

# Eficiência de um motogerador a gasolina adaptado para GLP

Mazzonetto, Alexandre Witier  
Carvalho, Fernando Henrique de  
Pedro, Alexandre da Costa

## Resumo

Os altos custos dos combustíveis no Brasil fazem com que sempre se pesquise o melhor custo/benefício para os motores em suas diversas finalidades. Este trabalho teve como objetivo adaptar um conjunto motogerador operado originalmente à gasolina, para operar a gás liquefeito de petróleo (GLP). O equipamento foi abastecido com gasolina pura e testes foram realizados para verificar seu consumo. Após realizar todas as modificações necessárias, GLP foi fornecido a este mesmo motogerador, o qual operou durante os mesmos 30 minutos do seu combustível original e mediram-se, periodicamente, os dados de corrente elétrica em circulação e da massa de combustível consumida. Este experimento gerou gráficos, que ilustraram as diferenças de eficiência energética em motogeradores utilizando gasolina pura (sem adição de etanol) e motogeradores utilizando o GLP em um mesmo regime de trabalho e pode-se observar que o GLP é financeiramente viável quando se é utilizado o botijão P13 e que além da vantagem do consumo, o GLP é importante na redução da emissão de poluentes para atmosfera por se tratar de um combustível de queima limpa se comparado a outros combustíveis fósseis.

**Palavras chave:** Motogerador, GLP, gasolina, eficiência.

## Abstract

The high costs of fuels in Brazil mean that the best cost / benefit is always sought for the engines in their various purposes. This work had the objective of adapting a motor generator set originally operated to gasoline, to operate with liquefied petroleum gas (LPG). The equipment was stocked with common gasoline and tests were performed to verify its consumption. After making all necessary modifications, LPG was supplied to this same motor generator, which operated for the same 30 minutes of its original fuel and periodically measured the current electric current data and the mass of fuel consumed. This experiment generated graphs, which illustrated the differences in energy efficiency in motor generators using pure gasoline and motor generators using LPG in the same work regime and it can be observed that LPG is financially viable when using the P13 canister and that besides advantage of LPG is important in reducing the emission of pollutants into the atmosphere because it is a clean burning fuel compared to other fossil fuels

**Key words:** Motor generator, LPG, gasoline, efficiency.

## Resumen

Los altos costos de los combustibles en Brasil hacen que siempre se busque el mejor costo / beneficio para los motores en sus diversas finalidades. Este trabajo tuvo como objetivo adaptar un conjunto motogenerador operado originalmente a la gasolina, para operar a gas licuado de petróleo (GLP). El equipo fue abastecido con gasolina común y se realizaron pruebas para verificar su consumo. Después de realizar todas las modificaciones necesarias, GLP fue suministrado a este mismo motorizador, el cual operó durante los mismos 30 minutos de su combustible original y se midió periódicamente los datos de corriente eléctrica en circulación y de la masa de combustible consumida. Este experimento generó gráficos que ilustraron las diferencias de eficiencia energética en motogeneradores utilizando gasolina puramente y motogeneradores utilizando el GLP en un mismo régimen de trabajo y se puede observar que el GLP es financieramente viable cuando se utiliza la bombona P13 y que además la ventaja del

consumo, el GLP es importante en la reducción de la emisión de contaminantes a la atmósfera por tratarse de un combustible de combustión limpia si se compara a otros combustibles fósiles.

**Palabras clave:** MotoGenerador, GLP, gasolina, eficiencia.

## **INTRODUÇÃO**

A economia mundial está baseada no petróleo, mais especificamente, na ampla utilização dos combustíveis fósseis em detrimento dos renováveis. Essa dependência mundial causa problemas econômicos e ambientais para todos os países.

Neste cenário, é imprescindível a ampliação das energias renováveis ou menos poluentes na matriz energética mundial. Ainda que seja difícil eliminar o vínculo com os derivados de petróleo, novas ideias para reduzir seu uso podem ser utilizadas como alternativa.

Este trabalho teve foco na utilização do gás GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), que é o derivado do petróleo de menor impacto ambiental por ter combustão completa e mais limpa, em um motogerador a gasolina de 4 tempos adaptado a receber o GLP e, na comparação dos resultados entre os dois diferentes combustíveis.

O objetivo deste trabalho foi adaptar e avaliar o sistema de alimentação a gás liquefeito de petróleo (GLP) de um gerador com motor estacionário a 4 tempos acoplado, onde foram avaliados os desempenhos do gerador, operando inicialmente com gasolina e, em seguida, operando com GLP; e, por fim, se definiu o melhor combustível para operar o gerador.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **Histórico: motores à combustão**

James Watt percebeu que o maior problema do motor de Newcomen era a perda de calor latente e, para isso, o inventor concluiu que a condensação deveria ocorrer em uma câmara distinta do cilindro, porém ligado a ele. Pouco tempo depois, Watt criou um motor baseado em suas teorias. Todas as técnicas deram origem ao conceito de Horse-Power (hp), que é uma medida de potência utilizada até os dias de hoje (RIBEIRO, 2014).

O engenheiro francês Beau de Rochas publicou uma brochura que resumia seus trabalhos em pesquisas sobre o ciclo a 4 tempos. O francês foi o pioneiro a focar seus estudos na possibilidade de gerar uma combustão, comprimindo uma mistura gasosa. Em 1872, o engenheiro alemão Nikolaus Otto implantou os conceitos definidos anteriormente por de Rochas e desenvolveu o motor ciclo Otto, onde a ignição era realizada por meio de uma centelha elétrica (TILLMANN, 2013).

## **Motores de combustão interna**

Os motores de combustão interna são caracterizados por realizar a combustão no interior do cilindro de trabalho. Nesta categoria encontram-se motores movidos a pistão ou motores rotativos. Os motores de combustão interna movidos a pistão podem ser classificados conforme análise da combustão, a qual o motor é submetido. Motores onde a “explosão” da mistura ar/combustível se dá através de uma centelha são classificados como motores ciclo Otto. Quando a ignição é realizada por meio da compressão do ar e injeção de combustível (Diesel), gerando a combustão, o motor é classificado como Diesel (FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016).

## **Componentes e características estruturais dos motores**

Motores de combustão interna apresentam uma estrutura rígida, a fim de suportar os esforços gerados pelas variações de pressão e velocidades, às quais o motor está suscetível durante seu ciclo de trabalho. O cabeçote do motor, normalmente fabricado em ferro fundido ou liga de alumínio, é o componente que é parafusado na parte superior do bloco, formando a câmara de combustão. Nele encontram-se dispostas as válvulas de admissão e escape (FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016).

Os blocos geralmente são fabricados em ferro fundido, podendo haver inclusão de determinadas ligas a fim de aumentar a resistência ou até diminuir consideravelmente o peso do componente utilizando o ferro fundido com ligas de metais leves. A maioria dos blocos apresentam tubos removíveis dando forma à parede do cilindro. Esses tubos são chamados de camisas e podem ser classificados como camisas secas ou úmidas (MAHLE, 2012).

O cárter geralmente é fabricado de chapa dura, pelo processo de prensagem. Este componente fecha a parte inferior do motor e tem a finalidade de depositar fluido lubrificante do motor (FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016).

## **Válvulas**

As válvulas são responsáveis por permitir ou bloquear a passagem de gases dos cilindros. Nos motores de combustão interna, há dois tipos de válvulas: válvulas de admissão e escape. As válvulas de admissão permitem a passagem de ar (Diesel) ou mistura ar/combustível (Otto) para a câmara do cilindro. As válvulas de escape permitem a passagem dos gases gerados pela combustão (BERTOLDI, 2007).

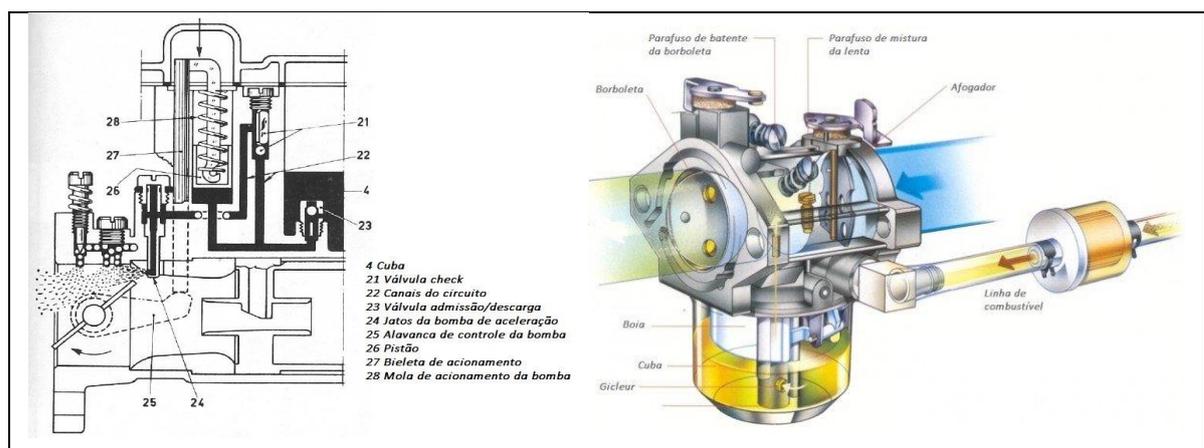
## Carburadores

Nos motores de ignição por centelha, o trabalho realizado pelo pistão é gerado a partir da queima da mistura ar/combustível. Para que ocorra a combustão completa da mistura, são necessárias quantidades exatas de combustível e ar que, quando em proporções ideais, são chamadas de estequiométricas. Dentre as variadas dosagens que a mistura pode apresentar, podem-se classificar em misturas pobres, quando menos combustível for fornecido, e misturas ricas, quando o combustível for dosado de forma excedente (FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016).

A principal característica dos carburadores é a de restringir a passagem do ar aspirado, por meio de uma restrição com forma de Venturi. Ao passar pela área reduzida do Venturi, o ar tem sua velocidade acelerada. De acordo com a lei de Bernoulli, ao aumentar a velocidade do ar, a pressão do mesmo diminui. Essa queda de pressão auxilia na aspiração do combustível, que fica armazenado na cuba, sendo misturado com o ar (FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016).

Uma válvula-borboleta, ligada ao comando do acelerador, controla a quantidade da mistura e, conseqüentemente, a potência do motor. Os carburadores possuem um sistema de marcha lenta, permitindo que o motor trabalhe em baixas rotações, quando a borboleta está quase fechada (SOUZA, 2006). A Figura 1 mostra um esquema de carburador.

Figura 1. Representação de um carburador



Fonte: Passos (2018).

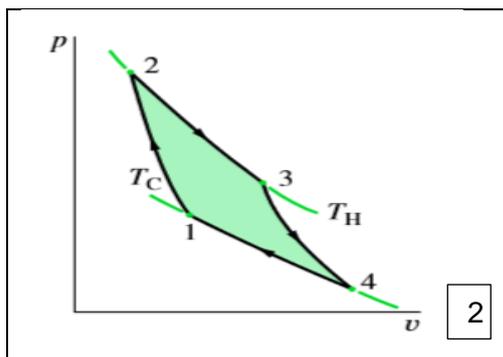
## Ciclos de Potência

### Ciclo de Carnot

Analisando o motor a combustão interna, observa-se que o seu rendimento térmico é inferior a 100%. Porém, em 1824, um engenheiro de nome Nicolas Leonard Sadi Carnot, estabeleceu, por meio de estudos com base na 2ª Lei da Termodinâmica, um ciclo teórico denominado ciclo de Carnot, onde adotamos que o ciclo possui rendimento máximo e que todos os processos nele envolvidos são reversíveis: dois processos adiabáticos alternados com dois processos isotérmicos (SCHULZ, 2009).

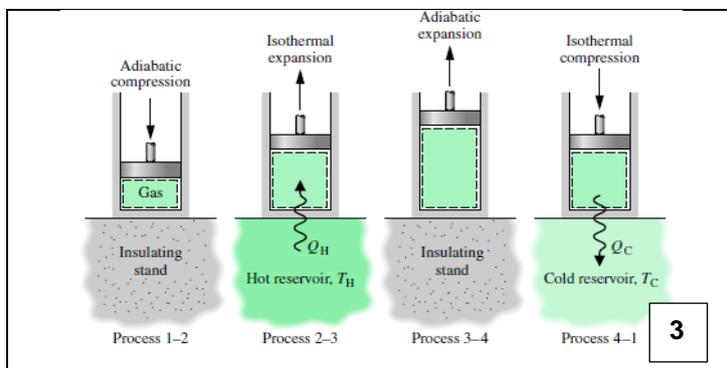
Na Figura 2 pode-se identificar um diagrama pressão ( $p$ ) – volume ( $v$ ) de um ciclo de Carnot.

Figura 2. Diagrama  $p \times v$  ilustrando um ciclo de Carnot



Já na Figura 3, um conjunto pistão-cilindro nos mostra como o ciclo é realizado.

Figura 3. Ciclo de Carnot representado por um conjunto cilindro-pistão



Fonte: Moran & Shapiro (2008).

As paredes do conjunto são não condutoras e a troca de calor se dá em direção à seta. Nota-se a presença de dois reservatórios às temperaturas  $T_H$  e  $T_C$ , respectivamente.

De acordo com Borgnakke & Sonntag (2013), o conjunto está sobre uma superfície isolante e o sistema está no estado 1, onde a temperatura é a  $T_C$ . Os processos seguintes são:

- Processo 1 -- 2: O gás presente na câmara é comprimido adiabaticamente até o estado 2, onde sua temperatura passa a ser  $T_H$ ;
- Processo 2 -- 3: O conjunto é posto em contato com o reservatório à temperatura  $T_H$ . O gás se expande isotermicamente enquanto recebe a energia  $Q_H$  proveniente da troca de calor com o reservatório  $T_H$ ;
- Processo 3 -- 4: O conjunto é novamente colocado em contato com a superfície isolada e o gás continua sua expansão adiabaticamente até sua temperatura cair até  $T_C$ ;
- Processo 4 -- 1: O conjunto é colocado em contato com o reservatório à temperatura  $T_C$ . O gás é comprimido isotermicamente até seu estado inicial enquanto, através da troca de calor, a energia  $Q_C$  é descarregada para o reservatório frio.

## **Ciclo Otto**

Os motores a 4 tempos são assim chamados devido à realização de quatro deslocamentos completos do pistão durante o ciclo de operação. As 4 fases são descritas por (FERGUSON & KIRKPATRICK, 2016):

- 1ª Fase – Aspiração
- 2ª Fase – Compressão
- 3ª Fase – Combustão (expansão)
- 4ª Fase – Escape

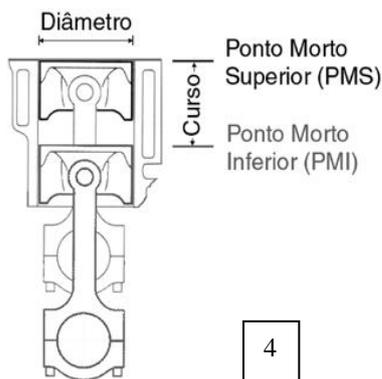
Na primeira fase, ao se deslocar do ponto morto superior (PMS) ao ponto morto inferior (PMI), o pistão cria uma queda de pressão no interior da câmara de combustão, fazendo com que a mistura ar/combustível seja aspirada. Na fase de compressão, a válvula de admissão se fecha e o pistão se desloca do PMI ao PMS, comprimindo a mistura ar/combustível (PENIDO FILHO, 1991).

Um pouco antes de o pistão atingir o PMS, uma centelha elétrica é solta pela vela de ignição, dando início à combustão da mistura. A temperatura dos gases sobe rapidamente e a pressão no interior da câmara aumenta. A energia liberada força o pistão a se deslocar em direção ao PMI. Nesta última etapa, um pouco antes de o pistão atingir o PMI, a válvula de escape abre,

liberando a passagem dos gases da combustão que, por estar a alta pressão, começam a sair espontaneamente. O pistão, ainda sobre a ação da inércia, sobe até o PMS, expulsando o restante dos gases (PENIDO FILHO, 1991).

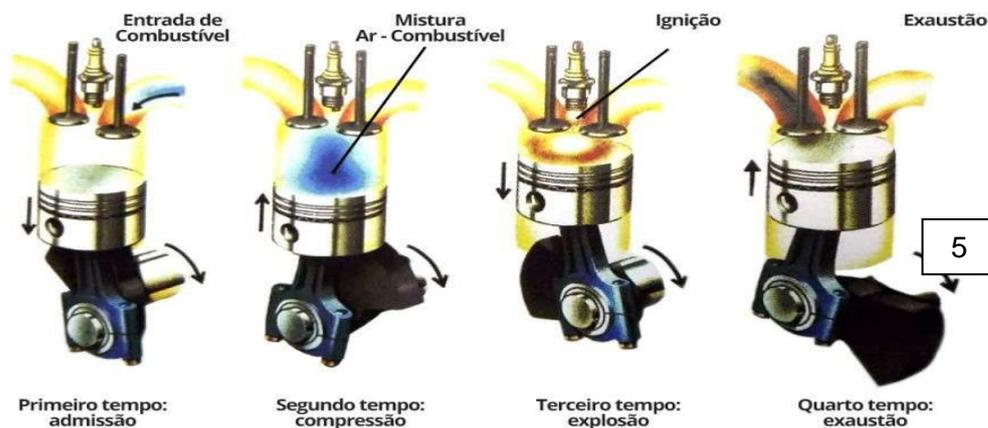
A Figura 4 demonstra os pontos superior e inferior de um pistão e a Figura 5 é uma representação completa de um ciclo Otto.

Figura 4. Representação do ponto morto superior (PMS) e do ponto morto inferior (PMI)



Fonte: <http://www.motorconsult.pt/glossario/dimensoes-e-capacidades/191-diametro-curso#.W75EWPZv-qY>

Figura 5. Representação de um motor a combustão interna a 4 tempos



Fonte: <http://www.garagemroyal.com.br/preparacao-de-motores/>

## Propriedades do Combustível

### Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)

Define-se gás liquefeito de petróleo (GLP) como sendo uma mistura gasosa de hidrocarbonetos parafínicos (propano, n-butano ou isobutano) e olefínicos (propeno, n-buteno e

isobuteno), obtida através do processo de extração do gás natural ou do refino do petróleo cru, e que pode ser liquefeita por resfriamento e/ou compressão. A adição de mercaptanas se deve ao fato de produzir odor característico para detecção de possíveis vazamentos de gás (COMGÁS, 2014; COSTA, 2018).

Os componentes do GLP podem ser comercializados separadamente como propano e propeno, butanos e butenos. A queima do GLP é limpa, comparada aos combustíveis mais pesados, com reduzido nível de emissão de particulados,  $SO_x$  e  $NO_x$ . Produz também baixo nível de emissões de  $CO_2$  por sua alta proporção Hidrogênio/Carbono. A relação entre o volume do GLP gasoso e líquido é de cerca de 250, o que faz com que o GLP comprimido e liquefeito ocupe pouco espaço. Quando se usa o GLP, este é vaporizado lenta e seguramente através da abertura da válvula instalada na saída do recipiente de armazenamento. Além dos hidrocarbonetos de 3 a 4 átomos de carbono, podem ainda ocorrer no GLP pequenas quantidades de compostos mais leves (etano) e/ou mais pesados (pentanos). A presença de etano ( $C_2H_6$ ) é restrita no GLP, porque torna difícil a liquefação do produto nas condições de armazenamento do GLP (PETROBRAS, 2018).

### Poder Calorífico

Os constituintes mais importantes do GLP são: propano ( $C_3H_8$ ); propeno ( $C_3H_6$ ); isobutano ( $C_4H_{10}$ ); n-butano ( $C_4H_{10}$ ); e buteno ( $C_4H_8$ ). O poder calorífico do propano é de  $49.952 \text{ kJ.kg}^{-1}$  ( $11.934 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ) enquanto o do butano é de  $49.255 \text{ kJ.kg}^{-1}$  ( $11.767 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ) e o da gasolina é de  $40.660 \text{ kJ.kg}^{-1}$  ( $9.714 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ) (PETROBRAS, 2018).

Na Tabela 1 é possível observar a diferença do poder calorífico do GLP em comparação a outros combustíveis.

**Tabela 1. Poder Calorífico do GLP em relação a outros combustíveis**

Quantidade	Combustível	Poder Calorífico (Kcal)
1Kg	GLP	11.500
1 m <sup>3</sup>	Gás Natural	9.400
1 m <sup>3</sup>	Gás de rua	4.200
1 Kg	Óleo Diesel	10.200
1 Kg	Carvão	5.000
1 Kg	Lenha	2.900
1 KWh	Energia Elétrica	860

Fonte: Adaptado de SINDIGÁS (2009).

## O GLP e o Meio Ambiente

O gás liquefeito de petróleo possui uma excelente queima e, conseqüentemente, é uma ótima opção de combustível. Comparando a emissão de CO<sub>2</sub>, a queima do GLP apresenta um nível bem menor de emissão se comparado ao carvão ou outro combustível fóssil (SINDIGÁS, 2009).

Segundo a Petrobrás (2018), por possuir teores mais altos de hidrogênio em suas moléculas, sua combustão gera menor emissão de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>. Devido aos baixíssimos teores de enxofre em sua composição, o GLP gera emissões mais baixas de óxidos de enxofre SO<sub>x</sub>.

## METODOLOGIA

Para a realização deste projeto foi utilizado um motogerador do modelo Tekna GT1000FP. O equipamento é originalmente a gasolina, carburado, monocilíndrico, com motor a 4 tempos, refrigerado a ar. Para atender o objetivo deste trabalho, que é adaptar um motogerador para operar com gás GLP, foram necessárias algumas adaptações no conjunto original. Essas adaptações buscaram melhorar a eficiência do equipamento utilizando o combustível gasoso.

A Tabela 2 ilustra as especificações técnicas do gerador utilizado neste trabalho.

**Tabela 2. Dados técnicos do gerador Tekna GT 1000 FP**

Dados Técnicos do gerador GT 1000 FP		
<b>Motor</b>	Tipo	Monocilíndrico, 4 tempos, refrigerado a ar.
	Potência máxima a 4000 RPM	1,8 kW ou 2,4 HP
	Cilindrada	100 cc
	Sistema de partida	Manual retrátil
	Combustível	Gasolina
	Tanque de combustível (capacidade)	4 litros
<b>Alternador</b>	Potência máxima de saída	0,9 kW
	Potência nominal de saída	0,8 kW
	Corrente nominal	6,3 A
	Tensão de saída	127 V
	Frequência	60 Hz
	Tomadas	1 x 127 V
	Saída: corrente contínua	12 V

Fonte: Adaptado do catálogo Tekna (2018).

A Tabela 3 mostra os materiais utilizados para efetuar a adaptação do conjunto motogerador.

**Tabela 3. Materiais necessários para a adaptação**

Material	Quantidade
Válvula redutora de pressão Felcher	1
Mangueira para vácuo	0,8 m
Mangueira de gás	0,5 m
Mangueira de borracha	0,8 m
Tubulação	1 m
Bico injetor de latão	1
Bico de latão para sistema de vácuo	1

**Fonte:** Autores.

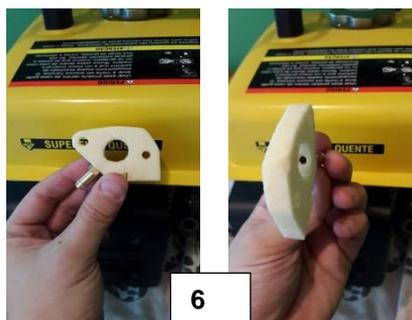
Para realizar o procedimento de adaptação, primeiramente foi necessário desmontar o conjunto carburador. Para isso, o filtro foi removido e a alimentação de combustível foi “cortada”. A alavanca de aceleração automática foi separada do conjunto, possibilitando a retirada do mesmo.

Tendo retirado o carburador, a etapa seguinte foi a construção de uma peça, feita de poliuretano de alta densidade (PU), que é encaixada entre o carburador e o bloco. O gás precisa ser “arrastado” para dentro da câmara de combustão e, para isso, foi necessária a criação de um “vácuo” no sistema.

A peça de PU foi modelada, seguindo o modelo da junta do carburador. Após concluir a furação para os parafusos de fixação e do furo para a entrada da mistura, foi realizada uma furação na face lateral da peça até atingir a parede do furo de entrada da mistura.

Observa-se pela Figura 6 a disposição da peça construída e posição do bico de latão, que posteriormente foi responsável pelo “vácuo” gerado no sistema.

**Figura 6. Identificação da posição dos furos de fixação e admissão, assim como a posição do bico de latão**

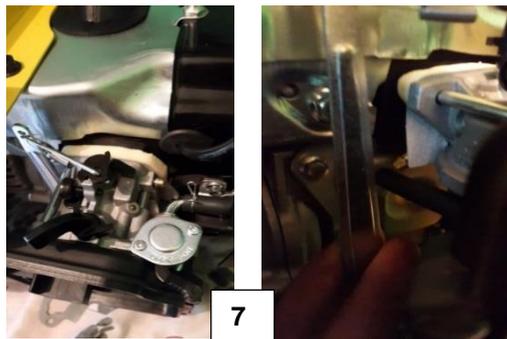


**Fonte:** Autores.

Após posicionar a peça construída entre o carburador e o bloco, montou-se o conjunto gerador novamente, observando a correta posição da junta, a fim de evitar vazamentos. Ao bico de latão foi conectada uma mangueira que, posteriormente, fez parte do conjunto válvula redutora.

A Figura 7 mostra o conjunto carburador montado, com a adição do novo componente.

**Figura 7. Conjunto carburador modificado**



Fonte: Autores.

Para haver a mistura de ar e combustível na câmara de combustão foi necessário adaptar o sistema de admissão do gerador.

A Figura 8 demonstra como se dá a admissão no sistema original do motogerador.

**Figura 8. Componentes originais de admissão do motogerador**



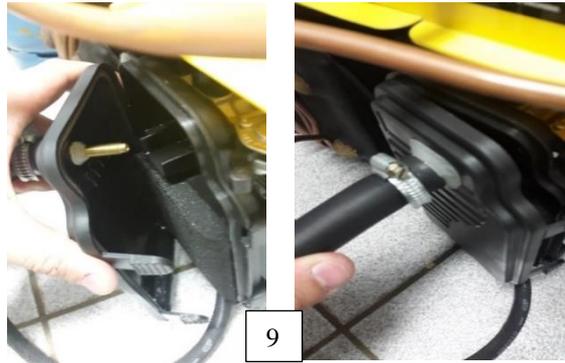
Fonte: Autores.

Durante a operação, o ar atmosférico é sugado através de uma entrada de ar, localizada na parte inferior direita do filtro de ar. O ar sugado passa pelo filtro (uma esponja), e segue para o carburador com o ar já filtrado.

Para haver a injeção do GLP no sistema, um bico injetor de latão foi instalado na entrada de ar do carburador. Assim, foi necessária uma furação na tampa do filtro de ar. Essa furação deve ter um posicionamento certo, para que a injeção do gás seja da forma correta.

A Figura 9 mostra as adaptações realizadas na tampa do filtro de ar.

**Figura 9.** Adaptações realizadas na tampa do filtro de ar, para a instalação do bico injetor de GLP



**Fonte:** Autores.

O gás liquefeito de petróleo é envasado no estado líquido em vasilhames especiais, padronizados, conhecidos como botijões. No mercado, atualmente, os vasilhames são classificados como P2, P5, P13, P45, P90. O número corresponde à quantidade em quilogramas de GLP presente no vasilhame.

A pressão na saída do botijão varia de 4 a 7 kgf.cm<sup>-2</sup> (392 a 686 kPa no SI). Essa pressão é considerada muito elevada para aplicarmos o GLP diretamente na admissão do gerador, o que levaria ao afogamento do equipamento devido ao excesso de combustível. Pensando nisso, foi instalada uma válvula redutora de pressão.

A válvula reduz a pressão de saída e regula a vazão do GLP, mediante ao ajuste de suas válvulas de regulação de alta e baixa precisão. Para uma melhor disposição dos equipamentos, a válvula foi fixada na alça de transporte do gerador como mostra a Figura 10.

**Figura 10.** Válvula redutora e adaptação na alça de transporte do gerador



**Fonte:** Autores.

Para ser consumido, o gás liquefeito de petróleo necessita voltar à fase gasosa pelo recebimento de calor do ambiente através da parede do botijão. Um botijão P5 gaseifica, por exemplo, 400 gramas de GLP por hora.

A válvula reguladora não está ligada diretamente à saída do botijão. Por questões de segurança e definição, o GLP sai do botijão seguindo por uma mangueira de borracha até uma junção, onde será guiado até à válvula por uma tubulação de cobre.

Devido à alta pressão de saída do gás, as junções de latão tendem a esfriar rapidamente. Para evitar o fenômeno do congelamento, foi definido um layout da tubulação de cobre, onde um conjunto de espiras passa através do conjunto de escapamento, aquecendo o gás para a entrada na câmara de combustível.

A Figura 11 mostra o layout da tubulação de cobre até a entrada da válvula e as espiras realizadas para aproveitar a caixa de escape do gerador.

Figura 11. Tubulação de cobre e espiras no motogerador



Fonte: Autores.

O aquecimento da tubulação ocorre alguns minutos após a operação do gerador. Recomenda-se então, efetuar a partida do gerador com gasolina e após alguns minutos, efetuar a transição para o gás combustível.

Primeiramente, o gerador foi abastecido com 69 g de gasolina comum (Petrobrás) em regime de 30 minutos, para a obtenção de dados referentes à operação do gerador, conforme padrões de fábrica. Durante a operação, um liquidificador Philco foi ligado ao conjunto para simular uma carga ao gerador.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros do liquidificador utilizado no experimento.

Tabela 4. Parâmetros do liquidificador utilizado durante a operação do motogerador

Liquidificador Philco – Filter Ph 1,7 L 8 Velocidades Inox 430 W – Dados Técnicos		
<b>MOTOR</b>	Tipo:	Elétrico
	Potência Máxima:	430 W
	Velocidade:	8 Velocidades
	Consumo:	0,4 kW.h <sup>-1</sup>
	Voltagem:	110 V ou 220 V

Fonte: Adaptado do catálogo Philco (2016).

Para realizar as medições de corrente durante o funcionamento do equipamento em conjunto com o liquidificador, foi utilizado um amperímetro tipo alicate. Os parâmetros do amperímetro estão listados na Tabela 5.

**Tabela 5. Parâmetros do amperímetro digital Minipa ET 3200A**

Alicate amperímetro digital ET 3200A	Dados técnicos
Display	LCD 3. 1/2"
Faixa	20 A
Precisão	± (3,0% + 5D)
Taxa de amostragem	3 vezes por segundo

Fonte: Adaptado do catálogo Minipa (2016).

Depois de realizadas as adaptações no conjunto motogerador, um teste foi necessário para avaliar se o gerador sofreu alguma variação de eficiência operando com gasolina. Para isso, o conjunto foi abastecido com gasolina comum e verificou-se se houve alguma variação dos dados anteriormente coletados.

Por fim, o gerador foi submetido à operação, por 30 minutos, com o gás liquefeito de petróleo como combustível.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realização dos experimentos, gás GLP e gasolina comum foram adquiridos de locais credenciados. A gasolina tem seu valor por litro do combustível, já o GLP é vendido pelo valor do vasilhame cheio. No caso deste projeto, o vasilhame utilizado experimentalmente foi o P5, porém foi cotado P13 (mais usual) e com preço mais barato por kg de GLP. Na Tabela 6, seguem as cotações dos combustíveis – gasolina comum e GLP P13.

**Tabela 6. Cotação dos combustíveis utilizados no projeto**

Combustível	Valor [R\$]	Mês de referência
Gasolina comum	3,567	Mar/2016
GLP	51,58	Mar/2016
Gasolina comum	4,717	Out/2018
GLP	68,53	Out/2018

Fonte: ANP (2018).

A Tabela 7 apresenta os valores de densidade e poder calorífico dos combustíveis utilizados.

**Tabela 7. Densidade dos combustíveis utilizados no projeto**

Combustível	Densidade [kg.L <sup>-1</sup> ]	Poder calorífico [kcal.kg <sup>-1</sup> ]	Poder Calorífico [kJ.kg <sup>-1</sup> ]
GLP	0,552	11.500	48.116
Gasolina comum	0,7475	10.400	43.514

Fonte: ANP (2017).

Os dados coletados, referentes à operação do gerador em seu padrão original de fábrica com gasolina comum, serão dispostos neste trabalho tomando como referência o trabalho de graduação de Santos (2016) que, em determinada parte de seu trabalho, utilizou o mesmo gerador com gasolina comum para obter seu rendimento, em seus padrões originais de fábrica.

A Tabela 8 fornece os dados coletados, diante da utilização de gasolina comum no motogerador, com padrões originais.

**Tabela 8. Dados obtidos analisando gasolina comum no gerador sem modificações – utilizando gasolina comum (27% de etanol)**

Tempo [h]	Tensão [V]	Corrente [A]	Velocidade*	Massa [g]	Potência [W]	CE [g/W.h]
0,08	127	1,51	1		192	
0,17	127	1,56	2		198	
0,20	127	1,60	3		203	
0,23	127	1,64	4		208	
0,28	127	1,67	5		212	
0,30	127	1,69	6		215	
0,34	127	1,75	8		222	
0,28	127	1,75	8	69	222	1,11

Fonte: Adaptado de Santos (2016). \* Velocidades do liquidificador Philco.

Após a obtenção dos dados, o gerador foi submetido às adaptações necessárias para operar o mesmo com combustíveis gasosos. Finalizadas as adaptações, foram coletados os resultados para operação do gerador com gasolina pura e listados em uma Tabela 9.

**Tabela 9. Resultados obtidos durante 20 minutos e 35 segundos de funcionamento com 93,4 gramas de combustível**

Velocidade	Tempo [h]	Tensão [V]	Corrente [A]	Massa [g]	Potência [W]	CE [g/Wh]
8	0,083	127	1,70		215,90	
8	0,167	127	1,71		217,17	
8	0,250	127	1,72		218,44	
8	0,339	127	1,73	93,4	219,71	1,254

Fonte: Autores.

Pode-se analisar que após a adaptação do conjunto gerador, o mesmo apresentou uma redução de potência de aproximadamente 1,143 % em relação ao modelo de fábrica. O consumo específico teve um aumento de 12,97 %. Essa diferença pode ser justificada pela inclusão da peça de PU no conjunto carburador, aumentando o comprimento do conjunto e, conseqüentemente, a distância percorrida pela mistura ar/combustível.

O teste final foi realizado introduzindo um combustível gasoso (GLP) no sistema. Para uma coleta de dados eficiente, o botijão de gás foi colocado sobre uma balança digital e durante toda a operação do motogerador, os dados foram sendo coletados.

A Tabela 10 detalha os parâmetros da balança digital utilizada para as medições.

**Tabela 10. Parâmetros da balança digital FILIZOLA BP15**

Características técnicas da Balança Digital utilizada	
Marca	Filizola
Modelo	BP 15
Tara [kg]	9
Máximo [kg]	15
Mínimo [kg]	0,125
Erro [kg]	0,005

Fonte: Adaptado do catálogo FILIZOLA (2018).

Uma das dificuldades encontradas durante a realização dos testes foi o ajuste da vazão do gás. Nos primeiros testes, as válvulas se encontravam abertas e, conseqüentemente, a vazão de GLP era alta. Assim que o gás era arrastado pelo carburador, o motor afogava e morria.

Durante algumas tentativas, observou-se que uma vazão mínima de GLP era suficiente para estabilizar o motogerador. Sendo assim, o gerador foi regulado para o melhor desempenho e os dados foram coletados.

Durante os testes foram utilizados alguns gramas de gás GLP do botijão P5. Pelo fato de a medição ter sido feita em tempo real com o auxílio de uma balança digital, os testes não necessitavam ser com um botijão cheio.

Os dados obtidos no teste realizado estão listados na Tabela 11.

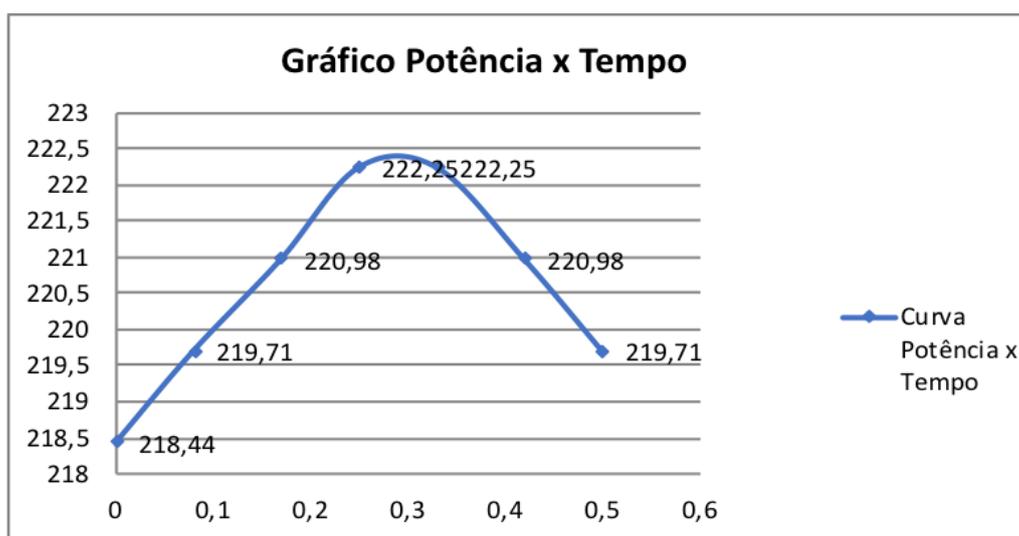
Tabela 11. Dados coletados da operação do gerador com GLP durante 30 minutos

Velocidade Motogerador	Tempo [h]	Tensão [V]	Corrente [A]	Massa [g]	Massa consumida GLP [g]	Potência [W]	CE [g/Wh]
8	0,00	127	1,72	14455	0,0	218,44	0,00
8	0,08	127	1,73	14435	20	219,71	1,14
8	0,17	127	1,74	14415	40	220,98	1,06
8	0,25	127	1,75	14390	65	222,25	1,17
8	0,33	127	1,75	14370	85	222,25	1,16
8	0,42	127	1,74	14350	105	220,98	1,13
8	0,50	127	1,73	14325	130	219,71	1,18

Fonte: Autores.

Após coleta dos dados, observou-se que a potência varia entre 218,44 a 222,25 Watts (1,7%). Essa variação pode ser explicada devido à instabilidade do gerador com o combustível gasoso. A Figura 12 apresenta o gráfico da potência ao longo dos 30 minutos.

Figura 12. Gráfico da potência ao longo dos 30 minutos



Para obtermos uma conclusão, em termos de economia e eficiência, utilizando o GLP, utilizaremos os dados gerados no momento em que o gerador atinge a potência máxima e

permanece estável por um determinado tempo. A potência máxima é atingida nos dois experimentos a aproximadamente 20 minutos do início de operação.

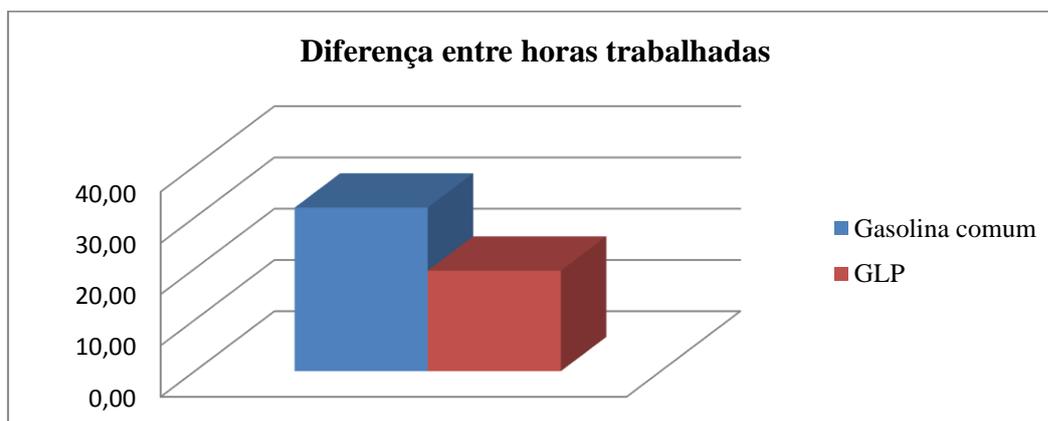
Com 85 gramas de GLP foi possível funcionar o motogerador durante 20 minutos, obtendo uma potência de 220,73 W na média, durante o período. Partindo-se do princípio de que um botijão P5 apresenta 5 kg de GLP em seu interior, seria possível operar o motogerador durante 1176,47 minutos (19,61 horas). O valor do GLP por hora seria de R\$ **2,80**.

Utilizando o valor do botijão P5 que foi de R\$ 55,00, seria possível obter, respectivamente 11,66 litros de gasolina comum a R\$ 4,717 por litro. A densidade da gasolina comum é em média 0,7475 kg/L. Em 11,66 litros se obtém o equivalente a 8,7158 kg de gasolina. Com o valor calculado da quantidade de massa de gasolina comum que pode se obter com R\$ 55,00, podemos determinar o tempo em que o gerador iria operar com essa quantidade de combustível.

Com 93,4 gramas de gasolina comum, o motogerador operou durante 20 minutos. Adicionando 8,7158 kg de gasolina, o equipamento funcionaria durante 1914,67 minutos (31,91 horas). O valor de gasolina por hora seria de R\$ 1,72.

A Figura 13 ilustra a diferença no tempo de operação do motogerador com um botijão P5 (R\$55,00) e 11,66 litros de gasolina (R\$55,00).

Figura 13. Gráfico ilustrando a diferença de horas trabalhadas utilizando os dois combustíveis



Fonte: Autores.

Para obter uma comparação entre o preço cobrado pelo GLP, cotou-se o valor de um botijão P13 na mesma distribuidora era R\$ 68,53, com preço médio de R\$ 68,53, segundo a ANP.

Refazendo-se os cálculos, utilizando com um botijão P13, considerando-se que o gerador funcionaria durante 3094,58 minutos (51,57 horas). O valor do GLP por hora seria de R\$ **1,33**.

Com os R\$ 68,53 é possível obter 14,53 litros de gasolina comum. Este valor em massa é de 10,8599 kg. Adicionando essa quantidade de combustível no motogerador, o equipamento funcionaria durante 2385,67 minutos (39,76 horas). O valor da gasolina por hora seria de R\$ 1,72.

A Figura 14 ilustra a diferença de valor por hora dos botijões P5 e P13.

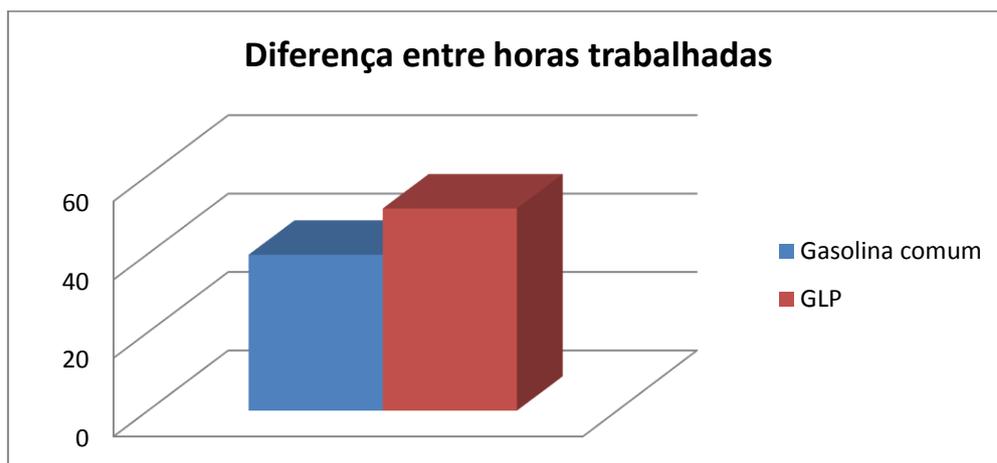
Figura 14. Ilustração do valor do GLP para diferentes tipos de vasilhame



Fonte: Autores.

Com os valores obtidos, foi necessário gerar um novo gráfico (Figura 15) para comparar as horas trabalhadas utilizando gasolina comum e o GLP.

Figura 15. Gráfico ilustrando a diferença de horas trabalhadas utilizando como referência um botijão P13 e R\$ 68,53 em gasolina comum



Fonte: Autores.

Após traçados os gráficos, foi possível analisar que o valor cobrado pelo GLP influencia nos resultados. O gás GLP possui um poder calorífico maior, o que demanda menos combustível comparado à gasolina. Provavelmente, o botijão P5 é comercializado com um valor acima do

teórico. Tal fato pode ser explicado por se tratar de um produto com pouca saída de mercado e lembrando-se que associado ao valor final está, também, o custo da embalagem. Quanto menor a embalagem maior o custo do produto e quanto maior a embalagem, menor será o custo do produto.

O conjunto se torna vantajoso financeiramente quando o botijão P13 é adotado como padrão. Por ser o vasilhame com maior saída de mercado, o seu preço torna a massa de GLP mais barata do que o P5 e, por tanto, competitiva com a gasolina. A diferença de horas trabalhadas entre os dois combustíveis foi de 22,90%.

## **CONCLUSÃO**

Com relação à adaptação realizada no gerador Tekna, conclui-se que as adaptações se mostraram funcionais e eficientes, sem nenhuma modificação das características do conjunto, apenas a inserção de alguns componentes ao sistema. Sendo assim, fica claro que as modificações podem ser realizadas por pessoas que utilizam um conjunto motogerador a gasolina com frequência e que desejam transformar seu equipamento para flex, podendo alternar entre os dois combustíveis quando julgar necessário. É importante verificar os riscos presentes (queimaduras e explosão) antes da adaptação ser realizada.

Operando com GLP, o equipamento possui uma leve queda de potência na ordem de aproximadamente 1,5%, o que não atrapalha seu fornecimento de energia.

Com base nas cotações realizadas no mês de março, o experimento se mostrou eficiente quando utilizado um botijão P13. Esse fato pode ser explicado devido ao valor desproporcional do botijão P5, adotado primeiramente no trabalho, no mercado.

O gás GLP se mostra mais eficiente do que a gasolina, além de ter uma queima limpa e completa, auxiliando a diminuição das emissões de gases no meio ambiente.

Recomenda-se a futuros pesquisadores melhorar a estabilidade do conjunto quando operado à GLP. É possível que a redução seja ainda maior se ajustado corretamente. Recomenda-se aplicar os métodos utilizados neste trabalho para adaptar um motogerador para operar com GNV e para desenvolver um novo carburador para utilizar biogás como combustível.

**bioenergia em revista: diálogos, ano 8, n. 2, p.63 - 86, jul./dez. 2018.**

Mazzonetto, Alexandre Witier ; Carvalho, Fernando Henrique de; Pedro, Alexandre da Costa  
*Eficiência de um motogerador a gasolina adaptado para GLP*

## REFERÊNCIAS

ADAM, B.; SOARES, J. B. *Motores Diesel*. 4. ed. São Paulo: Hemus, 1978. 660 p.

ALVIM, C.; FERREIRA, O. C.; EIDELMAN, F.; GOLDEMBERG, J. *Energia final e equivalente: procedimento simplificado de conversão*. 2000. Disponível em: <<http://ecen.com/eee18/enerequi.htm>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2018. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo\\_Mensal\\_Estado.asp](http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Estado.asp)>. Acesso em: 10 jun. de 2018.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2017. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/anuario-estatistico/2017/anuario\\_2017.pdf](http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/anuario-estatistico/2017/anuario_2017.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2018.

BERTOLDI, D. *Simulação numérica de um modelo simplificado de um motor à combustão interna a gás natural*. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/90468/249275.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. *Fundamentos da termodinâmica*. 8. ed. São Paulo: Editora Blücher, 2013. 728 p. (Van Wylen).

COSTA, F. C. da. *Gases combustíveis como alternativas à eletrotermia em aquecimento direto e calor de processo no setor industrial brasileiro*. 2013. 211 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

COMGAS. Companhia de Gás de São Paulo. *Generalidades*. 2014. v. 2. Disponível em: <[https://www.comgas.com.br/wp-content/uploads/2017/05/RIP-2014\\_2-Generalidades-versao-marco-2014.pdf](https://www.comgas.com.br/wp-content/uploads/2017/05/RIP-2014_2-Generalidades-versao-marco-2014.pdf)>. Acesso em: 07 out. 2018.

FERGUSON, C. R.; KIRKPATRICK, A. T. *Internal combustion engines: applied thermosciences*. 3. ed. Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons, Inc. 2016. 459 p.

FILIZOLA. CATÁLOGO 2018. Disponível em: <<https://www.boadica.com.br/produtos/c47507>>. Acesso em: 23 set. 2018.

HALLIDAY, D.; RESNICK, J. W. *Fundamentos da Física*. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009. 2 v.

INSTITUTO DE PESOS E MEDIDAS (São Paulo). *Botijão de gás: botijão de gás – parte um – como tudo começou*. 2016. Disponível em: <<https://ipemsp.wordpress.com/botijao-de-gas/>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

MAHLE. *Motores de combustão interna*. São Paulo, 2012. (Apostila eletrônica). Disponível em: <[http://www.maxxitraining.com.br/Documentos/livraria\\_do\\_conhecimento/MAHLE%20M anual-Tecnico-Curso-de-Motores-Miolo-846B-2.pdf](http://www.maxxitraining.com.br/Documentos/livraria_do_conhecimento/MAHLE%20M anual-Tecnico-Curso-de-Motores-Miolo-846B-2.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2018.

**bioenergia em revista: diálogos, ano 8, n. 2, p.63 - 86, jul./dez. 2018.**

Mazzonetto, Alexandre Witier ; Carvalho, Fernando Henrique de; Pedro, Alexandre da Costa

*Eficiência de um motorizador a gasolina adaptado para GLP*

MARTINELLI JUNIOR, L. C. *Máquinas térmicas I: motores de combustão interna*. [20--?].

Disponível em: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/08/mci.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

MORAN, M. J. & SHAPIRO, H. N. *Fundamentals of engineering thermodynamic*. 5. ed. Chichester: Editora John Wiley & Sons Inc, 2008. 831p.

PENIDO FILHO, P. *Os motores: a combustão interna*. Belo Horizonte: Lemi, 1991. 404 p.

PASSOS, R. *Como funcionam os carburadores – e tudo o que você precisa saber sobre eles*.

Disponível em: <<https://www.flatout.com.br/como-funcionam-os-carburadores-e-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-eles/>>. Acesso em: 03 out. 2018.

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S. A. *Gás liquefeito de petróleo – informações técnicas*. v. 1.2.

Disponível em:<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/manual-tecnico-gas-liquefeito-petrobras-assistencia-tecnica-petrobras.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2018.

PEREIRA, J. C. *Grupos geradores: princípios de funcionamento, instalação, operação e manutenção de grupos geradores*. 2015. Disponível em: <[http://www.joseclaudio.eng.br/grupos\\_geradores\\_1.html](http://www.joseclaudio.eng.br/grupos_geradores_1.html)>. Acesso em: 22 mar. 2016.

RIBEIRO, D. *James Watt*. 2014. Disponível em:

<[http://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/James\\_Watt](http://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/James_Watt)>. Acesso em: 12 dez. 2015.

SANTOS, D. M. dos. *Melhor mistura etanol/gasolina para motorizador a combustão por centelha*. 2016. 53 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Fundação Armando Álvares Penteado (FAAP), São Paulo, 2016.

SCHULZ, D. *Ciclo de Carnot*. 2009. Disponível em:

<[http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo\\_carnot.htm](http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_carnot.htm)>. Acesso em: 05 fev. 2016.

SINDIGÁS. Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo. *Gás LP no Brasil: energia porta a porta, ao alcance de todos*. 2009. v. 5. Disponível em:

<[http://www.sindigas.org.br/Download/Arquivo/Cartilha\\_V\\_635297252045641113.pdf](http://www.sindigas.org.br/Download/Arquivo/Cartilha_V_635297252045641113.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2018.

SOCIEDADE FOGÁZ LTDA. *GLP e o meio ambiente*. 2011. Disponível em:

<<https://www.fogas.com.br/consumidor/glp-e-o-meio-ambiente>>. Acesso em: 14 fev. 2016.

SOUZA, R. G. *Desempenho do conjunto motorizador adaptado a biogás*. 2006. 40 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

Disponível em:

<[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3572/1/DISSERTAÇÃO\\_Desempenho do conjunto motorizador adaptado a biogás.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3572/1/DISSERTAÇÃO_Desempenho%20do%20conjunto%20motorizador%20adaptado%20a%20biogás.pdf)>. Acesso em: 13 jan. 2016.

TAVARES, L. A. *James Watt: a trajetória que levou ao desenvolvimento da máquina a vapor vista por seus biógrafos e homens de ciências*. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <[http://www.sapientia.pucsp.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=7935](http://www.sapientia.pucsp.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=7935)>. Acesso em: 23 dez. 2015.

**bioenergia em revista: diálogos, ano 8, n. 2, p.63 - 86, jul./dez. 2018.**

Mazzonetto, Alexandre Witier ; Carvalho, Fernando Henrique de; Pedro, Alexandre da Costa

*Eficiência de um motogerador a gasolina adaptado para GLP*

TAYLOR, C. *Análise dos motores de combustão interna*. São Paulo: Edgard Blücher, 1971. 558 p.

TEKNA CATÁLOGO – Ficha Técnica 2018. Disponível em:

<<http://www.nordtech.com.br/index.php?super=TEKNA%20POWER%20EQUIPMENTS>>.

Acesso em: 22 set. 2018.

TILLMANN, C. A. C. *Motores de combustão interna e seus sistemas*. Pelotas: E-tec Brasil, 2013. 166 p.

Disponível em: <[http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico\\_biocombustivel/motores\\_combustao\\_interna\\_e\\_seus\\_sistemas.pdf](http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico_biocombustivel/motores_combustao_interna_e_seus_sistemas.pdf)>. Acesso em: 03 fev. 2016.

1 Mazzonetto, Alexandre Witier. Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas FEAGRI/UNICAMP. Mestrado em Engenharia Agrônômica – Máquinas Agrícolas/Biomassa – Colheita Integral de Cana, pela Universidade de São Paulo – ESALQ-USP, Doutorando pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas – Departamento de Energia – FEM/UNICAMP (Cogaseificação de biomassas residuais). Na Graduação envolveu-se em Pesquisa/Desenvolvimento de processos térmicos, desenvolvendo um secador rotativo de sementes e outro de leito fluidizado. Desde o Mestrado vem trabalhando com fontes renováveis de energia, biomassas residuais (tratamento e geração de energia), levando-o a cursar Química na Universidade Mackenzie (Bacharel, Licenciatura e Industrial). Processos térmicos para obtenção de biocombustíveis, gaseificação e pirólise e combustíveis sustentáveis, gás de síntese (Syngas), produção e uso do biogás, bem como condicionamento do biogás e syngas. Atualmente é Professor nas FATECs de Piracicaba (Biocombustíveis e Gestão Empresarial) e Tatuapé.

2 Carvalho, Henrique de. Engenheiro Mecânico FAAP. >[nando.h.carvalho@gmail.com](mailto:nando.h.carvalho@gmail.com)

3 Pedro, Alexandre da Costa. Engenheiro Químico – FAAP e Mestrando no IPT. >  
[alexandrecpedro@gmail.com](mailto:alexandrecpedro@gmail.com)