÓRICO DAS EMPRESAS

A KRONA e a DMJ são empresas de consultoria independentes de pequeno porte, fundadas respectivamente pelos engenheiros Fernando Cörner da Costa e Denis Pinto Monteiro, com os objetivos principais de desenvolverem tecnologias e projetos na área de energia, notadamente no tema “Gases Combustíveis”.

Ambos os engenheiros possuem uma extensa folha de trabalho nesta área. Denis dedicou-se 28 anos de sua vida profissional à Cia. Ultragaz S.A., enquanto que Fernando já totalizou 39 anos de trabalho em várias empresas de gás e de consultoria no Brasil e no exterior.

Atualmente as duas empresas desenvolvem muitos projetos em parceria, como no caso deste *paper*.

2. MOTIVAÇÃO PARA ESTE DESENVOLVIMENTO

Desde a antiguidade, a humanidade vem utilizando energéticos para suprir suas necessidades básicas, como geração de calor para aquecimento de ambiente e iluminação. Nos primórdios da raça humana utilizava-se a biomassa sob a forma de lenha e o impacto ambiental podia ser considerado desprezível. Porém, quatro séculos antes da era cristã o filósofo Platão já lamentava a destruição das florestas que cobriam as montanhas da Grécia tornando-as estéril (GOLDENBERG E VILLANUEVA, 2003). Outro relato segundo Fagan (2008), as florestas da Europa já haviam sido devastadas em mais de 50% entre os anos 1100 e 1350.

Assim, a demanda crescente por energia exigida por uma humanidade em expansão, associada ainda aos progressos tecnológicos que visam aumento do conforto, culminou no esgotamento dos recursos naturais e da capacidade do meio ambiente de absorver a enorme quantidade de resíduos gerada no final do

Século XX (COSTA, 2013). Nesta cesta de resíduos destaca-se a emissão de dióxido de carbono, à qual se atribui uma forte parcela das causas das mudanças climáticas. O propagado uso de tecnologias ambientalmente sustentáveis é, atualmente, um dos objetivos mais desejados pela humanidade. Porém existem ainda muitas barreiras tecnológicas e econômicas a serem vencidas. Assim, os habitantes do planeta Terra ainda serão obrigados, por muitos anos, a conviver com tecnologias não tão sustentáveis, passando por vetores energéticos ambientalmente amigáveis até que, algum dia, talvez possa depender apenas de energias limpas.

Este *paper* se enquadra neste processo de busca de energéticos menos poluentes buscando uma redução, ainda que discreta, da pegada de carbono na utilização das misturas de Gás LP com BioDimetil Eter (BioDME), cuja fórmula química é C_2H_6O ou CH_3-O-CH_3 . As aplicações desta mistura podem ser feitas tanto para uso nas residências como também no comércio e na indústria. Entretanto ainda existe a dependência da matéria-prima usada na obtenção do DME para se estabelecer as emissões de carbono. O uso de BioDME, obtido a partir de gás de biodigestão anaeróbica (gás de aterro sanitário ou gás de esgoto) ou licor negro, via gás de síntese, reduz significativamente as emissões de carbono em relação ao DME produzido a partir de gás natural. Porém ainda não existe produção significativa de BioDME no mundo, quer dizer, em nível comercial.

3. USO DE GÁS LP EM RESIDÊNCIAS

No passado, até o início do uso do GLP no Brasil em 1937 com a fundação da Cia. Ultragaz S.A., os combustíveis utilizados para cocção residencial eram o querosene e a lenha. A má queima desses combustíveis no ambiente residencial, oriunda de equipamentos arcaicos e sua má manutenção, em muito prejudicava a saúde das famílias. Atualmente este problema ainda persiste nas famílias de baixa renda que necessitam utilizar fogão a lenha.

Segundo o Dr. Drauzio Varella (<http://drauzioarella.com.br/drauzio/fogao-a-lenha/>), “a Organização Mundial de Saúde (OMS) considera o fogão a lenha o fator ambiental responsável pelo maior número de mortes, no mundo inteiro. Morre mais gente como consequência desse tipo de poluição doméstica do que de malária (causadora de 800 mil mortes/ano).”

O uso do GLP em substituição à lenha tem proporcionado significativos ganhos quanto à saúde das famílias. Apesar de sua combustão limpa e do fato de ser um combustível considerado ecologicamente amigável, o GLP ainda contribui para o aumento da pegada de carbono, apesar das emissões serem inferiores às dos óleos combustíveis considerando-se a mesma equivalência energética.

Atualmente cerca de 80% do GLP vendido no Brasil é destinado a aplicações residenciais, enquanto que a média mundial significa pouco mais de 48% (SINDIGÁS, 2014).

4. EMISSÕES PARA O MEIO AMBIENTE

A análise comparativa entre os principais energéticos mostra claramente, na Tabela 1, as qualidades ecológicas do GLP e do DME em relação aos principais combustíveis, comparando-se as emissões de carbono. Além disso, outra qualidade ecológica dos dois citados gases combustíveis são as desprezíveis emissões de enxofre sob a forma de óxidos após a queima.

Aparentemente, a citada tabela indica o gás natural (GN) como sendo o combustível que menos contribui para a pegada de carbono para o mesmo equivalente energético, quando queimado. Porém, deve-se levar em consideração que o gás natural apresenta cerca de 90% de metano em sua composição, um gás de significativo poder de estufa se não queimado. Em um horizonte de 100 anos, o efeito estufa do metano seria equivalente a 21 vezes o efeito de gás carbônico considerando a relação em base mássica (UNITED

NATIONS, 1992). Associando-se ao fato de que sempre existem vazamentos nas redes de transmissão e distribuição de GN, bastariam fugas de 0,47% para que o efeito estufa gerado fosse equivalente às emissões do GLP (COSTA, 2014). Considerando que as tais perdas são habitualmente estipuladas em 1% nas Condições Gerais de Prestação de Serviço de Distribuição de Gás Canalizado para Consumidores Livres (CEG, 2007), é possível concluir que as emissões de carbono geradas pela queima de GLP são inferiores às emissões do gás natural, já que os componentes do GLP não geram efeito estufa sem queimar.

Por sua vez, embora o DME apresente uma emissão específica próxima do GLP, dependendo da origem de sua matéria-prima ele pode ser considerado um combustível ambientalmente correto quando oriundo de biomassa (BIO-DME).

As emissões de carbono do DME indicadas na Tabela 1 levaram em conta sua produção a partir de gás natural. Porém tais emissões de CO₂ se reduzem significativamente no caso do BioDME; segundo Wahlund, Yan e Westermarck (2004), tais emissões diretas são consideradas como zero e as emissões indiretas são inexpressivas: 5,0 kg CO₂/10⁶ kcal. Já as emissões do GLP resultam em 270,5 kg CO₂/10⁶ kcal.

Assim, a premissa de se misturar BioDME ao GLP é uma alternativa que possibilita a redução do poder estufa em relação ao tradicional gás de cozinha. Na indisponibilidade do BioDME para os ensaios, foi utilizado o DME produzido pelo Grupo Peixoto de Castro a partir da rota gás natural-metanol, não havendo diferença na composição final de ambos produtos.

Cabe então neste *paper* analisar essas misturas em relação ao desempenho nos fogões domésticos, tanto no que se refere ao estabelecimento e à estabilidade de chama como nas eficiências do aquecimento.

Tabela 1. Emissões de gás carbônico

EMISSÕES DE CO₂						
COMBUSTÍVEL	UC	PCI (kcal/UC)	UC/10⁶ kcal	kg C/UC	kg CO₂/UC	kg CO₂/10⁶ kcal
óleo OC-1A	kg	9.551	104,7	0,865	3,172	332,1
óleo OC-1B	kg	9.824	101,8	0,882	3,234	329,2
óleo OC-2A	kg	9.502	105,2	0,865	3,172	333,8
óleo OC-2B	kg	9.827	101,8	0,883	3,238	329,5
óleo OC-3A	kg	9.452	105,8	0,865	3,172	335,6
óleo OC-3B	kg	9.721	102,9	0,883	3,238	333,1
óleo OC-4A	kg	9.417	106,2	0,864	3,168	336,4
óleo OC-4B	kg	9.728	102,8	0,884	3,241	333,2
óleo diesel	L	8.605	116,2	0,731	2,680	311,5
querosene	L	8.310	120,3	0,687	2,519	303,1
GLP	kg	11.100	90,1	0,819	3,003	270,5
GN Bolívia	m ³	8.600	116,3	0,590	2,163	251,6
DME	kg	6.900	144,9	0,522	1,914	277,4
OBS.: UC = unidade de comercialização m³ considerado a 20°C e 1 atm abs						

Fonte: elaboração própria

5. DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS

Para o desenvolvimento dos ensaios foi contratada a empresa Sical do Brasil Ltda., estabelecida na cidade de São Paulo, tendo sido fornecido pela Ultragaz os 5 (cinco) tipos de diferentes misturas gasosas de forma a se explorar os limites de composição do GLP nas misturas com o DME, o que se justifica pelo fato das possíveis variações na composição do GLP.

As misturas fornecidas pela contratante dos serviços, a Cia. Ultragaz S.A., foram acondicionadas em cilindros novos, nunca antes utilizados e após uma exaustiva purga do ar originalmente contido em seu interior com as misturas gasosas que cada cilindro iria armazenar, tendo sido escolhidas as seguintes composições nominais:

- Mistura 1: DME + butano (cilindro 031818)
- Mistura 2: DME + propeno (cilindro 032704)
- Mistura 3: DME + GLP padrão (cilindro 032454)
- Mistura 4: DME + propano (cilindro 031213)
- Mistura 5: GLP padrão (cilindro 032443)

Foi utilizado, ainda, o butano padrão rede (gás especial de referência), fornecido pela Sical, com teor mínimo de 97% de C4 parafínico.

Estas quatro misturas e o GLP padrão foram analisadas antecipadamente no laboratório da Ultragaz em Mauá SP, por cromatografia em fase gasosa, tomando-se duas amostras para cada mistura: uma amostra colhida na fase líquida e a outra na fase vapor. Os resultados dessas análises se encontram disponíveis no Anexo 1.

Como podem ser observadas, as análises das amostras indicaram composições diferentes para cada mistura entre as composições das fases líquida e vapor,

como era esperado. As frações mais voláteis (mais leves) se encontram presentes em maiores proporções na fase vapor do que na fase líquida. Foram consideradas as composições na fase vapor para a elaboração dos cálculos, pois os ensaios foram realizados a partir das tomadas de gás conectadas nesta fase vapor.

Os ensaios foram realizados pela Sical no mês de agosto de 2011, conforme as Normas Brasileiras da ABNT: NBR 13723-1:2003; NBR 13723-2:1999; e Regulamento Específico para Uso Nacional da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

O equipamento utilizado para comparação dos resultados foi o tradicional fogão doméstico. Os ensaios foram realizados tanto nos queimadores da mesa como nos queimadores do forno.

Os ensaios, segundo a NBR 13723, apresentam os seguintes objetivos na comparação do GLP padrão com a mistura GLP-DME:

- a obtenção da potência nominal, para servir de referência no ensaio de rendimento (item 6.1.2.1);
- a verificação da conformidade quanto à ignição, propagação da chama e estabilidade da chama nos queimadores da mesa (item 6.2.1);
- a verificação da conformidade quanto à ignição, propagação da chama e estabilidade da chama no queimador do forno (item 6.3.1);
- a verificação da qualidade da combustão quanto às emissões de monóxido de carbono (item 6.2.2);
- e o rendimento dos queimadores (item 3.1).

6. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos indicaram que as características da queima em relação ao GLP padrão pouco se alteraram, indicando a viabilidade da aplicação da mistura GLP-DME em fogões domésticos.

Os seguintes itens apresentam os resultados comparativos com os respectivos comentários.

6.1 POTÊNCIA NOMINAL DOS QUEIMADORES

Os resultados dos ensaios referentes ao Item 6.1.2.1 da NBR 13723 indicaram os valores constantes na Tabela 2, comparando-se as potências obtidas com o gás Butano padrão rede e a Mistura 1:

Tabela 2. Potências obtidas

NBR 13723	Butano padrão rede	Mistura 1 DME + butano
Item 6.1.2.1	1,69 kW	1,68 kW

Os resultados da Tabela 2 indicaram uma ligeira redução de 0,01 kW (0,59%) na potência do queimador quando em uso com a mistura DME – butano. Isso se justifica pela diferença dos índices de Wobbe entre o Butano padrão rede e a Mistura DME + butano. Tal diferença exigiria um tempo ligeiramente superior para o aquecimento, caso a prática da potência máxima fosse exigida. Pois como o uso dos queimadores na potência máxima não ocorre continuamente e os valores entre as potências é mínima, pode se inferir que, na prática, os tempos de cocção raramente seriam alterados.

6.2 IGNIÇÃO, PROPAGAÇÃO DA CHAMA E ESTABILIDADE DA CHAMA – QUEIMADORES DA MESA

Os resultados dos ensaios referentes ao Item 6.2.1 da NBR 13723, comparando-se as Misturas 1, 2 e 4, estão informados na Tabela 3.

Tabela 3. Características do Item 6.2.1 – queimadores da mesa

NBR 13723	Mistura 1 DME + butano	Mistura 2 DME + propeno	Mistura 4 DME + propano
Item 6.2.1	conforme	conforme	conforme

Os resultados de todos os ensaios indicaram a conformidade com as exigências deste item da citada norma. Assim, nenhuma alteração quanto às características da ignição, propagação e estabilidade da chama nos queimadores da mesa foi detectada.

6.3 IGNIÇÃO, PROPAGAÇÃO DA CHAMA E ESTABILIDADE DA CHAMA – QUEIMADOR DO FORNO

De forma análoga ao item 6.2, foram realizados os ensaios tendo sido encontrados os seguintes resultados, para as Misturas 1, 2 e 4, na Tabela 4.

Tabela 4. Características do Item 6.2.1 – queimador do forno

NBR 13723	Mistura 1 DME + butano	Mistura 2 DME + propeno	Mistura 4 DME + propano
Item 6.3.1	conforme	conforme	conforme

Todos os ensaios indicaram a conformidade com as exigências do item 6.3.1 da norma NBR 13723, não havendo nenhuma alteração quanto às características analisadas.

6.4 QUALIDADE DA COMBUSTÃO

Este ensaio tem por objetivo analisar as emissões de monóxido de carbono neutro encontrado nos efluentes dos produtos da combustão. Os ensaios comparativos analisaram e compararam a qualidade da combustão entre o Butano padrão rede e as Misturas 1, 3 e 5, cujos resultados seguem na Tabela 5.

Tabela 5. Qualidade da combustão

NBR 13723 Item 6.2.2	Butano padrão rede	Mistura 1 DME + butano	Mistura 3 DME + GLP	Mistura 5 GLP padrão
Ensaio 1	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
Ensaio 2	0,03%	0,03%	0,02%	0,02%

Como o valor máximo admissível para o CO Neutro Medido na combustão de gases da terceira família é de 0,15%, conclui-se que os valores acima podem ser considerados excelentes em todos os ensaios.

6.5 RENDIMENTOS TÉRMICOS

Os rendimentos térmicos encontrados no aquecimento de água com a utilização de panela-padrão estão indicados na Tabela 6. A duplicidade dos ensaios teve por objetivo a confirmação dos valores, onde uma diferença mínima ocorreu apenas com a Mistura 1.

Tabela 6. Rendimentos térmicos

NBR 13723 Item 3.1	Butano padrão rede	Mistura 1 DME + butano	Mistura 3 DME + GLP	Mistura 5 GLP padrão
> ou = 52%	61,3%	53,20%	52,80%	48,10%
NBR 13723 Item 3.1	Butano padrão rede	Mistura 1 DME + butano	Mistura 3 DME + GLP	Mistura 5 GLP padrão
> ou = 52%	61,3%	53,30%	52,80%	48,10%

O rendimento térmico determinado sob as condições de ensaio deve ser maior ou igual a 52%, considerando-se o cálculo sobre o poder calorífico superior (PCS).

Os rendimentos mais elevados foram encontrados com a utilização do Butano padrão rede, certamente devido à mais elevada potência obtida (Item 6.1) e à maior taxa de transferência de calor por radiação. Comparando-se os rendimentos obtidos entre a Mistura 1 e a Mistura 3, também seria esperado um maior rendimento da primeira mistura devido a tratar-se de Butano como foi confirmado.

Porém a informação surpreendente veio na comparação da Mistura 3 com a Mistura 5, onde a mistura DME + GLP apresentou um rendimento significativamente mais elevado (52,80%) do que o ensaio com o GLP padrão (48,10%).

7. REFLEXÕES

As cinco misturas utilizadas nos ensaios tiveram propósitos distintos, razão pela qual não foram utilizadas em todos os testes. Muito embora a comparação que mais interessa, sob o ponto de vista prático, seja a do GLP padrão (Mistura 5) com a do GLP padrão mais DME (Mistura 3), havia também a necessidade de se verificar o comportamento de misturas críticas (Misturas 1, 2 e 4) quanto à ignição, propagação e estabilidade de chama, além da qualidade da combustão.

A produção do DME a partir de biomassa (ou BioDME), como gases de biodigestão anaeróbica de esgotos e aterros sanitários, embora implique ainda em algumas emissões indiretas de carbono, significa valores de emissão muito baixos conforme visto no Capítulo 4.

Considerando a Mistura 3, a composição percentual molar na fase vapor do cilindro fornecido foi 88,48% GLP + 11,52% DME, composição esta efetivamente

queimada nos ensaios. E, considerando a Mistura 5, GLP padrão (100% GLP), é possível estimar as emissões:

O PCS e as emissões de CO₂ da fase vapor da Mistura 3 (GLP+DME), considerando a origem biomássica do DME são as seguintes:

- GLP: $22.519 \text{ kcal} \times 0,2705 \text{ kg CO}_2/10^3 \text{ kcal} = 6,091 \text{ kg CO}_2$
- BioDME: $\frac{1.693 \text{ kcal} \times 0,0050 \text{ kg CO}_2/10^3 \text{ kcal}}{24.212 \text{ kcal/m}^3} = 0,008 \text{ kg CO}_2$
- Mistura: $24.212 \text{ kcal/m}^3 @ 15^\circ\text{C}, 1 \text{ atm} = 6,099 \text{ kg CO}_2$
- Emissões específicas: $6,099 / 24,212 = 0,2519 \text{ kg CO}_2/10^3 \text{ kcal}$

O PCS e as emissões de CO₂ da fase vapor da Mistura 5 (GLP padrão) são as seguintes:

- GLP: $25.745 \text{ kcal/m}^3 \times 0,2705 \text{ kg CO}_2/10^3 \text{ kcal} = 6,964 \text{ kg CO}_2$
- Emissões específicas: $6,964 / 25,745 = 0,2705 \text{ kg CO}_2/10^3 \text{ kcal}$

Considerando-se agora os rendimentos térmicos obtidos no Item 6.5:

- GLP: 1.000 kcal (en. útil), $\eta = 0,481 \rightarrow 2.079,00 \text{ kcal (en. total)}$
- GLP+DME: 1.000 kcal (en. útil), $\eta = 0,528 \rightarrow 1.893,94 \text{ kcal (en. total)}$
- $2.097,00 / 1.893,94 = 1,0977$ (o menor rendimento do gás aumenta o consumo de GLP em 9,77%)

Assim, corrigindo-se com o rendimento, as emissões específicas com GLP e GLP+BioDME passam a ser:

- As emissões com GLP são: $0,2705 \times 1,0977 = 0,2969 \text{ kg CO}_2/10^3 \text{ kcal}$
- Enquanto as emissões com GLP+BioDME são: $0,2519 \text{ kg CO}_2/10^3 \text{ kcal}$
- Redução das emissões: $(0,2969 - 0,2519) \times 100 / 0,2969 = 15,16\%$

Portanto, é possível uma redução de 15,16% das emissões específicas de CO₂ em misturas GLP – BioDME nas proporções testadas.

8. PERSPECTIVAS

Experiências internacionais indicam as possibilidades de que a participação do DME nas misturas com GLP atinjam valores superiores aos testados nestas pesquisas. A IDA – *International DME Association* juntamente com a *World LP Gas Association*, em sua publicação *Recommendations for the Blending of Dimethyl Ether (DME) with Liquefied Petroleum Gas (LPG) for Commercial, Household, and Industrial Cooking and Heating Applications* (2011) recomenda que a fração em massa do DME nas misturas com GLP não atinja 20%.

A planta-piloto para produção de BioDME desenvolvida pela Chemrec em Pitea – Suécia iniciou sua produção de 4 (quatro) toneladas por dia em 2010, partindo do licor negro como matéria prima, via gás de síntese, conforme consulta aos websites www.biodme.eu e www.chemrec.se.

Existe ainda a possibilidade futura da utilização do DME ou do BioDME puro em todas as aplicações do GLP e do gás natural como combustível, embora a substituição total dos citados gases combustíveis não seja possível de ser realizada num futuro próximo devido à indisponibilidade do DME. Uma experiência pontual realizada pela Ultragaz mostrou que o DME pode também ser utilizado em maçaricos de oxi-corte em substituição ao GLP, gás natural e acetileno.

O DME pode ser ainda utilizado com propelente, em substituição às misturas de butano desodorizado, conforme desenvolvido pela Ultragaz em outros projetos.

Além disso, o DME e o BioDME podem ser também utilizados em motores diesel, devido ao seu índice de cetano ser muito próximo do óleo diesel, proporcionando enormes vantagens ambientais por não gerar fuligem, pela redução das emissões de CO₂ e praticamente pela isenção de enxofre.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os ensaios com as misturas GLP – DME indicaram possibilidade para redução das emissões de CO₂ em 15,16% em relação ao GLP, apesar da participação discreta do DME na mistura (11,52%).

O desenvolvimento dessas misturas com participação de teores mais elevados de BioDME em até 20% certamente elevarão, ainda mais, a redução das emissões de CO₂ nos processos de combustão, podendo se constituir em um vetor energético intermediário na busca por processos ecologicamente sustentáveis.

Porém, a produção do Bio-DME esbarra ainda em obstáculos a serem removidos, como a disponibilidade de matéria-prima e fatores econômicos que certamente serão superados na medida em que as restrições ambientais e a mudança climática assim o exijam. No Brasil, a produção de biomassa devido à vocação natural disponibilizada pelo alto índice de solaridade, solos férteis e água, constitui uma significativa vantagem competitiva neste particular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 13723 – Aparelho doméstico de cocção a gás*, 2004.
- CEG, Condições gerais de prestação de serviço de distribuição de gás canalizado para consumidores livres, 2007.
- COSTA, F.C., *Gases combustíveis como alternativas à eletrotermia em aquecimento direto e calor de processo no setor industrial brasileiro*, tese de doutorado, IEE-USP, 2013.
- FAGAN, B., *The great warming: climate change and the rise and the fall of civilizations*, first edition, Bloomsbury Press, London, 2008.
- GOLDEMBERG, J., VILLANUEVA, L.D., *Energia, meio ambiente & desenvolvimento*, segunda edição, Editora da Universidade de São Paulo, 2003.
- IDA – International DME Association, WLPGA – World LP Gas Association, *Recomendations for the Blending of Dimethyl Ether (DME) with Liquefied Petroleum Gas (LPG) for Commercial, Household, and Industrial Cooking and Heating Applications* (2011).
- United Nations, Framework Convention on Climate Change, 1992.
- WAHLUND B., YAN, J., WESTERMARK, M., *Increasing biomass utilization in energy systems: A comparative study of CO2 reduction and cost for different bioenergy processing options*, Biomass and Energy 26 (2004), pages 531 – 544.

CONSULTA A WEBSITES

- SINDIGÁS, <http://www.sindigas.org.br/>, consulta em 02 de setembro de 2014.
- <http://drauzioarella.com.br/drauzio/fogao-a-lenha/>
- www.biodme.eu
- www.chemrec.se

ANEXO 1



Laboratório de Controle da Qualidade
 Cia Ultragaz S/A
 Mercado Empresarial - GSP
 Av Dr Alberto Soares Sampaio, 1098
 Capuava - Mauá - SP - CEP: 09380.000
 Tel +55 11 4548-9076
 Tel +55 11 4548-9021
 E-mail: laboratorio@ultragaz.com.br

Produto:
 Data:

Nº Documento:

Página
 Anula e Substitui Versão:

Amostra: Butano + Dimetil Éter

Composição % Molar

	Fase Líquida	Fase vapor
Dimetil Éter	11,21	14,19
metano	0,01	0,02
Propano	1,54	2,69
Iso-butano	4,56	5,13
N-butano	82,68	77,97



Laboratório de Controle da Qualidade
 Cia Ultragaz S/A
 Mercado Empresarial - GSP
 Av Dr Alberto Soares Sampaio, 1098
 Capuava - Mauá - SP - CEP: 09380.000
 ☎Tel +55 11 4548-9076
 ☎Tel +55 11 4548-9021
 E-mail: laboratorio@ultragaz.com.br

Produto:
 Data:

Nº Documento:

Página
 Anula e Substitui Versão:

Amostra: Propeno + Dimetil Éter

Composição % Molar

	Fase Líquida	Fase vapor
Dimetil Éter	9,44	4,83
propeno	90,52	93,59
n-butano	0,04	1,58



Laboratório de Controle da Qualidade
 Cia Ultragaz S/A
 Mercado Empresarial - GSP
 Av Dr Alberto Soares Sampaio, 1098
 Capuava - Mauá - SP - CEP: 09380.000
 Tel +55 11 4548-9076
 Tel +55 11 4548-9021
 E-mail: laboratorio@ultragaz.com.br

Produto:
 Data:

Nº Documento:

Página
 Anula e Substitui Versão:

Amostra: GLP+ Dimetil Éter

Composição % Molar

	Fase Líquida	Fase vapor
Dimetil Éter	10,27	11,52
metano	0,13	0,63
Propano	34,98	55,54
Iso-butano	21,74	14,78
N-butano	33,88	17,53



Laboratório de Controle da Qualidade
 Cia Ultragaz S/A
 Mercado Empresarial - GSP
 Av Dr Alberto Soares Sampaio, 1098
 Capuava - Mauá - SP - CEP: 09380.000
 Tel +55 11 4548-9076
 Tel +55 11 4548-9021
 E-mail: laboratorio@ultragaz.com.br

Produto:
 Data:

Nº Documento:

Página
 Anula e Substitui Versão:

Amostra: Propano+ Dimetil Éter

Composição % Molar

	Fase Líquida	Fase vapor
Dimetil Éter	9,78	6,90
metano	0,21	0,65
Propano	86,81	91,12
Iso-butano	1,45	0,78
N-butano	1,75	0,55



Laboratório de Controle da Qualidade
 Cia Ultragaz S/A
 Mercado Empresarial - GSP
 Av Dr Alberto Soares Sampaio, 1098
 Capuava - Mauá - SP - CEP: 09380.000
 ☎Tel +55 11 4548-9076
 ☎Tel +55 11 4548-9021
 E-mail: laboratorio@ultragaz.com.br

Produto:
 Data:

Nº Documento:

Página
 Anula e Substitui Versão:

Amostra: GLP

Composição % Molar

	Fase Líquida	Fase vapor
etano	0,10	0,48
Propano	37,21	58,73
Propeno	0,05	0,32
Iso-butano	24,19	18,21
N-butano	38,32	22,20
Trans-2-buteno	0,05	0,01
1-buteno	0,03	0,02
Cis-2-buteno	0,05	0,03