

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
CCET - *Campus* de Cascavel
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura –
PPGEA
Mestrado

HELDER JOSÉ COSTA CAROZZI

**UTILIZAÇÃO DE REATOR PIROLÍTICO RETROALIMENTADO
(GEET) PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE UM GRUPO MOTOR
GERADOR A GASOLINA**

**CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO – 2017**

HELDER JOSÉ COSTA CAROZZI

**UTILIZAÇÃO DE REATOR PIROLÍTICO RETROALIMENTADO (GEET)
PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE UM GRUPO MOTOR GERADOR A
GASOLINA**

Dissertação apresentada como avaliação parcial
referente à defesa do mestrado do Curso de Pós-
graduação em Engenharia de Energia na
Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do
Paraná, Campus Cascavel.

Professor Orientador: Dr. Carlos Eduardo
Camargo Nogueira.

Professor Coorientador: Dr. Jair Antonio Cruz
Siqueira.

**CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO – 2017**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca do Campus de Cascavel - Centro Universitário FAG
Ficha catalográfica elaborada por Hebe Negrão de Jimenez CRB 101/9

C293u Carozzi, Helder José Costa.

Utilização de um reator pirolítico retroalimentado (GEET) para melhoria da eficiência de um grupo motor gerador a gasolina / Helder José Costa Carozzi. – Cascavel, 2017.

120 p.: il.: tabelas

Inclui bibliografia

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Cascavel, 2017.

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

Coorientador: Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira

1.Eletricidade. 2 .Reator pirolítico (GEET). 3. Combustível - Fontes alternativas. I.Título.

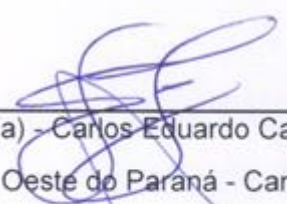
CDD 22ed. 621.312

621.31042

HELDER JOSÉ COSTA CAROZZI

Utilização de reator pirolítico retroalimentado (GEET) para melhoria da eficiência de um grupo motor gerador a gasolina

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



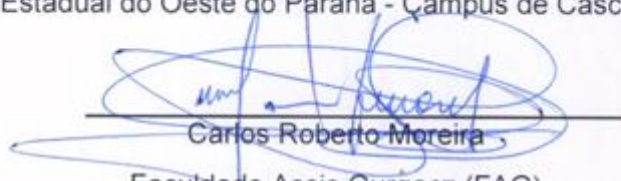
Orientador(a) - Carlos Eduardo Camargo Nogueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Samuel Nelson Melegari de Souza

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Roberto Moreira

Faculdade Assis Gurgacz (FAG)

Cascavel, 22 de fevereiro de 2017

DEDICATÓRIA

Acima de tudo, dedico ao Engenheiro do Universo, a saber o Deus Altíssimo, pois a palavra *engenharia* procede palavra latina *ingenium*, que diz respeito à qualidade, talento, genialidade, habilidade, que são os elementos vitais e necessários àquele que cria... elementos vitais e necessários Àquele que todas as coisas Criou...

Dedico este trabalho a todos aqueles, homens e mulheres, que possuem uma mente inquieta e um espírito eternamente investigativo.

Este trabalho é apenas uma pequena, uma diminuta contribuição a todos aqueles que são pesquisadores, professores, cientistas e malucos..., malucos pela verdade, pela justiça e por um mundo verdadeiramente melhor. Um mundo onde a energia deveria ser algo disponível e de fácil acesso assim como o ar, a água e o alimento também o deveriam ser... a todo indivíduo, sem distinção de raça, cor, religião, origem e qualquer outro elemento possível de classificar o homem, pelo próprio homem...

Dedico, com todo respeito, a todos aqueles que me precederam e que lançaram os fundamentos do saber, pavimentaram a estrada do conhecimento, para que pessoas como eu, pudessem em algum momento de sua trajetória, estando no lugar certo na hora certa e cercado de pessoas incríveis, pudesse aprender um pouco mais e, na medida do possível, dar uma pequena contribuição nesta aventura insana, a qual denominamos de *vida*.

Como não podia ser diferente, dedico em especial ao pesquisador e inventor Paul Pantone, que mesmo sendo injustamente difamado, ainda nos deixará como legado, um mundo melhor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e acima de tudo, a Deus, que apesar de saber o quão divergente sou em relação aos seus ensinamentos, ainda assim, na sua infinita paciência e compreensão, não me deixou sozinho nesta empreitada, assemelhando-se a um verdadeiro e genuíno amigo... um Pai em essência, que desejando o melhor para o seu filho, não deu o peixe, mas, acima de tudo, nas lições da vida, do dia a dia, ensinou a pescar...

Como não poderia deixar de ser, à Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Cascavel, no Estado do Paraná, na pessoa dos Professores Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira e Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira, orientador e co-orientador, respectivamente, que deram um voto de confiança, aceitando-me como mestrando do programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* (nível mestrado) em Engenharia de Energia na Agricultura – PPGEA, onde mesmo estando com horários apertados (agendas cheias), mostram-se sempre disponíveis ao atendimento deste acadêmico, assim como os demais colegas do programa. Seus ensinamentos, sugestões, orientações e comprometimento são os elementos que nortearam e tornou realidade este projeto.

Agradeço também a minha esposa, Elizangela, Mestre pela Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Cascavel, no Estado do Paraná, pelo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* (nível mestrado) em Educação/PPGE, que ao seu modo, contribuiu de maneira decisiva para que eu chegasse a bom termo nesta empreitada.

Aos meus amados filhos, João e Rebeca, por entenderem e me apoiarem nos momentos de ausência total em suas vidas.

Não poderia esquecer também de minha tia paterna, Maria do Rosário, que devido a sua experiência em muitos anos de docência, me cobrou e incentivou para que eu fizesse este mestrado.

Meus pais, Almivar e Arlete, que mesmo muitos quilômetros distantes, me deram forças para que não desistisse, mas pelo contrário, continuasse firme no caminho, e que na hora certa, tudo iria dar certo.

Ao Engenheiro, Professor e Mestre, Vânio da Maia, Coordenador dos Cursos de Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Elétrica do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz - FAG, que me incentivou, me ajudou de inúmeras maneiras, sempre

me apoiando, indo muito além do senso profissional, se mostrando um verdadeiro amigo, sendo, acima de tudo, ético e justo em todas as suas ações.

Não posso esquecer-me de agradecer, ao colega e também, Prof. Me. Roberson Parizotto, que também concluiu seu mestrado neste programa (PPGEA) e que hoje responde como Coordenador do Centro Tecnológico do Centro Universitário FAG – TECFAG, por ter sido a ponte entre o meu desejo de fazer o mestrado PPGEA e os professores do programa, aos quais sinto-me honrado e em dívida, por terem me oportunizado esta realidade.

Ao também Prof. Me. Vander Fábio Silveira, que também concluiu seu mestrado neste programa (PPGEA) e que, gentilmente, cedeu o Grupo Motor Gerador - GMG para que fosse possível realizar os ensaios necessários para comparar as tecnologias propostas para este trabalho.

Finalmente, agradeço a todos aqueles, que de uma forma ou de outra, sem exceção, foram agentes desta conquista, que com certeza não é só minha e nunca será...

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Mtep	Milhões de toneladas de equivalente de petróleo
PIB	Produto Interno Bruto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GMG	Grupo Motor Gerador GEET <i>Global Environmental Energy Technology</i> (Tecnologia de Energia Ambiental Global)
dW	Variação infinitesimal do trabalho [J]
F	Força [N]
dx	Deslocamento infinitesimal [m]
ΔE_{int}	Variação da energia interna [J]
Q	Eenergia calorífica [J]
W	Trabalho [J]
W_{maq}	Trabalho realizado pela máquina [J]
Q_q	Energia para o “reservatório” quente [J]
Q_f	Energia para o “reservatório” frio [J]
gal lqd	<i>Liters to US Gallons – Liquid</i> (Equivalência de litros por unidade volumétrica <i>galão</i> utilizado nos Estados Unidos da América)
PA	Ponto-morto Alto
GNV	Gás Natural Veicular
ANP	Agência Nacional de Petróleo
MTBE	<i>Éter Metil Terbutílico</i>
HC	Hidrocarboneto
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
OHV	<i>Overhead Valve Engine</i> (Comando de Válvulas no Bloco do Motor)
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Visor de Cristal Líquido)
Knots	Velocidade de uma milha náutica (1.852 km) por hora, aproximadamente 1.151 mph
UR	Umidade Relativa

Vca	Tensão em corrente alternada
Vcc	Tensão em corrente contínua
ac	<i>alternative current</i> (corrente alternada)
dc	<i>direct current</i> (corrente contínua)
°C	Temperatura em graus centígrados
°F	Temperatura em Fahrenheit
K	Tipo de junção termopar
gr	Escala para medição de massa
gn	Escala para medição da massa em <i>grain</i>
oz	Escala para medição em onças
AV	<i>Average Velocity</i> (Tempo Médio)
VA	volt-âmpere
°, ‘, “	Coordenadas geográficas em graus, minutos e segundos, respectivamente.
AVGAS	Gasolina de Aviação
En_{Cons}	Energia consumida na carga [Wh]
V	Tensão gerada [V]
I	Fluxo de corrente [A]
t	Tempo [h]
PCI_{total}	Poder calorífico inferior total [Wh/g]
PCI_{combX}	Poder calorífico específico de um dado combustível [Wh/g]
n_X	Proporção com que um determinado combustível é acrescido numa mistura de combustíveis, podendo variar de 0 (zero) a 1 (um), [adimensional].
En_{TC}	Energia teórica do combustível [Wh]
d	Densidade [g/cm ³]
vol	Volume [cm ³]
Ef	Eficiência [%]

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Máquina a vapor de dupla ação.....	11
Figura 2. Motor rotativo Wankel.	12
Figura 3. Exemplo de motor a pistão – Honda Accord 3.0 VTEC - ilustração do motor em corte.	13
Figura 4. Principais partes de um motor a pistão.	13
Figura 5. Transformação de energia calorífica em mecânica	14
Figura 6. Primeiro tempo – motor 2 tempos. (a) Início. (b) Fim.	15
Figura 7. Segundo tempo - motor 2 tempos. (a) Início. (b) Fim.	16
Figura 8. Motor 4 tempos - Admissão.	17
Figura 9. Motor 4 tempos - Compressão.	18
Figura 10. Motor 4 tempos - Explosão.	18
Figura 11. Motor 4 tempos - Exaustão.	19
Figura 12. Motor Diesel.	20
Figura 13. Corte transversal motor Diesel.	20
Figura 14. Câmara de combustão motor Diesel. (a) Sistema típico. (b) Câmara independente.	21
Figura 15. Ciclo Diesel. (a) admissão. (b) compressão. (c) injeção. (d) expansão. (e) exaustão.	22
Figura 16. Taxa de compressão. (a) volume total disponível sem compressão. (b) volume comprimido a 1/9 do valor inicial.....	23
Figura 17. Esquemático do reator de plasma endotérmico proposto por Naudin (2016).	30
Figura 18. Esquemático estrutural GEET – Pantone confeccionado pelo autor.....	32
Figura 19. Corte transversal e longitudinal parcial do GEET – Pantone confeccionado pelo autor.....	33
Figura 20. Haste da câmara pirolítica do GEET – Pantone confeccionado pelo autor.....	34
Figura 21. Recipiente da mistura e borbulhador.....	35
Figura 22. Primeira versão do conjunto GMG e o processador multicomcombustíveis – sem carburador.	36
Figura 23. Alterações de cor na haste interna do reator.	38

Figura 24. GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.	40
Figura 25. Anemômetro Digital Portátil ICEL-AN-10.....	41
Figura 26. Termo – Higrômetro da marca Incoterm – modelo 7666.02.0.00.....	42
Figura 27. Multímetro Digital MINIPA modelo ET-1100A.....	42
Figura 28. Alicates amperímetro – 266 Clamp Meter.	43
Figura 29. Multímetro Digital com Alicates Amperímetro da marca Worker.....	44
Figura 30. Tacômetro Digital Instrutemp – Modelo TTAC – 7200.....	44
Figura 31. Termômetro Digital Infravermelho com Mira Laser –Fluke -Modelo 59MAX.	45
Figura 32. Termômetro Digital Portátil TD800D – ICEL. (a) Termômetro. (b) Haste – sensor tipo K.....	46
Figura 33. Balança portátil de precisão Quanta modelo - QTBB-1000G.	46
Figura 34. Balança de mesa WH-B11.	47
Figura 35. Proveta graduada – 100 ml com base de polipropileno - da PHOX.	47
Figura 36. Cronômetro marca NAUTIKA – NTK, modelo PROCRON I.	48
Figura 37. Esquemático Cenário 1 – ensaio do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1 com carburador original - a vazio (sem carga).	50
Figura 38. Caixa do carburador original - GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.....	51
Figura 39. Acesso ao comando de válvulas após retirada da tampa do cabeçote GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.....	52
Figura 40. Cabeçote do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.	52
Figura 41. Detalhe da válvula de exaustão do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.....	53
Figura 42. Retirada da rebarba do pistão do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.	53
Figura 43. Resultado final condicionamento base do pistão do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.	54
Figura 44. Sistema de exaustão apresentando sinais de oxidação.	54
Figura 45. Envelopamento dos principais componentes mecânicos e elétricos do GMG.....	55
Figura 46. Resultado da pintura da tampa do cabeçote do GMG.....	55
Figura 47. Resultado da pintura do sistema de exaustão do GMG.....	56
Figura 48. Aspecto final da montagem do conjunto do cabeçote do GMG.	56
Figura 49. Aspecto final da montagem – painel frontal - do GMG.....	57
Figura 50. Aspecto final da montagem do sistema de exaustão e conjunto do cabeçote do GMG.....	57
Figura 51. Procedimento de colocação de óleo lubrificante no cárter do GMG.	58

Figura 52. Vela de ignição original do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1 com desgaste acentuado.	58
Figura 53. Vela nova NGK - B5HS instalada no GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.....	59
Figura 54. Desmontagem do gerador elétrico – estator - do GMG.	60
Figura 55. Desmontagem do gerador elétrico – rotor - do GMG.	60
Figura 56. Detalhe dos componentes com defeito – rotor – do GMG.....	61
Figura 57. Esquemático Cenário 1 – ensaio do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1 com carburador original - com carga (<i>giga de teste</i>).....	63
Figura 58. Esquemático <i>giga de testes</i> para ensaios do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.	64
Figura 59. Aspecto construtivo da <i>giga de testes</i> para ensaios do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.	64
Figura 60. Configuração ensaio com carga do GMG.	66
Figura 61. Configuração ensaio com uma única carga – 127V/70W - do GMG.	67
Figura 62. Esquemático <i>Cenário 2</i> – ensaio com o Reator GEET-Pantone – aquisição dos dados de referência.	70
Figura 63. Configuração ensaio com carga do GMG – GEET-Pantone.....	75
Figura 64. Configuração ensaio com carga do GMG – GEET- Pantone – descrição dos componentes.	76
Figura 65. Configuração ensaio com carga do GMG – GEET-Pantone descrição complementar de componentes e instrumentos de medição.....	77
Figura 66. GMG carburado com testes <i>a vazio</i> - Consumo (L/h) x Temperatura (°C).....	84
Figura 67. GMG carburado com testes <i>com carga</i> - Consumo (L/h) x Temperatura (°C).	87
Figura 68. GMG carburado com testes <i>com carga</i> – Potência (kW) x Consumo (L/h).	88
Figura 69. GMG carburado com testes <i>com carga</i> – Potência (kW) x Temperatura (°C).	89
Figura 70. GMG carburado com testes <i>com carga</i> – Potência (kW) x Consumo específico (g/kWh).....	90
Figura 71. GMG carburado com testes <i>com carga</i> – Temperatura (°C) x Consumo específico (g/kWh).....	91
Figura 72. GMG carburado com testes <i>com carga</i> – Potência (kW) x Eficiência (%).	92
Figura 73. GMG carburado com testes <i>com carga</i> – Temperatura (°C) x Eficiência (%).	93
Figura 74. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50 – Consumo (L/h) x Temperatura (°C).	97

Figura 75. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50 – Teste x Consumo (L/h).	98
Figura 76. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50 – Teste x Temperatura (°C).	99
Figura 77. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50 – Teste x Consumo específico (g/kWh).	99
Figura 78. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50 – Teste x Eficiência (%).	100
Figura 79. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75 – Consumo (L/h) x Temperatura (°C).	103
Figura 80. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75 – Teste x Consumo (L/h).	104
Figura 81. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75 – Teste x Consumo específico (g/kWh).	105
Figura 82. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75 – Teste x Eficiência (%).	106
Figura 83. GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação – Teste x Consumo específico (g/kWh).	108
Figura 84. GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação – Teste x Eficiência (%).	109
Figura 85. GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável – Teste x Consumo específico (g/kWh).	112
Figura 86. GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável – Teste x Eficiência (%).	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Motores quanto a energia de entrada	9
Tabela 2. Propriedades da água	27
Tabela 3. Resumo dos ensaios referente à <i>Eficiência</i> (%)	114

CAROZZI, Helder José Costa. Msc., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2017. **Utilização de um reator pirolítico retroalimentado (GEET) para melhoria da eficiência de um grupo motor gerador a gasolina.** Professor orientador Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira. Co-orientador: Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira.

RESUMO

Este trabalho apresenta, uma nova abordagem, em termos de eficiência energética, para a geração de eletricidade, utilizando um pequeno Grupo Motor Gerador – GMG, movido a combustão interna (alimentado com água e gasolina), a partir da tecnologia de reator pirolítico (GEET), visando à redução global de consumo, estabilidade de temperatura e melhoria do arrefecimento, com consequente redução do custo do kW produzido. Para isso, buscou-se dimensionar e construir um reator pirolítico (GEET), tendo como base, literatura disponíveis, além de artigos técnicos científicos relacionados. Este reator, quando em funcionamento, obtém energia extra, necessária ao processo de pirólise, da própria energia térmica decorrente da queima do combustível, proveniente dos gases de exaustão (escapamento). Tal característica permite que se utilize como combustível, uma mistura de água (fraturada em gás hidrogênio e gás oxigênio) e gasolina. Para determinar a eficiência do GMG, funcionando com o GEET, foi realizado dois experimentos bem definidos. O primeiro experimento se caracterizou pela operação e uso do GMG equipado com carburador novo (original de fábrica) e que, quando em funcionamento, utilizou somente gasolina veicular comum como combustível. O segundo experimento se caracterizou pela retirada e substituição do carburador pelo reator pirolítico (GEET), que permitiu, o uso de água e gasolina (veicular e de aviação) como combustíveis, conforme proporções definidas na metodologia. Nos dois casos, foram analisados a estabilidade da temperatura, o comportamento com carga elétrica ($f_p = 1$), o consumo de combustível (gasolina comum e de aviação) e, principalmente, a eficiência do sistema. Foi possível observar, uma certa estabilidade térmica do principal bloco estrutural do motor (bloco, cabeçote, tampa do cabeçote e vela de ignição), tanto em funcionamento com o sistema carburado (convencional), quanto com o sistema GEET – Pantone. Quanto ao consumo, foi possível verificar que o GMG, ao atingir a tensão próxima da nominal (115Vca), para um mesmo tipo e valor de carga alimentada, o dispositivo GEET, aplicado não se mostrou eficiente quando utilizando água e gasolina comum de uso veicular, acarretando, inclusive, num aumento do consumo de combustível, pois no processo de mistura da gasolina comum com a água (nas proporções definidas pela metodologia), esta água acrescida, inibiu o poder de queima do álcool anidro (dissolução) ao mesmo tempo que não ocorreu uma volatilização/atomização da mistura, mesmo com o retorno dos gases do escapamento para o reservatório da mistura (borbulhamento), o que, na pior das hipóteses, poderia ter provocado um aumento da taxa de compressão, melhorando, provavelmente, o desempenho do conjunto e reduzindo a temperatura de operação na câmara de combustão. Todavia, ao se utilizar o sistema GEET-Pantone com gasolina de aviação, o que observou, foi uma *eficiência* (%) maior para a gasolina de aviação numa proporção de 25/75 (vinte e cinco por cento de gasolina de aviação e setenta e cinco por cento de água, respectivamente), com rendimento médio de 8,46% contra 6,44% utilizando o GEET-Pantone somente com gasolina de aviação. Os resultados obtidos não são conclusivos, ainda, devido a relevância e inovação da proposta tecnológica, justifica estudos mais aprofundados da matéria.

Palavras-Chave: Eletricidade, Reator pirolítico (GEET), Combustível - Fontes alternativas.

CAROZZI, Helder José Costa. Msc., State University of West Paraná, February of 2017. **Use of a retrofitted pyrolytic reactor (GEET) to improve the efficiency of a gasoline generator set.** Adviser: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira. Co-adviser: Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira.

ABSTRACT

This paper presents a new approach in terms of energy efficiency for the generation of electricity using a small Generator Motor Group (GMG), powered by internal combustion (fueled with water and gasoline), using pyrolytic reactor technology (GEET), aiming at the global reduction of consumption, temperature stability and improvement of the cooling, with consequent reduction of the cost of kW produced. In order to do so, the aim was to design and construct a pyrolytic reactor (GEET), based on available literature, as well as related scientific technical articles. This reactor, when in operation, obtains extra energy, necessary for the pyrolysis process, of the thermal energy produced by the combustion of the exhaust gases. This feature allows a mixture of water (fractured in hydrogen gas and oxygen gas) and gasoline to be used as fuel. To determine the efficiency of the GMG, working with the GEET, two well-defined experiments were performed. The first experiment was characterized by the operation and use of the GMG equipped with a new carburetor (factory original) and which, when in use, used only ordinary vehicular gasoline as fuel. The second experiment was characterized by the removal and replacement of the carburetor by the pyrolytic reactor (GEET), which allowed the use of water and gasoline (vehicular and aviation) as fuel, according to the proportions defined in the methodology. In both cases, temperature stability, electric charge behavior ($fp = 1$), fuel consumption (common gasoline and aviation) and, above all, the efficiency of the system were analyzed. It was possible to observe a certain thermal stability of the main structural block of the engine (block, head, head cover and spark plug), both in operation with the carbureted system (conventional) and with the GEET - Pantone system. Regarding the consumption, it was possible to verify that the GMG, when reaching the voltage near the nominal (115Vac), for the same type and value of load fed, the GEET device, applied was not efficient when using water and common gasoline for vehicular use, resulting in an increase in fuel consumption, because in the process of mixing common gasoline with water (in the proportions defined by the methodology), this increased water inhibited the burning power of the anhydrous alcohol (dissolution) at the same time as there was no volatilization / atomization of the mixture, even with the return of the exhaust gases to the mixture reservoir (bubbling), which, at worst, could have caused an increase in the compression ratio, probably improving performance of the set and reducing the operating temperature in the combustion chamber. However, when using the GEET-Pantone system with aviation gasoline, what it observed was a greater efficiency (%) for aviation gasoline in the proportion of 25/75 (twenty-five percent of aviation gasoline and seventy-five percent water, respectively), with an average yield of 8.46% versus 6.44% using GEET-Pantone only with aviation gasoline. The results obtained are not conclusive, yet, due to the relevance and innovation of the technological proposal, it justifies further studies of the subject.

Keywords: Electricity, Pyrolytic reactor (GEET), Fuel - Alternative sources.

ÍNDICE

RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Energia.....	5
2.2 Temperatura	5
2.2.1 Energia calorífica e trabalho	5
2.2.2 Entropia	6
2.2.3 Equilíbrio térmico.....	7
2.2.4 Lei zero da termodinâmica	7
2.2.5 Calor e energia interna.....	7
2.2.6 Primeira lei da termodinâmica.....	7
2.2.7 Segunda lei da termodinâmica.....	8
2.3 Motores	9
2.3.1 Motores térmicos	9
2.3.2 Classificação dos motores térmicos.....	10
2.3.2.1 Motores de combustão externa	10
2.3.2.2 Motores de combustão interna.....	11
2.3.2.3 Carburador	22
2.3.2.4 Taxa de Compressão	22
2.4 Gasolina	23
2.4.1 Aditivos à gasolina	24
2.4.2 Octanagem	25
2.4.2.1 Adição de chumbo na gasolina	25
2.4.2.2 Adição de etanol na gasolina	25
2.5 Estequiometria	26
2.6 Água	26
2.6.1 Composição	26
2.6.2 Propriedades químicas	27

2.6.3 Eletrólise.....	28
2.7 Pirólise.....	28
2.7.1 Reator pirolítico.....	28
2.8 Reator de Pantone.....	29
2.8.1 Partes constituintes do processador multicomcombustíveis.....	29
2.8.2 Proposta construtiva do processador multicomcombustíveis (ou reator de plasma endotérmico).....	30
2.8.3 Princípio de funcionamento do processador multicomcombustíveis (ou reator de plasma endotérmico).....	35
2.8.4 Global Environmental Energy Technology – GEET	37
3. MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 Materiais	41
3.2 Metodologia.....	48
3.2.1 Cenário 1 – ensaio com carburador original.....	48
3.2.1.1 Teste 1 referente ao Cenário 1 – Ensaio1 – Carburado e a Vazio.....	51
3.2.1.2 Teste 2 referente ao Cenário 1 – Ensaio1 – Carburado e a Vazio.....	51
3.2.1.3 Teste 3 referente ao Cenário 1 – Ensaio1 – Carburado e a Vazio.....	59
3.2.1.4 Teste 4 referente ao Cenário 1 – Ensaio1 – Carburado e a Vazio.....	61
3.2.1.5 Testes referente ao Cenário 1 - Ensaio 2 – Carburado e com Carga	64
3.2.2 Testes referentes ao Cenário 2 – ensaio com reator GEET-Pantone	68
3.2.2.1 Ensaio 1 – Cenário 2 - GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 50/50	70
3.2.2.2 Ensaio 2 – GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25/75	72
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
4.1 Cenário 1	81
4.1.1 Ensaio com carburador e GMG a vazio.....	81
4.1.1.1 Teste 1 - a vazio	81
4.1.1.2 Teste 2 - a vazio	81
4.1.1.3 Teste 3 - a vazio	82
4.1.1.4 Teste 4 - a vazio	82
4.1.1.5 Teste 5 - a vazio	83
4.1.1.6 GMG carburado a vazio – consumo (L/h) x temperatura (°C)	83
4.1.2 Ensaio com carburador e GMG com carga	84
4.1.2.1 Teste 1 – com carga	84

4.1.2.2 Teste 2 – com carga	85
4.1.2.3 Teste 3 – com carga	85
4.1.2.4 Teste 4 – com carga	86
4.1.2.5 GMG carburado com carga – consumo (L/h) x temperatura (°C)	86
4.1.2.6 GMG carburado com carga – potência (kW) x consumo (L/h)	87
4.1.2.7 GMG carburado com carga – potência (kW) x temperatura (°C)	88
4.1.2.8 GMG carburado com carga – potência (kW) x consumo específico (g/kWh)	89
4.1.2.9 GMG carburado com carga – temperatura (°C) x consumo específico (g/kWh)	90
4.1.2.10 GMG carburado com carga – potência (kW) x eficiência (%)	91
4.1.2.11 GMG carburado com carga – temperatura (°C) x eficiência (%)	92
4.2 Cenário 2	93
4.2.1 Ensaio com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50	93
4.2.1.1 Teste 1 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50	93
4.2.1.2 Teste 2 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50	94
4.2.1.3 Teste 3 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50	95
4.2.1.4 Teste 4 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50	95
4.2.1.5 GMG com GEET-Pantone com carga – 50/50 - consumo (L/h) x temperatura (°C) ...	96
4.2.1.6 GMG com GEET-Pantone com carga – 50/50 – Teste x consumo (L/h)	97
4.2.1.7 GMG com GEET-Pantone com carga – 50/50 – Teste x Temperatura (°C)	98
4.2.1.8 GMG com GEET-Pantone com carga – 50/50 – Teste x Consumo específico (g/kWh) .	99
4.2.1.9 GMG com GEET-Pantone com carga – 50/50 – Teste x Eficiência (%)	100
4.2.2 Ensaio com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75	100
4.2.2.1 Teste 1 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75	101
4.2.2.2 Teste 2 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75	101
4.2.2.3 GMG com GEET-Pantone com carga – 25/75 – Consumo (L/h) x Temperatura (°C)	102
4.2.2.4 GMG com GEET-Pantone com carga – 25/75 – Teste x Consumo (L/h)	103
4.2.2.5 GMG com GEET-Pantone com carga – 25/75 – Teste x Consumo específico (g/kWh) .	104
4.2.2.6 GMG com GEET-Pantone com carga – 25/75 – Teste x Eficiência (%)	105
4.2.3 Ensaio com GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação	106
4.2.3.1 Teste 1 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação	106
4.2.3.2 Teste 2 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação	107

4.2.3.3 Teste 3 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação	107
4.2.3.4 GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação – Teste x Consumo específico (g/kWh)	108
4.2.3.5 GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação – Teste x Eficiência (%)	109
4.2.4 Ensaio com GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação/75% água potável	109
4.2.4.1 Teste 1 – GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável.....	110
4.2.4.2 Teste 2 – GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável.....	110
4.2.4.3 Teste 3 – GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável.....	111
4.2.4.4 GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável – Teste x Consumo específico (g/kWh)	112
4.2.4.5 GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável – Teste x Eficiência (%)	113
4.3 Resumo dos Experimentos – Eficiência (%)	113
5. CONCLUSÕES	115
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	117
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118

1. INTRODUÇÃO

Conforme o relatório emitido pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, em seu Balanço Energético Nacional de 2015, tendo como base o ano de 2014 (EPE, 2016), o ano de 2014, no Brasil, se caracterizou por uma oferta interna de energia (total de energia demandada no país) equivalente a 305,6 Mtep (milhões de toneladas de equivalente de petróleo), com taxa de crescimento de 3,1% frente à evolução do Produto Interno Bruto - PIB nacional, que segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em seu último relatório, foi de 0,1%. Cerca de 80% do incremento ficou a cargo do gás natural, petróleo e derivados. Esta situação não se deu por acaso, uma vez que a redução na oferta interna de hidroeletricidade com consequente aumento de geração térmica demandou, para o atendimento do consumo, o incremento dos insumos anteriormente citados (EPE, 2016). Cabe ressaltar que apesar deste incremento no uso dos combustíveis - gás natural, petróleo e derivados, a intensidade de carbono na economia foi de 0,21 kg CO₂/US\$, em 2014, garantindo com que a economia brasileira continue, em média, 32%, 53% e 73% menos intensa, em carbono, que as economias europeia, americana e chinesa, respectivamente.

Em termos de energias, sejam estas renováveis, ou não, a tendência evolutiva, 2014/2013, em termos de oferta, pode assim ser entendida: a) redução de 5,6% na energia hidráulica (devido, principalmente, a problemas quanto ao baixo volume de água dos reservatórios, decorrente da estiagem), b) incremento de 1,1% na biomassa da cana-de-açúcar, c) incremento de 0,6% em termos de lenha e carvão vegetal, d) incremento, considerável, de 19,5% de outras fontes renováveis (principalmente eólica e fotovoltaica), e) incremento de 3,3% do petróleo, 9,5% de gás natural, 6,5% de carvão mineral e 13,9% para outras não renováveis (gás de refinaria, coque de carvão mineral, dentre outros) e f) redução de 1,7% no consumo de urânio (políticas econômicas de impacto direto sobre o consumo e ajustadas pelo ministério de Minas e Energia - Angra I e II) (EPE, 2016).

O nível de consumo energético de uma nação e o seu próprio desenvolvimento, conforme Pinto (2014), estão diretamente relacionados. Complementando, conclui-se que a melhora das condições sócio econômicas e qualidade de vida são razão direta do acesso à energia elétrica; sendo que na atualidade, o consumo *per capita* de energia elétrica é o índice utilizado para balizar o desenvolvimento de um país. Logo, uma nação sem acesso à energia,

não possui, em princípio, as condições adequadas ao seu desenvolvimento.

Segundo Hinrichs (2010) e ratificado por Lovins (2013), a energia é o tecido que compõe e da sustentabilidade para a moderna sociedade. Para se criar bens a partir de recursos naturais e viabilizar grande parte dos serviços com os quais a sociedade tem se estruturado e acostumada a consumir, se exige, cada vez mais, a disponibilidade de energia em quantidade e qualidade.

O vento, a água corrente, a luz (RESNICK, 1980) são algumas das muitas formas possíveis de se encontrar energia; esta energia também pode estar armazenada na matéria, como os combustíveis fósseis – petróleo, carvão gás natural, outros. Todavia, as formas de energia, de uma maneira mais técnica e/ou científica, podem ser definidas como – química, nuclear, solar, térmica, mecânica e elétrica. Existe uma conexão direta entre energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico, uma vez que estas se encontram forte e intimamente ligadas (HINRICHS, 2010).

Indagações relacionadas com o aquecimento global, chuva ácida, resíduos radioativos, dentre outros, são atuais e dizem respeito como, nos dias de hoje, a atual sociedade se utiliza da energia disponibilizada (LOVINS, 2013).

Conforme atesta Groover (2011), os aspectos dos sistemas de manufatura, ou ainda, sistemas de produção, atingiram um grau de importância na atualidade, sem precedentes. A modernização do Ocidente, transitando de uma sociedade com características absolutamente rural, para outra, predominantemente urbana e com acentuado grau de riqueza, só foi possível pela utilização de tecnologia moderna firmada em uma ampla série de avanços científicos, os quais foram energizados por combustíveis fósseis, sejam nas máquinas a vapor desenvolvidas por James Watt (1736-1819), que queimavam carvão fóssil (também chamado de carvão combustível), lâmparas alimentadas pelo querosene de John Davison Rockefeller (1839-1937), ou nos veículos automotores popularizados na América do Norte, por Henry Ford (1863-1947), ou locomotivas equipadas com motores ciclo diesel, desenvolvidos por Rudolf Diesel (1858-1913) (CHALLONER, 2014) (BARSA, 1998).

Na década de 70, uma série de eventos políticos, iniciado com o embargo do petróleo em outubro de 1973, promovido pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEP, onde longas filas se formaram para compra de gasolina, ao mesmo tempo em que se observava racionamento de gás natural, tão necessário ao aquecimento durante os frios invernos (HINRICHS, 2010) e continuando com a Revolução Iraniana de 1979, caracterizando um aprofundamento da desordem econômica internacional e uma recessão

global que duraria até o início da década de 80, seguido pela Guerra do Golfo Pérsico de 1991 e a invasão do Iraque em 2003, fizeram com que muitos passassem a perceber quanto a energia é crucial para o adequado funcionamento cotidiano de nossa sociedade. Apesar dos aspectos diretos das crises energéticas ocorridas nos anos 70, terem sido quase que, totalmente, esquecidas nos anos 1980, seu legado trouxe à tona uma crescente preocupação com base nos impactos ambientais.

Não é difícil concluir que a dependência do petróleo continua sendo um grande problema, pois muitos países do mundo industrializado, a exemplo dos Estados Unidos da América, bem como países em desenvolvimento, importam mais que a metade do petróleo que consomem (HINRICHS, 2010) (LOVINS, 2013).

Não existe setor da sociedade humana, onde a energia não esteja relacionada. Setores como: economia, trabalho, ambiente, relações internacionais -, assim como a própria vida dos indivíduos – moradia, alimentação, saúde, transporte lazer e outros, reclamam e demandam por energia. Os recursos energéticos e o seu uso pelo homem, tornou interessante e imprescindível, na exata proporção que libertou este mesmo homem de muitos trabalhos degradantes e tornou suas ações mais produtivas (PINTO, 2014) (HINRICHS, 2010).

A evolução continuada pelo homem, e o desenvolvimento contínuo de processos pelas nações desenvolvidas, permitiram que, na atualidade, menos de 1% do trabalho feito nos países industrializados dependa da força muscular como fonte de energia. Desta forma, conclui-se que o suprimento de energia é um fator limitante e primordial no desenvolvimento econômico. Segundo (HINRICHS, 2010), 40% da energia global vem do petróleo, sendo o Golfo Pérsico, o principal fornecedor às nações industrializadas. Países como Estados Unidos da América, França e Japão importam dessa região algo em torno de 20%, 33% e 67%, respectivamente, de suas necessidades de petróleo.

O consumo de energia global praticamente dobrou, nas últimas três décadas (HINRICHS, 2010). Apenas nos Estados Unidos da América, o aumento verificado foi da ordem de 35%. Estima-se que nos próximos 20 anos o consumo de energia deva aumentar em torno de 100% nos países em desenvolvimento. Tal fato corresponderia a um crescimento médio de 3% ao ano, sendo evidenciado na China e Índia. Em contrapartida, justapondo-se a este desenvolvimento global, verificou-se o declínio da qualidade do ar urbano e a séria e intensa degradação do solo e das águas.

Estima-se que o consumo de recursos energéticos esteja respaldado em 90% sobre os combustíveis fósseis (HINRICHS, 2010). Nesta perspectiva, fica evidenciado um aumento

continuado das emissões de dióxido de carbono, que tendem a alterar de maneira irreversível o clima do planeta. Tornam-se necessário e imperioso levar em conta tanto as questões sociais como as tecnológicas, para que se faça o uso correto da energia. O crescimento econômico de maneira sustentável, seguido por uma melhora considerável da qualidade de vida da população mundial, será possível somente com o uso bem planejado e eficiente dos limitados recursos energético e o desenvolvimento de novas tecnologias de energia (HINRICHS, 2010).

É neste contexto, caracterizado pelo desenvolvimento de novas tecnologias, melhoria de processos e a busca pelo uso racional e eficiente da energia, que surge como uma possível solução a geração de energia elétrica por meio de Grupo Motor Gerador – GMG, com utilização de hidrocarbonetos fósseis (gasolina) ou renováveis (etanol) associados com água como elemento combustível coadjuvante, através do uso do reator pirolítico (GEET - *Global Environmental Energy Technology*) retroalimentado. Esse reator, durante o processo de queima dos combustíveis, fornece pressão e temperatura à água, quebrando sua molécula em seus elementos fundamentais: Hidrogênio e Oxigênio, combustível e comburente, num processo de realimentação, permitindo a queima do gás Hidrogênio juntamente com o combustível convencional (gasolina). Esse processo possui as seguintes vantagens: a) redução de emissão de poluentes, b) menor aquecimento global do motor, c) aumento da eficiência do sistema de lubrificação, com consequente aumento da durabilidade funcional do óleo lubrificante e do motor de combustão interna e, principalmente, d) redução no consumo de combustíveis (gasolina) para a realização do mesmo trabalho (MARTZ, 2001) (NAUDIN, 2016).

O objetivo geral desta pesquisa, tendo em vista as características apontadas pelo uso do reator pirolítico (GEET - *Global Environmental Energy Technology*) retroalimentado, é propor a validação do sistema, onde seja possível, com a utilização de um dispositivo GEET devidamente dimensionado, permitir o uso adequado de um pequeno grupo motor gerador.. Ainda, os objetivos específicos podem ser definidos como: a) Dimensionar, projetar e construir um protótipo de um sistema GEET, b) Realizar testes de comparação entre o sistema carburado convencional e o sistema proposto, c) Comparar consumo energético dos sistemas, e d) Determinar a eficiência energética do sistema GEET.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia

Tendo em vista a Física – enquanto ciência - define-se *energia* como a propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho (FERREIRA, 1986). A manifestação da energia pode ter diversas formas - calorífica, cinética, elétrica, eletromagnética, mecânica, potencial, química, radiante, gravitacional – transformáveis umas nas outras, e cada uma capaz de provocar fenômenos bem determinados e característicos nos sistemas físicos. Nas transformações de energia, ocorre a completa conservação da mesma, ou seja, a energia não pode ser criada, mas apenas transformada (*primeiro princípio da termodinâmica*). Tem-se dessa forma a dualidade massa-energia, onde a massa de um corpo pode se transformar, sob certas condições, em energia, e a energia sob a forma radiante pode transformar-se em um corpo com massa (RESNICK, 1980) (FERREIRA, 1986) (NASSIF, 2014).

2.2 Temperatura

A temperatura pode ser entendida como a propriedade que determina se um corpo está em equilíbrio térmico com outros corpos (SERWAY, 2011).

2.2.1 Energia calorífica e trabalho

O calor pode ser definido como sendo a energia em trânsito de um corpo a outro, devido à diferença de temperatura entre eles. Logo, se for considerado que o calor é energia transferida como consequência da diferença de temperaturas, pode-se, então, distinguir entre calor e trabalho. O trabalho pode ser definido como sendo a energia que é transferida de um sistema para outro, de tal maneira que a diferença de temperaturas não seja diretamente envolvida. Esta definição (RESNICK, 1980) pode ser aceita como correta, pois na expressão¹, tem-se:

$$dW = F \cdot dx \quad (1)$$

Em que:

dW – variação infinitesimal do trabalho, J

F- força, N

dx - deslocamento infinitesimal, m

Sendo que a força F pode ser de natureza elétrica, magnética, gravitacional, etc. O termo *trabalho* inclui todos os processos que envolvam transferência de energia.

2.2.2 Entropia

A entropia é, simplesmente, a medida de desordem de um dado sistema ou uma medida da aleatoriedade ou desordem de um sistema (BROWN, 2009). No caso de sistemas com temperaturas absolutas positivas ($T > 0K$) ao se acrescentar energia, tem-se um aumento da desordem. Se for tomado, por exemplo, um cristal de gelo, caso este seja aquecido, isto faz com que o mesmo derreta em um líquido mais desordenado, uma vez que o aumento da temperatura eleva, por conseguinte, a desordem do sistema. O entendimento que se faz necessário é, havendo um maior grau de liberdade das moléculas de água, estas ocupam, em consequência, um maior estado de energia do que quando se encontrava na condição de gelo (NASSIF, 2014).

Entretanto, experimentos laboratoriais (NASSIF, 2014) demonstraram que, caso seja removido de maneira continuada, a energia de uma dada substância, ao se chegar cada vez mais próximo do zero na escala absoluta (Kelvin) – onde a entropia esteja no mínimo, ou seja, menor desordem, isto implicaria em entropia nula, pois todas as partículas do sistema considerado estariam totalmente acomodadas num mesmo nível fundamental.

2.2.3 Equilíbrio térmico

O equilíbrio térmico se caracteriza pela situação em que dois corpos não trocariam energia por calor ou radiação eletromagnética se fossem colocados em contato térmico. (SERWAY, 2011).

2.2.4 Lei zero da termodinâmica

A *Lei zero da Termodinâmica* é também denominada de *lei do equilíbrio térmico*. A mesma é definida considerando três corpos distintos: A, B e C. Se os corpos A e B estão, separadamente, em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, então A e B estão em equilíbrio térmico um com o outro (SERWAY, 2011).

2.2.5 Calor e energia interna

Toda energia de um sistema associada a seus componentes microscópicos – átomos e moléculas – quando vistos em um sistema de referência em repouso com relação ao centro de massa do sistema, pode ser entendido por *energia interna* (SERWAY, 2011).

Por sua vez, (SERWAY, 2011) define calor como a transferência de energia através do limite – fronteira – de um sistema devido a uma diferença de temperatura entre o sistema e seu entorno, ou, conforme (SANT’ANA, 2010) energia térmica em trânsito de um corpo para outro devido à diferença de temperatura entre eles.

2.2.6 Primeira lei da termodinâmica

A *Primeira lei da Termodinâmica*, diz respeito a um caso especial da *Lei da Conservação da Energia*, que descreve processos em que somente a energia interna muda, e as únicas transferências de energia são por *calor* e *trabalho* (SERWAY, 2011), podendo ser entendido também como o processo pelo qual a energia pode ser transformada de uma forma para outra, não podendo, entretanto, ser criada ou destruída (BROWN, 2009).

A expressão geral da *Primeira lei da termodinâmica* está demonstrada em 2 (SERWAY, 2011):

$$\Delta E_{\text{int}} = Q + W \quad (2)$$

Em que:

ΔE_{int} - variação da energia interna, J

Q - energia calorífica, J

W - trabalho, J

Uma consequência importante da *Primeira lei da Termodinâmica* é a existência de uma quantidade conhecida de energia interna, onde seu valor pode ser obtido pelo estado em que se encontra o sistema. A energia interna é, portanto, uma variável de estado – pressão, volume, temperatura.

2.2.7 Segunda lei da termodinâmica

A *Segunda Lei da Termodinâmica* pode ser entendida como a impossibilidade de se converter completamente o calor em trabalho (BROWN, 2009).

A expressão que demonstra o trabalho realizado pela máquina térmica é dado em 3 (SERWAY, 2011).

$$W_{\text{maq}} = |Q_{\text{q}}| - |Q_{\text{f}}| \quad (3)$$

Em que:

W_{maq} - trabalho realizado pela máquina, J

Q_{q} - energia para o “reservatório” quente, J

Q_{f} - energia para o “reservatório” frio, J

Na distinção entre a *Primeira* e a *Segunda Lei da Termodinâmica*, se um gás passa

por um único processo isotérmico (mesma temperatura), então, $\Delta E_{\text{int}} = Q + W = 0$ e $W = -Q$. Portanto, a *Primeira Lei* permite que toda entrada de energia por calor seja expelida pelo trabalho. Todavia, numa máquina térmica, onde uma dada substância passa por um *processo cíclico*, somente uma porção da entrada de energia por calor pode ser expelida pelo trabalho, de acordo com a *Segunda Lei da Termodinâmica* (SERWAY, 2011) (BROWN, 2009).

2.3 Motores

As máquinas que produzem energia mecânica a partir de outros tipos de energia são denominadas *motores* (HOMA, 2009). Alguns tipos de motores e seus processos de conversão podem ser observados na tabela 1. Todavia, cabe ressaltar que os motores elétricos, que não são o objeto de estudo deste trabalho, consomem eletricidade, podendo ser alimentados em tensão em corrente contínua ou tensão alternada, ou ambos os tipos, no caso dos motores elétricos do tipo universal (ZUFFO, 1990).

Tabela 1. Motores quanto a energia de entrada

Motores em Geral		
<i>Tipo de Motor</i>	<i>Fonte de Energia</i>	<i>Tipo de Conversão</i>
Elétrico	Eletricidade	Eixo rotacional
Combustão Interna	Hidrocarboneto	Eixo rotacional
Reação	Hidrocarboneto	Propulsão - exaustão de gases sob pressão.

Fonte: (HOMA, 2009).

2.3.1 Motores térmicos

Todos os motores que transformam energia calorífica em energia mecânica são denominados motores térmicos (HOMA, 2009).

2.3.2 Classificação dos motores térmicos

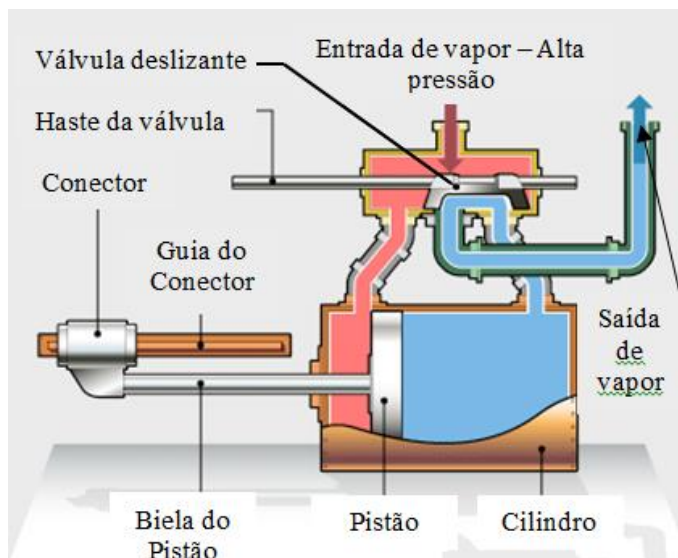
Os motores de combustão podem ser classificados em motores de *combustão externa* e motores de *combustão interna* (HOMA, 2009).

2.3.2.1 Motores de combustão externa

Os motores térmicos de combustão externa possuem como característica a queima do combustível externa ao motor. Sua vantagem técnica é a de poder aceitar qualquer tipo de combustível, porém apresentam a desvantagem de não poderem ser utilizados em determinadas aplicações, a exemplo de aeronaves, devido ao seu peso excessivo (HOMA, 2009), tendo como exemplo, o motor a vapor. Este tipo de motor se caracteriza pela capacidade de transformar energia térmica (calor) em energia mecânica, que por apresentar uma eficiência considerável, quando comparado a outras formas de energia à época de seu desenvolvimento, permitiu a substituição da tração animal, nos trabalhos de transporte, dentre outros.

A máquina a vapor utiliza material combustível, como o carvão, para se obter vapor de água, que mantido sob pressão num reservatório apropriado, pode ser utilizado para impelir um pistão colocando o mesmo em movimento, gerando trabalho. Praticamente, o movimento retilíneo alternado do êmbolo ou pistão é transformado em circular contínuo do eixo motor através de um mecanismo denominado biela-manivela, a exemplo das antigas locomotivas, a vapor, conforme o diagrama da figura 1, que apresenta os principais componentes de uma máquina a vapor com pistão (BARSA, 1998. 9v.).

A máquina do exemplo é do tipo vapor de dupla ação, uma vez que a válvula permite que o vapor de alta pressão possa atuar alternadamente em ambas as faces do pistão (HOWSTUFFWORKS, 2016).



Fonte: (HOWSTUFFWORKS, 2016) Adaptado pelo autor.

Figura 1. Máquina a vapor de dupla ação.

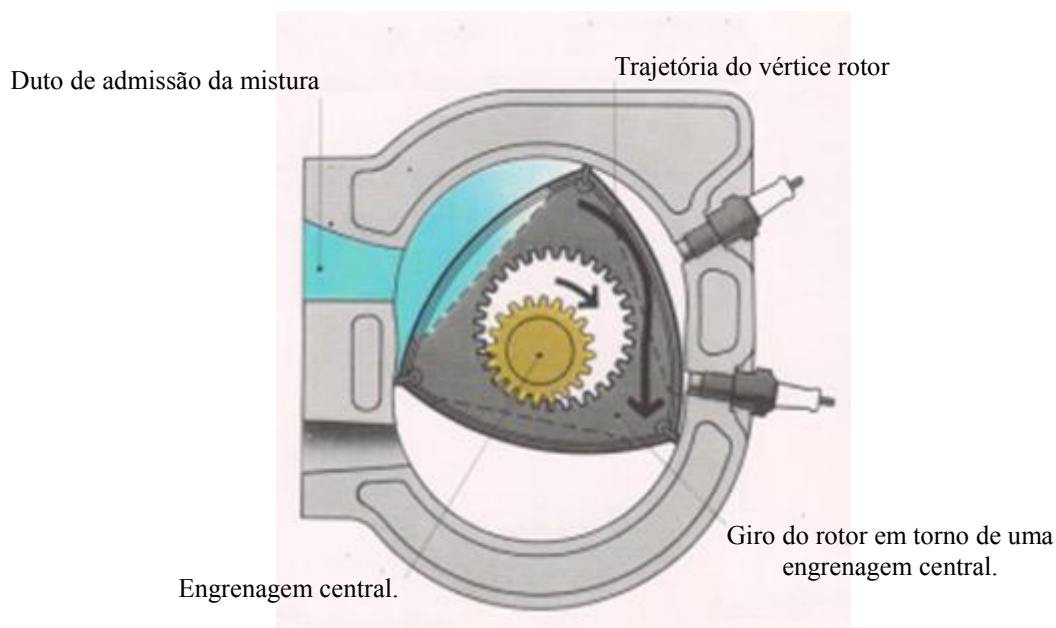
2.3.2.2 Motores de combustão interna

Motores térmicos de combustão interna apresentam como característica a queima do combustível no interior do motor. Possui vantagem tecnológica em termos da relação potência peso, o que lhe confere vantagens em possíveis aplicações aeronáuticas, dentre outras (HOMA, 2009).

Os motores de combustão interna, de uma maneira geral, também podem ser classificados quanto ao tipo de movimento, (HOMA, 2009) em *rotativos* (turbinas, turbinas a gás e Wankel (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976) e *alternativos* (a pistão).

No caso dos motores rotativos, estes podem ser *motores a reação*, caracterizados por impulsionarem pequenas massas de ar a grandes velocidades (HOMA, 2009) (ROSA, 2006) (ex.: turbo jato, turbo *fan* e turbo hélice). Ainda, podem ser *motor rotativo (Ciclo) Wankel* (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976), nome do inventor alemão.

Os motores rotativos do tipo Wankel, possuem como característica construtiva (ANTONINI, 2000), eixos paralelos no qual dois corpos, um dentro do outro, giravam no mesmo sentido em torno de seus respectivos eixos mas com velocidades distintas, dando origem a câmaras com volume variável (Figura 2); logo, tem-se um movimento giratório tanto do êmbolo quanto do seu invólucro (estator).

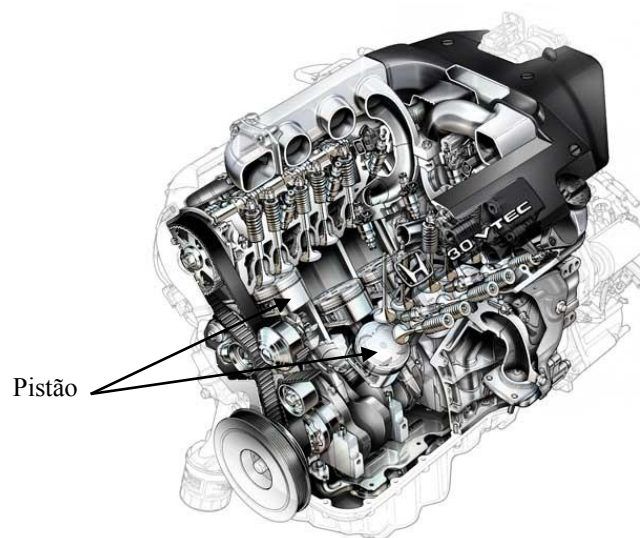


Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976) Adaptado pelo autor.

Figura 2. Motor rotativo Wankel.

Conforme Albuquerque, *et al* (1976), neste tipo de motor, ao contrário dos motores a pistão, caracterizado por movimentos ascendentes e descendentes, as peças estão sujeitas somente a movimentos rotativos, o que representa uma vantagem: este motor é mais leve, mais compacto e constituído por um número de peças inferior de um motor de êmbolos (pistão).

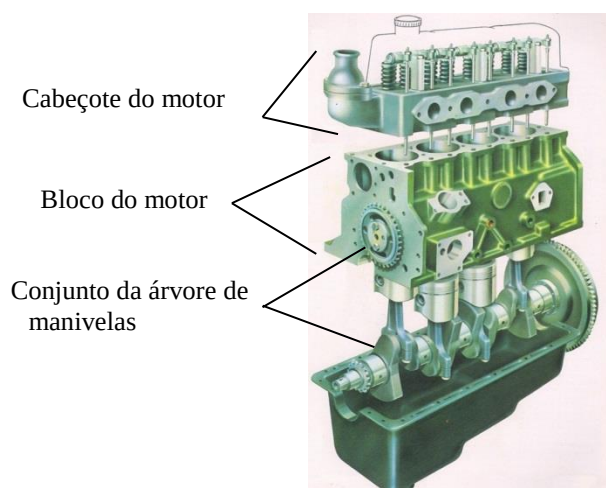
Como motores alternativos, têm-se os *motores a pistão*. Este tipo de motor aproveita a energia da queima do combustível no interior de um cilindro, onde os gases da combustão impulsionam um pistão (Figura 3), cujo movimento é transformado em movimento de rotação através de uma biela acoplada a um eixo de manivelas (HOMA, 2009) (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).



Fonte: (DANIELS, 2016)

Figura 3. Exemplo de motor a pistão – Honda Accord 3.0 VTEC - ilustração do motor em corte.

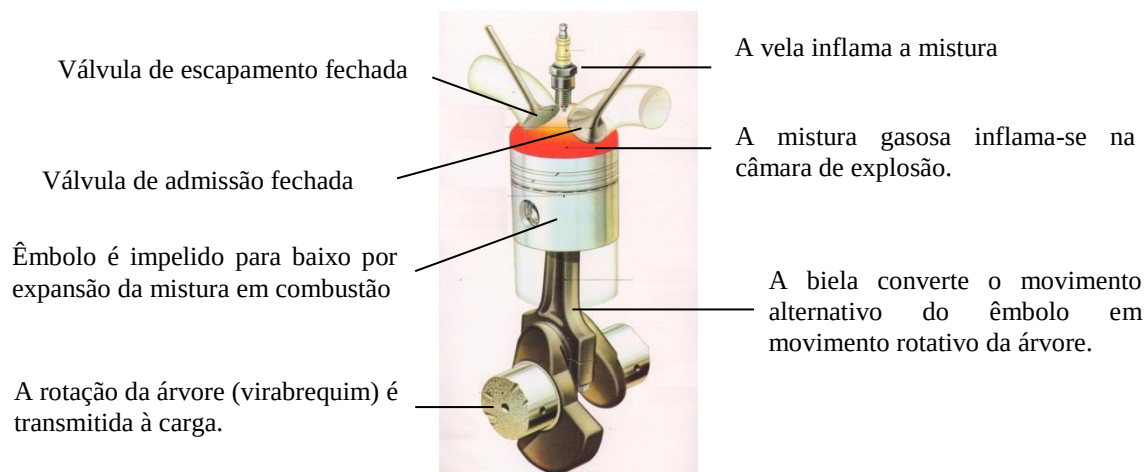
As principais partes de um motor de combustão interna, do tipo pistão, podem ser observadas na figura 4 (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).



Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

Figura 4. Principais partes de um motor a pistão.

Basicamente, o processo pelo qual ocorre a transformação da energia calorífica em energia mecânica pode ser adequadamente entendido, através da figura 5.



Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

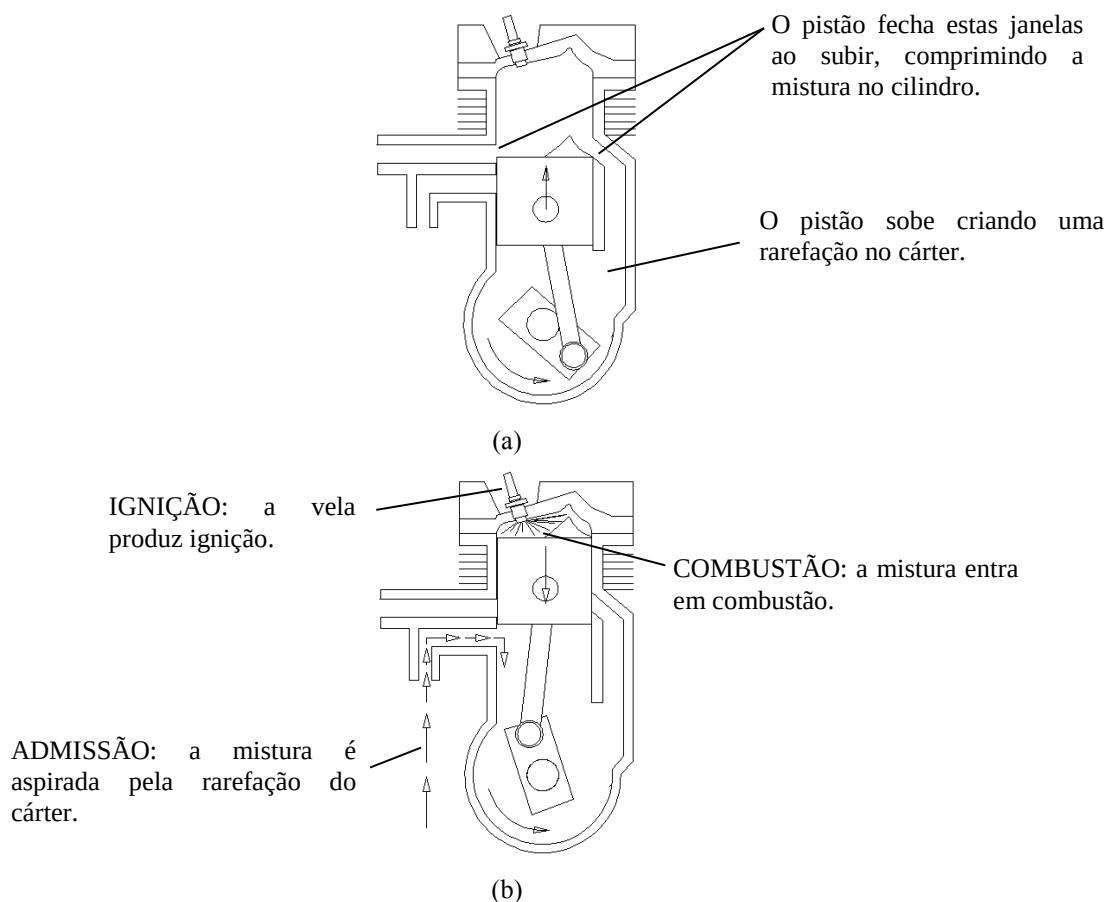
Figura 5. Transformação de energia calorífica em mecânica

Os motores *alternativos* possuem ciclos de funcionamento, em termos do processo explosão, bem definidos. Existem os motores denominados *ciclo Otto* e *Ciclo Diesel*. Ainda em termos de tempos de explosão, tais motores podem ser:

a) Motor de 2 Tempos:

O motor de 2 tempos, é assim denominado, em função de que seu ciclo é constituído por apenas 2 (dois) tempos. Apresenta simplicidade mecânica construtiva, com poucas peças móveis. O próprio pistão funciona como uma “válvula”, abrindo ou fechando janelas (ou luzes como também é chamado), por onde a mistura é admitida e os gases oriundos da queima ar / combustível são expulsos (HOMA, 2009) (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).

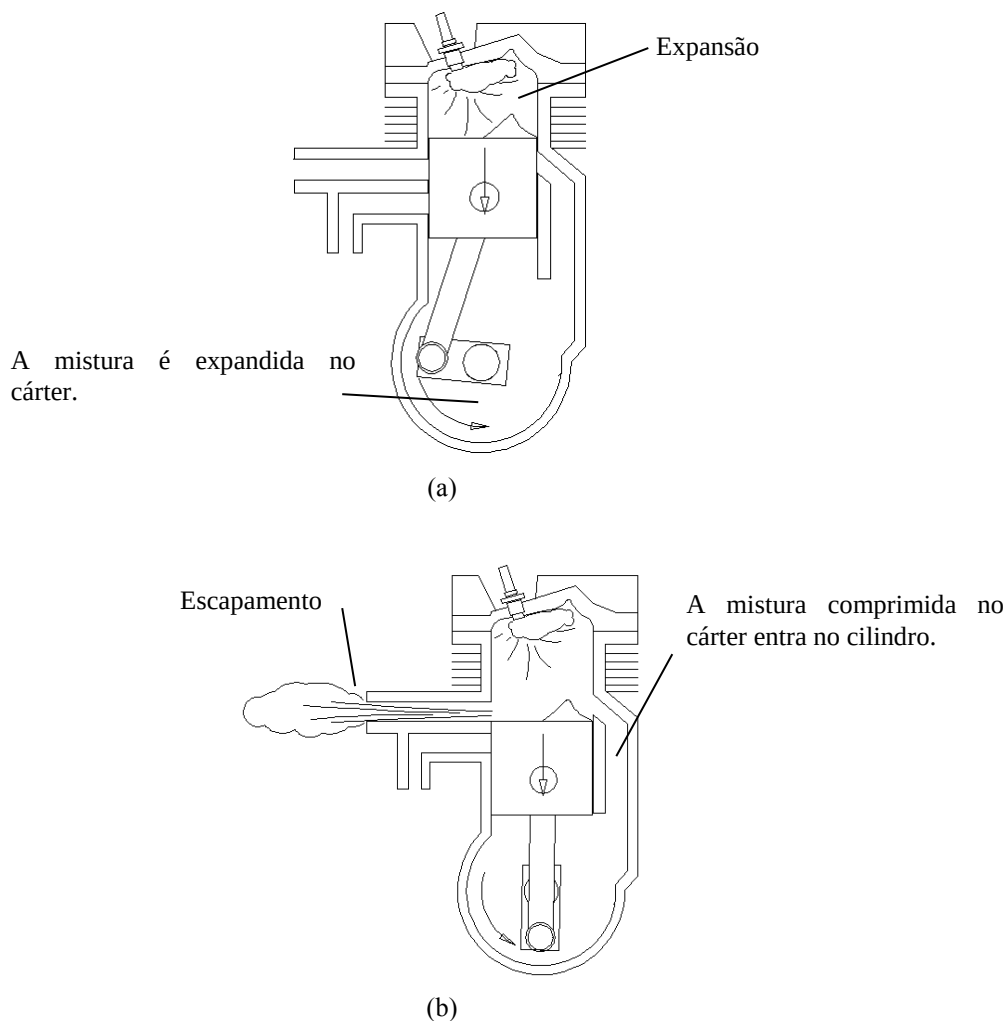
a.1) Primeiro Tempo (HOMA, 2009): Considerando que o motor já esteja em funcionamento, o pistão sobe, comprimindo a mistura do cilindro e produzindo uma rarefação no cárter. Aproximando-se o ponto morto alto – PA, dá-se a ignição e a combustão da mistura. Ao mesmo tempo, dá-se a admissão da mistura nova no cárter (obviamente para motores que possuem cárter), devido à rarefação que se formou durante a subida do pistão, conforme pode ser observado nas figuras 6 (a) e 6 (b).



Fonte: (HOMA, 2009) Adaptado pelo autor.

Figura 6. Primeiro tempo – motor 2 tempos. (a) Início. (b) Fim.

a.2) Segundo Tempo (HOMA, 2009): Neste tempo, os gases da combustão durante o processo de expansão, pressionam o pistão, fazendo-o descer, ao mesmo tempo que comprime a mistura no cárter. Aproximando-se do ponto morto inferior, o pistão abre a janela de escapamento, permitindo a saída dos gases queimados. Na sequência, abre-se a janela de transferência, e a mistura comprimida no cárter invade o cilindro, expulsando os gases queimados pelo escapamento (Figura 7). Cabe ressaltar que neste processo, o óleo lubrificante, previamente misturado com o combustível (gasolina), ou injetado proporcionalmente, mediante bomba especialmente desenvolvida para esta função, também participando do processo de queima, motivo pelo qual deverá ser sempre repostado, numa mistura proporcional de óleo mais combustível, conforme recomendações do fabricante do motor, em função da aplicação e regime de trabalho ao qual o mesmo estará submetido.



Fonte: (HOMA, 2009) Adaptado pelo autor.

Figura 7. Segundo tempo - motor 2 tempos. (a) Início. (b) Fim.

O motor de 2 tempos, apresenta como vantagem, sua simplicidade construtiva, sendo mais leve e mais potente que o motor a quatro tempos, porque produz um tempo motor em cada volta do eixo de manivelas. Apresenta custo menor, sendo por isso muito utilizado em motocicletas (HOMA, 2009), em aviões “ultraleves” e autogiros.

Entretanto, os motores dois tempos apresentam como desvantagem:

- a) Pouco econômico
- b) Parte dos gases queimados permanece no cilindro contaminando a nova mistura admitida
- c) Aquece mais
- d) Lubrificação imperfeita: necessita de óleo diluído no combustível
- e) Motor menos flexível às variações de trabalho.

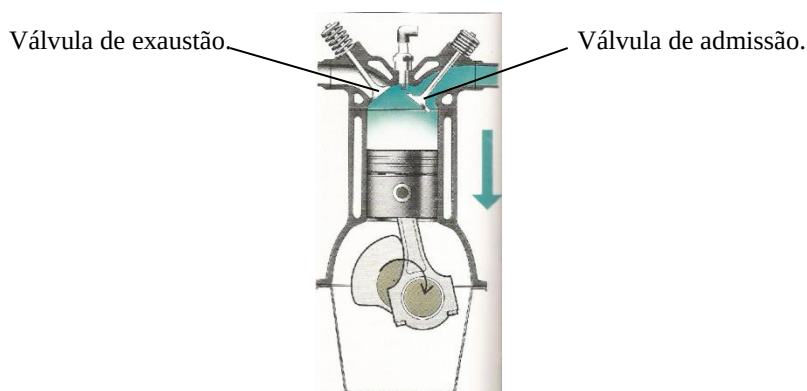
b) Motor de 4 Tempos

O funcionamento do motor de 4 tempos ocorre através da repetição de ciclos , sendo que um ciclo é formado pela sequência de quatro etapas diferentes denominadas tempos, durante os quais ocorrem as chamados (HOMA, 2009) (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976):

- a) PRIMEIRO TEMPO: *ADMISSÃO*
- b) SEGUNDO TEMPO: *COMPRESSÃO*
- c) TERCEIRO TEMPO: *TEMPO MOTOR (EXPLOSÃO)*
- d) QUARTO TEMPO: *ESCAPAMENTO (EXAUSTÃO)*

b.1) PRIMEIRO TEMPO: ADMISSÃO (HOMA, 2009) (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

A válvula de admissão abre e a de escapamento (exaustão) mantém-se fechada. O êmbolo (pistão) desce, aspirando a mistura gasosa que penetra no cilindro. No fim deste curso a válvula de admissão fecha-se (Figura 8) (HOMA, 2009) (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).



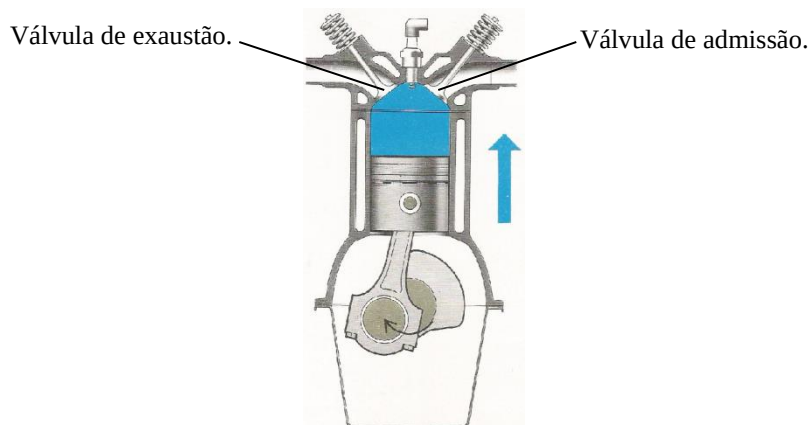
Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

Figura 8. Motor 4 tempos - Admissão.

b.2) SEGUNDO TEMPO: COMPRESSÃO

As válvulas de admissão e de escapamento estão na condição de fechadas. Ao subir, o pistão comprime a mistura ar mais combustível na câmara de explosão, que resulta na

vaporização daquela devido ao calor gerado pela compressão (Figura 9) (HOMA, 2009) (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).

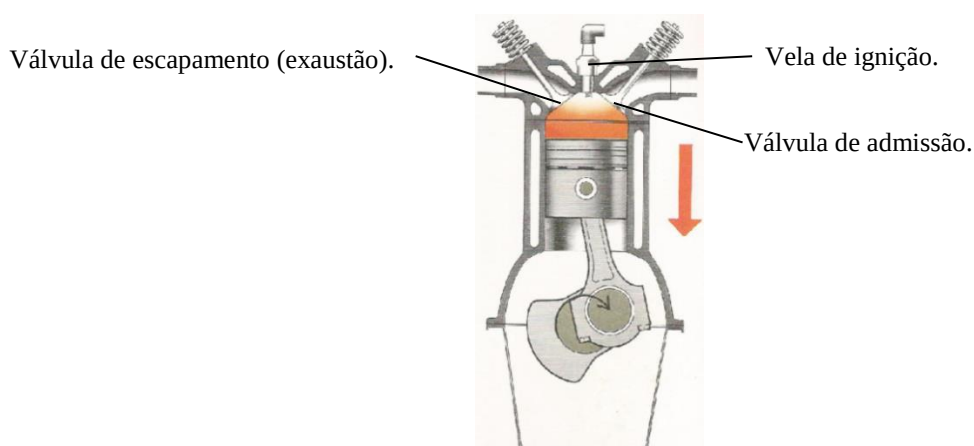


Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

Figura 9. Motor 4 tempos - Compressão.

b.3) TERCEIRO TEMPO: TEMPO MOTOR (EXPLOSÃO)

Ambas as válvulas permanecem fechadas. O gás comprimido, ao ser inflamado, por uma faísca da vela de ignição, expande-se, impelindo o êmbolo para baixo. No fim deste curso a válvula de escapamento abre-se (Figura 10) (HOMA, 2009) (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).

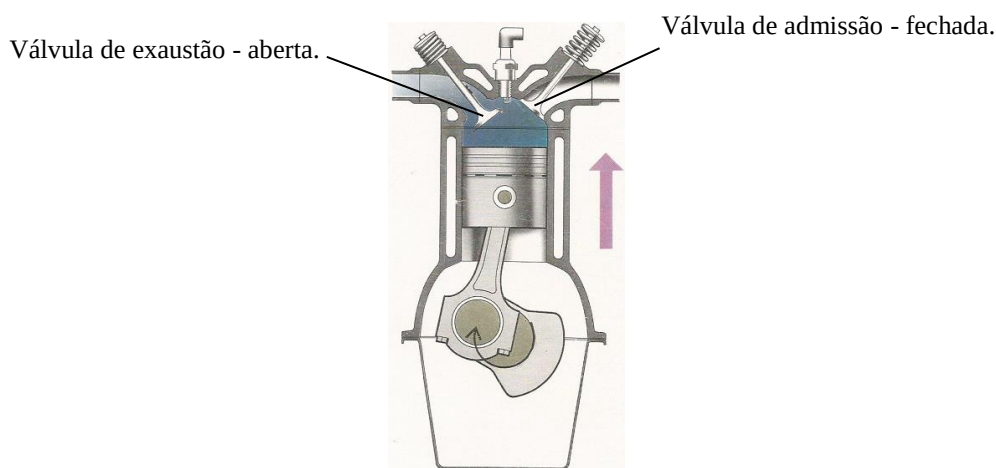


Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

Figura 10. Motor 4 tempos - Explosão.

b.4) QUARTO TEMPO: ESCAPAMENTO (EXAUSTÃO)

A válvula de admissão mantém-se fechada e a válvula de escapamento permanece aberta. O êmbolo (pistão) sobe a fim de expulsar os gases resultantes da combustão. Inicia-se um novo ciclo (Figura 11) (HOMA, 2009) (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).

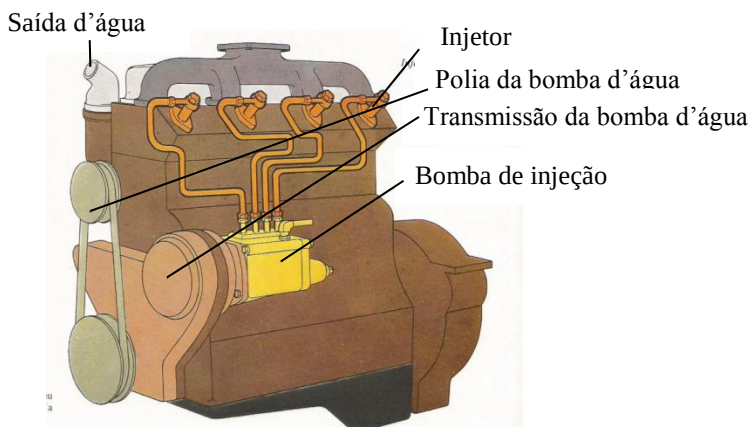


Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

Figura 11. Motor 4 tempos - Exaustão.

Enquanto num motor a gasolina e/ou álcool (ou mesmo gás GNV – Gás Natural Veicular) uma mistura gasosa ar-gasolina ou ar-gasolina e/ou álcool (ou mesmo ar-GNV), é inflamada por meio de uma faísca elétrica produzida pela vela de ignição, no motor Diesel não existem velas de ignição e a gasolina (ou álcool ou GNV) é substituída por óleo Diesel (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).

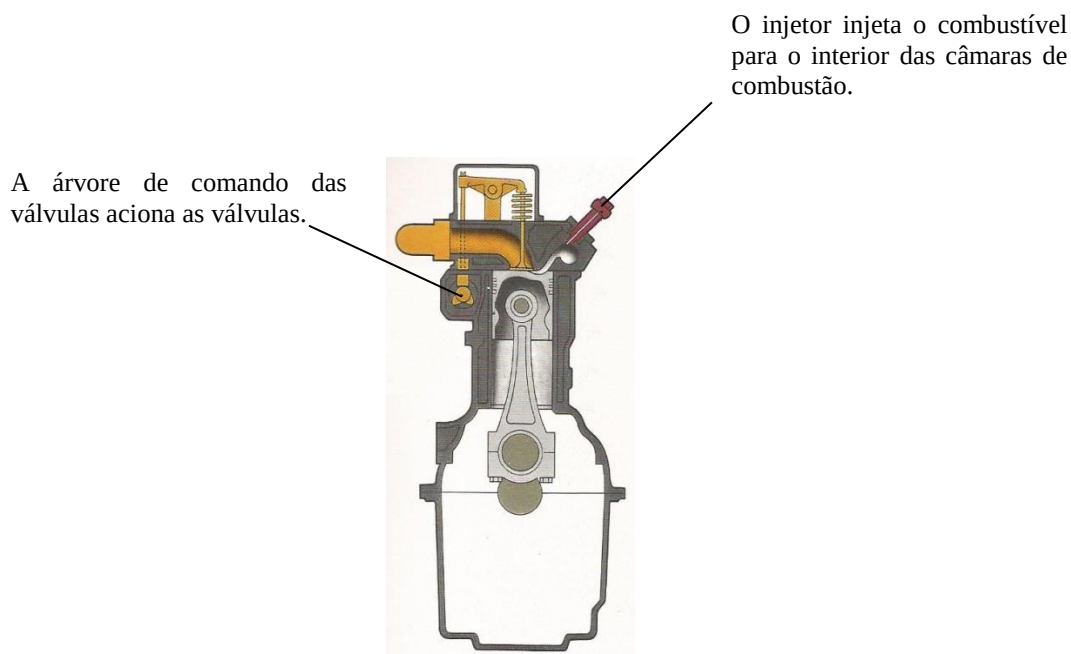
A ignição num motor Diesel é provocada pela compressão, que faz elevar a temperatura do ar na câmara de combustão de tal modo que esta atinja o ponto de auto inflamação do combustível (Figura 12) (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976) (HENNESSY, 2011).



Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

Figura 12. Motor Diesel.

Basicamente o funcionamento interno de um motor de ciclo Diesel, pode ser visto na figura 13 (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976) (HENNESSY, 20011).

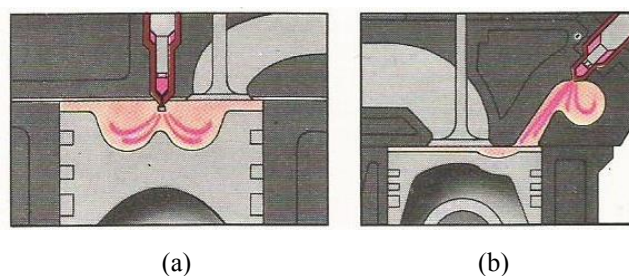


Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

Figura 13. Corte transversal motor Diesel.

Tradicionalmente, motores de ciclo Diesel com injeção por meio de bomba mecânica, determina que cada cilindro possua o seu próprio bico injetor, que injeta o combustível, a alta pressão, nas câmaras de combustão (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).

A câmara de combustão pode situar-se na cabeça do êmbolo ou consistir numa câmara independente existente no cabeçote do motor. Ambas provocam uma turbulência do ar comprimido. As figuras 14 (a) e (b) apresentam o corte transversal demonstrando os dois tipos básicos de câmara de combustão (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).



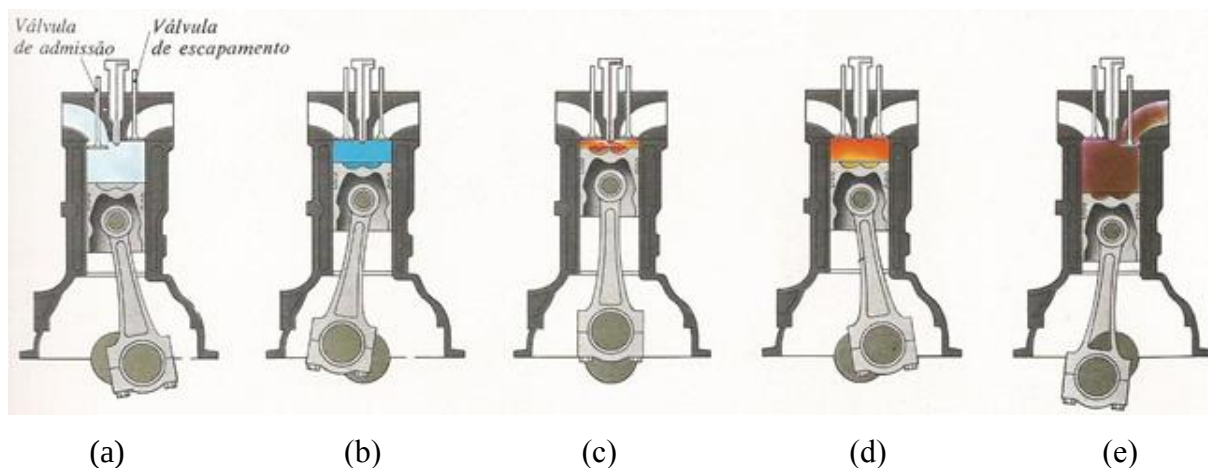
Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

Figura 14. Câmara de combustão motor Diesel. (a) Sistema típico. (b) Câmara independente.

O ciclo do motor do tipo Diesel é muito semelhante ao do ciclo Otto de 4 tempos. Seu ciclo é formado pela sequência de quatro etapas diferentes denominadas tempos, durante os quais ocorrem os chamados (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976):

- a) PRIMEIRO TEMPO: ADMISSÃO
- b) SEGUNDO TEMPO: COMPRESSÃO
- c) TERCEIRO TEMPO: TEMPO MOTOR (EXPLOSÃO)
- d) QUARTO TEMPO: ESCAPAMENTO (EXAUSTÃO)

Tais tempos podem ser observados na figura 15. Cabe ressaltar que no detalhe da figura 15, os itens (c) e (d) funcionam como um único tempo, uma vez que o combustível diesel é injetado momentos antes do limite de pressão e temperatura de autoignição do mesmo.



Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

Figura 15. Ciclo Diesel. (a) admissão. (b) compressão. (c) injeção. (d) expansão. (e) exaustão.

2.3.2.3 Carburador

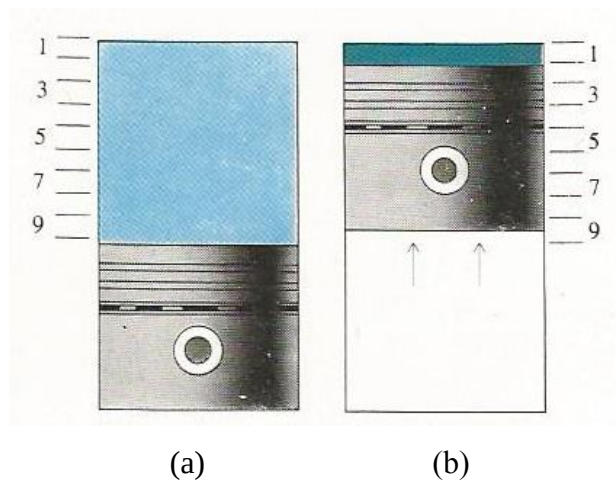
O carburador é um dispositivo que serve, basicamente, para controlar e ajustar a quantidade de ar e dosar a gasolina na proporção correta e, em função disto, adequar as diferentes fases operacionais do motor de combustão interna: marcha lenta, aceleração e regime de trabalho, conforme a necessidade operacional. Caso a mistura ar mais combustível não seja a adequada à operação desejada ou solicitada, o motor poderá parar por falta ou excesso de combustível (HOMA, 2009) (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).

Uma variação do carburador convencional, é o *carburador de injeção*, que se caracteriza por trabalhar em conjunto com uma bomba que fornece ao dispositivo o combustível sob pressão. Neste caso, cabe ao carburador apenas a dosagem do combustível e comburente nas proporções correta com o ar admitido no motor (HOMA, 2009) (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).

2.3.2.4 Taxa de Compressão

A taxa de compressão é a relação existente entre o volume da mistura no cilindro antes e depois da compressão. Por exemplo, se a mistura for reduzida a um nono ($1/9$) do seu volume, a taxa de compressão será de 9:1. A figura 16 exemplifica esta relação

(ALBUQUERQUE, *et al*, 1976).



Fonte: (ALBUQUERQUE, *et al*, 1976)

Figura 16. Taxa de compressão. (a) volume total disponível sem compressão. (b) volume comprimido a 1/9 do valor inicial.

2.4 Gasolina

Dos combustíveis disponíveis, a gasolina é o mais amplamente utilizado na atualidade. O consumo diário de gasolina nos Estados Unidos da América, dados de 2009, apresenta uma média, maior que 350 milhões de galões, o que equivale a, aproximadamente, 1324,894 milhões de litros (1US gal lqd = 3,785412L) (BROWN, 2009). O combustível *gasolina* é na verdade, muito mais uma mistura complexa, entrando em sua composição mais de 100 diferentes produtos químicos. Sua composição varia com a variação de alguns parâmetros, tais como o teor de gás, localização geográfica e período do ano. Todavia, seus principais compostos são os hidrocarbonetos – moléculas que contêm apenas átomos de carbono e de hidrogênio. Predominantemente, tais moléculas caracterizam os alcanos, compostos cujos átomos são unidos por ligações simples. Muitos dos alcanos na gasolina contêm entre 6 e 11 átomos de carbono, sendo que a fórmula geral para qualquer alcano é C_nH_{2n+2} , onde n é um número inteiro.

No processo de queima da gasolina num motor de combustão interna, os diversos compostos presentes se encontram submetidos, ao mesmo tempo, ao processo de combustão, apresentando reações com o oxigênio e demais elementos constituintes do ar atmosférico

(BROWN, 2009) (HENRY, 2011). O modelo mais simples possível, para efeito de análise do processo de combustão, consiste em se levar em conta um único composto, que é usado para representar a mistura de gasolina, sendo este o octano C_8H_{18} . Considerando que a gasolina pode ser representada com razoável aproximação pelo octano, então pode ser que a descrição e balanceamento da reação não seja tão complexa. Por conseguinte, levando-se em consideração uma combustão completa, poderá ser evidenciado octano e oxigênio como reagentes, e dióxido de carbono e água como produtos (BROWN, 2009). Considerando que nos Estados Unidos da América, em muitos dos seus Estados (BROWN, 2009), são exigidos testes para medir os níveis de emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos, além de outros compostos, no processo de exaustão dos motores veiculares, é possível inferir que a presença, principalmente de hidrocarbonetos na exaustão, indica que uma parte da gasolina passou pelo ciclo motor sem se inflamar. Entretanto, pode ocorrer outra situação decorrente da falta de ar atmosférico com concentrações adequadas de oxigênio, dando condições ao surgimento de combustão (ou queima) incompleta, tendo como subproduto CO ao invés de CO_2 .

A temperatura do motor é um parâmetro importante ao correto funcionamento deste. Um motor apropriadamente regulado garante que a combustão completa seja maximizada, limita as emissões de CO (gás venenoso), além de melhorar o consumo do combustível gasolina por quilômetro rodado.

2.4.1 Aditivos à gasolina

Na gasolina encontrada comercialmente em postos de combustíveis, é provável que, por intermédio das refinarias, haja uma gama de *aditivos* de combustível. Os aspectos fundamentais para se aditar a gasolina pode residir na necessidade de melhora do desempenho do motor, reduzir emissões indesejadas do motor ou reduzir a dependência de produtos de petróleo importados. Além disso, alguns aditivos podem ser adicionados com o intuito de se atingir dois ou mais itens simultaneamente (BROWN, 2009).

2.4.2 Octanagem

A octanagem tem por premissa (BROWN, 2009) medir quão altamente a gasolina pode ser comprimida no cilindro do motor antes de ser incendiada espontaneamente. Tal característica dá condições para que um motor de combustão interna possa trabalhar com taxas de compressão mais elevada, sem que aconteçam as indesejadas “pancadas”, que ocorrem se a mistura de combustível incendeia-se de maneira prematura nos cilindros.

2.4.2.1 Adição de chumbo na gasolina

O primeiro aditivo largamente utilizado foi o tetraetil chumbo, que incrementa substancialmente a compressibilidade da gasolina. Todavia, devido a sua alta toxicidade residual junto ao meio ambiente, além de contaminar catalizadores dos canos de escape, o chumbo foi totalmente proibido nos Estados Unidos da América, como aditivo de gasolina, à partir de 1996 (BROWN, 2009).

No Brasil, a adição de chumbo na gasolina foi eliminada totalmente 1992. Segundo a ANP (2016), o Brasil foi um dos pioneiros desta prática. Tecnicamente, além de prejudicar os sistemas de catalizadores do sistema de exaustão, possui o agravante de ser altamente tóxico e cancerígeno. Em tempo, considera-se isenta de chumbo a gasolina que apresenta valores iguais ou inferiores a 0,005g/L.

2.4.2.2 Adição de etanol na gasolina

O chumbo foi substituído com bons resultados pelo etanol e pelo MTBE (éter metil terbutílico), uma vez que ambos contêm oxigênio. Eles são chamados de aditivos oxigenados, e a gasolina, com eles aditivados, é conhecida como gasolina aditivada. A principal vantagem de se utilizar tais aditivos é que o oxigênio adicionado na gasolina ajuda a garantir uma combustão mais completa e, conseqüentemente, reduz a emissão de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos e fuligem (BROWN, 2009).

2.5 Estequiometria

Tem-se que a estequiometria é o termo usado para descrever as relações quantitativas da química, ou seja, determina a quantidade que uma substância particular será consumida ou formada em uma determinada reação química. No caso de motores a combustão interna de uso veicular, ciclo Otto, utilizando gasolina como combustível, a relação da mistura ideal de ar-combustível é considerada como sendo 14,7:1 (BROWN, 2009) (KELLY, 2016).

2.6 Água

De maneira geral, considera-se que a água pura é um líquido inodoro, incolor e insípido (BARSA, 1998).

2.6.1 Composição

Possui fórmula química H_2O , ou seja, é composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, dispostos num arranjo geométrico equivalente a um triângulo isóscele. A ligação entre cada átomo oxigênio que compõe a estrutura e os átomos vizinhos possui caráter parcialmente covalente. Isto permite que o átomo de oxigênio divida um par de elétrons com cada um dos átomos de hidrogênio (BARSA, 1998) (BROWN, 2009).

A molécula da água possui caráter polar, uma vez que apresenta uma distribuição desigual de cargas na sua estrutura. As moléculas de água, tanto no estado sólido quanto no estado líquido, apresentam uma tendência a associar-se mediante ligações denominadas de pontes de hidrogênio. Tais pontes se caracterizam por átomos de hidrogênio ligados a um átomo eletronegativo, formando uma ponte para outro átomo eletronegativo. Apesar de intensidade inferior a das ligações covalentes ou iônicas puras, esse tipo de ligação é suficientemente forte para determinar de maneira contundente as propriedades tanto químicas quanto físicas da água.

A tabela 2 apresenta as propriedades físicas e químicas da água, em seus diversos estados (BARSA, 1998).

Tabela 2. Propriedades da água

Constantes Físicas e Químicas da Água em seus Diversos Estados					
	Temp.	Água Molecular (H ₂ O) (g/mol)	Água do mar	Gelo	Vapor d'água
Peso molecular	-	18,015	-	-	10,015
Densidade (g/ml)	(0°C*)	0,99987	-	0,9168	-
Constante dielétrica	(0°C*)	87,74	-	79(-1°C*)	-
Ponto de fusão	(0°C*)	-	0,00	-1,91	-
Ponto de ebulição	(0°C*)	-	100,00	100,56	-
Índice de refração (n)	25°C*	1,3325	-	-	0,380 (100°C*,a)
Condutividade térmica (watt/cm-°C*)	20°C*	$5,98 \cdot 10^{-3}$	$5,63 \cdot 10^{-3}$	-	$2,44 \cdot 10^{-4}$ (110°C)
Condutividade elétrica (ohm-1/cm-1)	25°C*	$<10^{-7}$	0,05	-	-

Fonte: (BARSA, 1998).

* 1 atm.

2.6.2 Propriedades químicas

Nas transformações químicas, a água pode funcionar, principalmente, como solvente ou como reagente. A ação solvente é considerada como um processo físico, através do qual a água solubiliza os reagentes, permitindo um contato mais íntimo entre eles e acelerando as reações entre compostos sólidos e gasosos. Isso se dá graças a sua elevada constante dielétrica e a tendência de suas moléculas a se combinarem com íons dos reagentes previamente solubilizados, formando íons hidratados (BROWN, 2009) (BARSA, 1998).

A constante dielétrica da água, na temperatura ambiente, é de oitenta, ou seja, duas cargas elétricas de mesmo módulo e sinal repelem-se dentro d'água, com uma força oitenta vezes menor do que fariam se estivessem no ar. Esse fato é explicado pelo modelo dipolar: no interior de um campo elétrico, as moléculas de água, de caráter polar, orientam-se alinhando seu centro positivo na direção da porção negativa do campo, e seu centro negativo na direção positiva. Assim, parte do campo elétrico inicial é neutralizado, tornando-se fraco (BROWN, 2009) (BARSA, 1998).

Desse modo, os íons dos cristais em meio aquoso podem separar-se do cristal por meio mais facilmente que o ar, pois a força de atração eletrostática é oitenta vezes menor. Por essa razão, as soluções aquosas são consideradas boas condutoras de eletricidade. Por outro lado, cada íon negativo, quando em solução aquosa, atrai as extremidades positivas das

moléculas de água vizinhas, o mesmo acontecendo com os íons positivos em relação às extremidades negativas. Isto faz com que os íons fiquem como recobertos por uma camada de moléculas de água solidamente ligadas a eles, o que confere grande estabilidade à solução, sendo este fenômeno conhecido como hidratação dos íons (BROWN, 2009) (BARSA, 1998).

2.6.3 Eletrólise

Quando uma corrente elétrica adequada passar através da água líquida, ocorre uma variação química em sua estrutura, denominada eletrólise. Este processo se caracteriza pela conversão das moléculas de água em moléculas de gases hidrogênio e oxigênio (BROWN, 2009).

2.7 Pirólise

A pirólise constitui uma reação de decomposição por meio do calor. Na indústria, esse método é chamado de calcinação. Por meio dele é possível produzir produtos como o bio-óleo ou alcatrão pirolítico, além do carvão vegetal, que podem ser encarados como combustíveis alternativos. O nome é uma derivação dos termos gregos *piro*, que significa *fogo* e *lise* que significa *quebra*. Assim, numa tradução mais livre, pirólise, significa *quebra pelo fogo*.

A partir da pirólise de alguns resíduos do refinamento do petróleo, é possível aproveitá-los quase na sua totalidade, tendo como consequência grande economia. Neste caso, o processo é denominado, também, de craqueamento (ou *cracking*), em que as moléculas de cadeias longas são quebradas em moléculas menores (FOGAÇA, 2016).

2.7.1 Reator pirolítico

O reator químico, denominado de reator pirolítico, é o principal dispositivo aplicado no processo de pirólise industrial. O mesmo possui três áreas específicas, a saber: zona de secagem, zona de pirólise e zona de resfriamento (FOGAÇA, 2016). No caso da dissociação

da água, por temperatura, se dá em duas fases (expressões 4 e 5):



2.8 Reator de Pantone

Segundo Naudin (2016) e ratificado por Munsey (2016), o processador multicomcombustíveis consiste numa tecnologia nova, atribuída a Paul Pantone. O sistema possibilita que motores 4 tempos comuns funcionem com misturas de água/hidrocarboneto, mais precisamente, água/gasolina. Sob certas condições de regulagem do dispositivo e motor, conforme esclarece Naudin (2016), num motor de ciclo Otto, permite-se a queima de todos os tipos de combustíveis: gasolina, óleo diesel, querosene, outros óleos brutos de petróleo, além de outros derivados de hidrocarbonetos, utilizando o processador multicomcombustíveis, que se caracteriza por ser um *reator de plasma endotérmico* (explicado nos itens a seguir).

O processador multicomcombustíveis permite também uma redução significativa da poluição gerada pelo gás de escape (em torno de 85%) em comparação com um motor convencional (MARTZ, 2001) (NAUDIN, 2016).

Os testes preliminares (MARTZ, 2001) realizados por profissionais da indústria e outros pesquisadores Martz (2001) e Naudin (2016) demonstraram, em princípio, que é possível fazer um motor de combustão interna (ciclo Otto ou Diesel), equipado como o processador multicomcombustíveis de Paul Pantone, funcionar adequadamente com uma mistura de hidrocarbonetos (gasolina) a 20% e água a 80%.

2.8.1 Partes constituintes do processador multicomcombustíveis

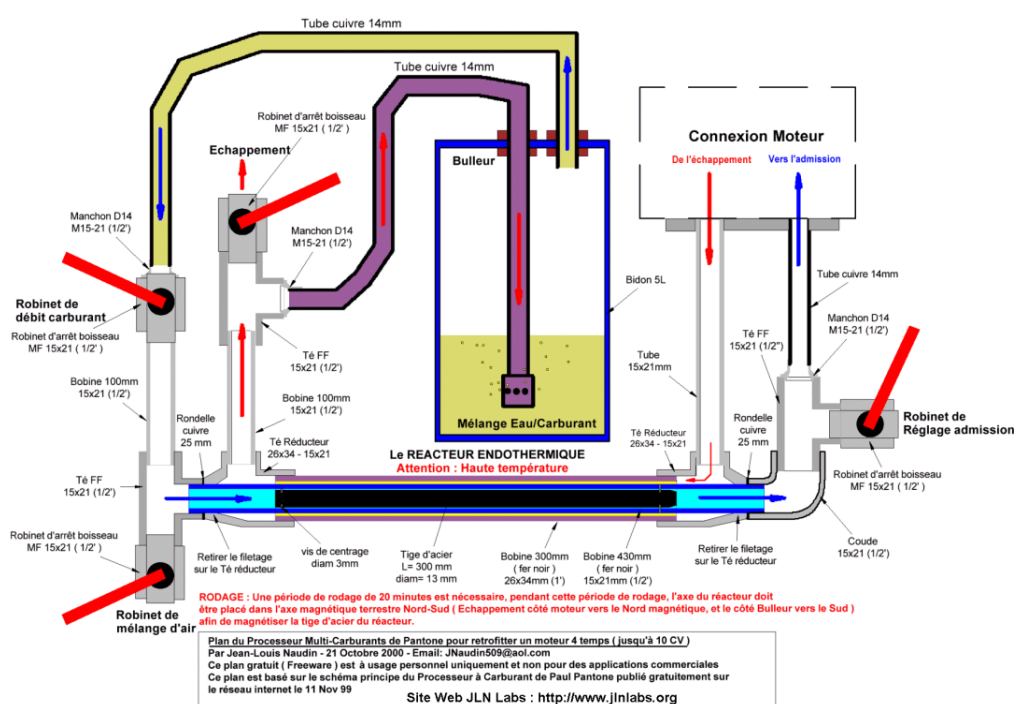
O processador multicomcombustíveis é composto, basicamente, por três partes principais (NAUDIN, 2016):

- a) Os sistemas de admissão / escape de conexão,

- b) O reator endotérmico (com a vareta magnética e a câmara pirolítica),
- c) Borbulhador

O autor, Naudin (2016), informa que, após a instalação do processador multicomcombustíveis (ou *reator de plasma endotérmico*), o carburador e silenciador convencional (e catalizador) não são mais necessários.

Na figura 17, é possível observar o esquemático do processador multicomcombustíveis proposto por Naudin (2016).



Fonte: (NAUDIN, 2016)

Figura 17. Esquemático do reator de plasma endotérmico proposto por Naudin (2016).

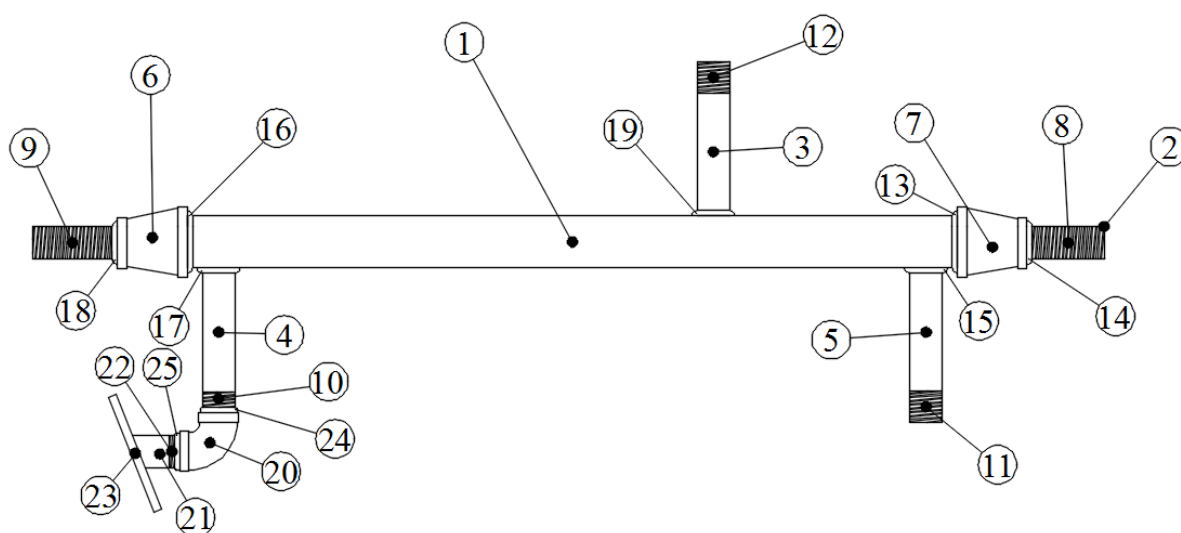
2.8.2 Proposta construtiva do processador multicomcombustíveis (ou reator de plasma endotérmico)

Conforme Naudin (2016) e sugerido por Munsey (2016), um processador multicomcombustíveis (ou *reator de plasma endotérmico*) pode ser confeccionado utilizando peças padrão encontradas em lojas de produtos de construção e hidráulica, supermercados e demais estabelecimentos comerciais equivalentes.

O dispositivo confeccionado com base nos materiais disponíveis no mercado nacional e local, pode ser melhor entendido observando-se a figura 18, que apresenta o esquemático estrutural da disposição das principais partes constituintes do mesmo.

O dispositivo é composto por dois cilindros galvanizados (itens 1 e 2 da figura 18) de cano para aplicação hidráulica, numa disposição *coaxial*, ou seja, um dentro do outro. Um dos tubos, ou cilindro interior (item 2 da figura 18), possui, em cada extremidade, uma rosca padrão para cano de aplicação hidráulica nominal de 1/2", roscas estas com 60 mm de comprimento longitudinal (item 8 figura 18) e 70 mm de comprimento longitudinal (item 9 figura 18), configurando este cano (ou tubo) a *câmara pirolítica*, cujo comprimento total é de 695 mm, com 15 mm de diâmetro interno e 22 mm de diâmetro externo. Por sua vez, o tubo ou cilindro exterior (item 1 da figura 18), possui em cada extremidade, rosca padrão hidráulica para cano de 1", com 25 mm de comprimento longitudinal (itens 13 e 16 da figura 18), sendo este um tubo de aço de 550 mm de comprimento e 26 mm de diâmetro interno e 34 mm de diâmetro externo. A montagem dos dois cilindros (itens 1 e 2 da figura 18) numa disposição *coaxial*, é realizada mediante a utilização de luva redutora de 1" para 1/2" (itens 6 e 7 da figura 18) com rosca interna padrão para cano de aplicação hidráulica nominal de 1/2" e 1", aplicada em cada uma das extremidades dos cilindros considerados. O item 4 da figura 18, diz respeito ao duto de ligação do GEET – Pantone ao duto de exaustão do motor do GMG, constituindo um tubo (cano) para aplicação hidráulica, galvanizado, com rosca padrão para cano de 1/2" de 25 mm de comprimento longitudinal (item 10 figura 18) e 100 mm de comprimento longitudinal total. Este duto (item 4 da figura 18) por sua vez, possui um cotovelo de 90° (item 20 da figura 18) de 1/2" com rosca interna padrão para cano de aplicação hidráulica nominal de 1/2", que permite a junção do cano (item 21 da figura 18) de 1/2" de diâmetro nominal, cano este com rosca padrão hidráulica para cano de 1/2", com 25 mm de comprimento longitudinal (item 22 da figura 18), e comprimento total de 37 mm e 15 mm de diâmetro interno e 21 mm de diâmetro externo. Na extremidade deste cano (item 21 da figura 18) está soldado, transversalmente e inclinado em aproximadamente 30°, a flange (item 23 da figura 18) para o acoplamento rígido do GEET-Pantone ao duto de exaustão do GMG. Ainda, os itens 3 e 5 da figura 18, dizem respeito aos canos de exaustão que substituem por sua vez, o escapamento e silencioso original do GMG e permitirão a inserção dos dispositivos de controle do retorno dos gases de escape junto à mistura de água e gasolina contidas no reservatório/borbulhador do GEET – Pantone e do ar fresco para a entrada da admissão do sistema GMG. Os referidos tubos (ou canos), também são para aplicação

hidráulica, galvanizado, com rosca padrão (itens 11 e 12 da figura 18) para cano de 1/2", rosca esta, com 25 mm de comprimento longitudinal (itens 3 e 5 da figura 18) e 100 mm de comprimento longitudinal total. Os itens 14, 15, 17, 18, 19, 24 e 25 da figura 18, dizem respeito à montagem final da estrutura, caracterizado pela soldagem dos componentes com o intuito de se garantir a estanqueidade do conjunto, evitando possíveis vazamentos, principalmente dos gases oriundos da queima do combustível mais água (gases de escape).

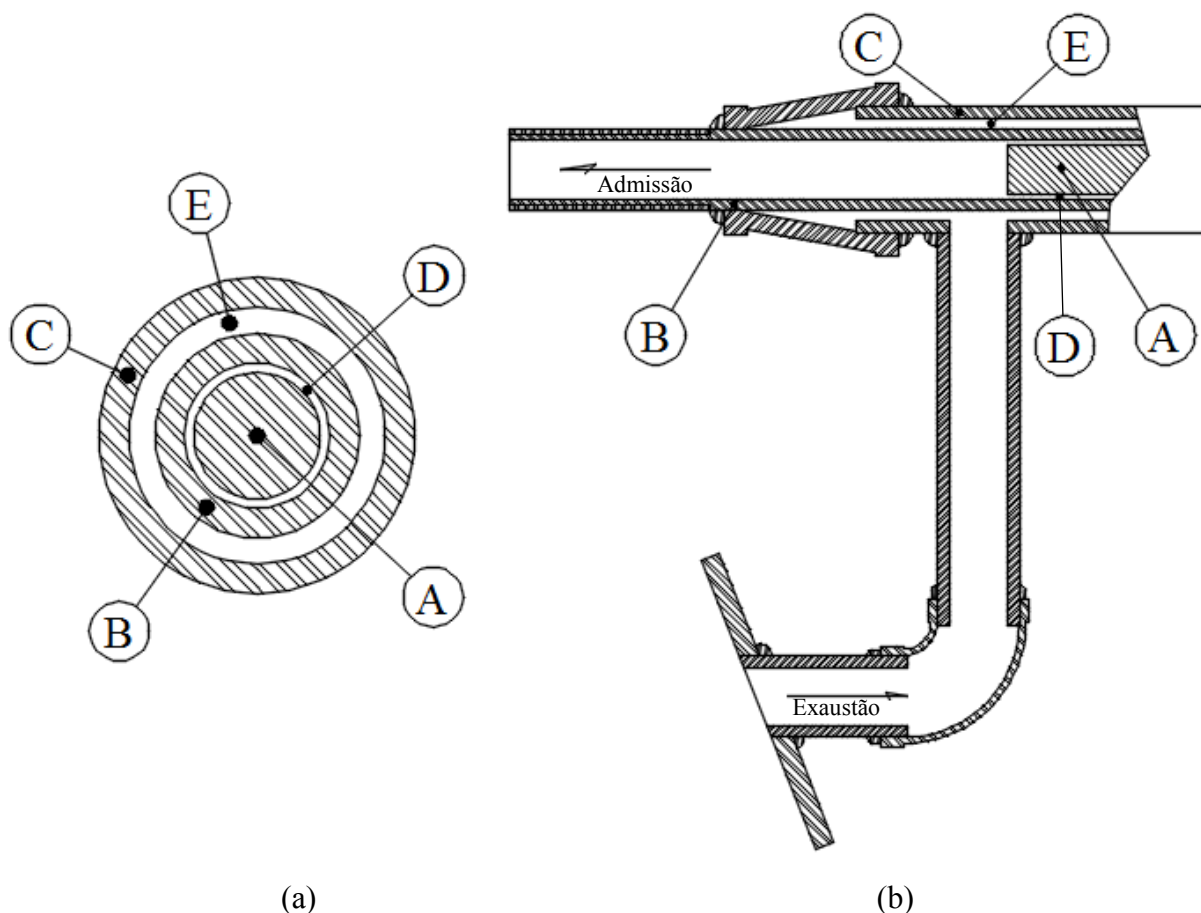


Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 18. Esquático estrutural GEET – Pantone confeccionado pelo autor.

Na figura 19, está apresentado um corte *transversal e longitudinal*, onde é possível entender de maneira simplificada, a estrutura coaxial dos dois dutos e da haste maciça que compõem o GEET-Pantone construído para a realização deste experimento. Nesta configuração, é possível verificar as áreas destinadas ao fluxo dos gases oriundos da queima do reator e do fluxo de gases volatizados de combustível mais água (em forma de vapor), para a câmara de combustão. A área útil, destinada ao fluxo de exaustão, equivale a um duto com área, aproximada, de $150,80 \text{ mm}^2$, ou um duto com diâmetro de 13,86 mm, obtido da diferença entre as áreas correspondentes ao diâmetro interno do duto de 1" e a área correspondente ao diâmetro externo do duto de 1/2". Com relação à área útil destinada ao fluxo de admissão, o mesmo corresponde a um duto com área, aproximada, de $43,98 \text{ mm}^2$, ou um duto com diâmetro de 07,48 mm, obtido da diferença da área correspondente ao diâmetro interno do duto de 1/2" e a área correspondente ao diâmetro da haste maciça de 13 mm de

diâmetro. Cabe observar que a área útil de exaustão é 3,43 vezes maior que a área útil de admissão.



Fonte: (O Autor, 2016)

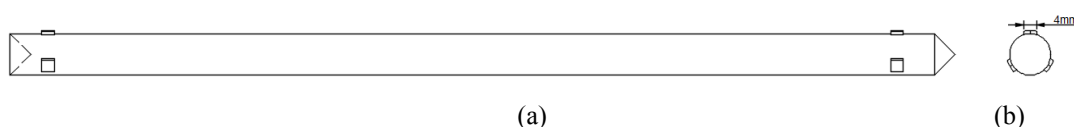
Figura 19. Corte transversal e longitudinal parcial do GEET – Pantone confeccionado pelo autor. (a) Corte *transversal* configurando o principal bloco coaxial. (b) Corte *longitudinal* mostrando o posicionamento da haste pirolítica interna ao reator, bem como o duto de admissão (parte superior) e o duto de exaustão (parte inferior).

Os pontos identificados de A a E, correspondem:

- A) Haste interna maciça de 13 mm de diâmetro e 300 mm de comprimento
- B) Duto de cano galvanizado 1/2" nominal, de 695 mm de comprimento
- C) Duto de cano galvanizado 1" nominal, de 550 mm de comprimento
- D) Duto de admissão com área útil *equivalente* a $43,98 \text{ mm}^2$, ou um duto com diâmetro de 07,48 mm

E) Duto de exaustão com área útil *equivalente* a $150,80 \text{ mm}^2$, ou um duto com diâmetro de 13,86 mm

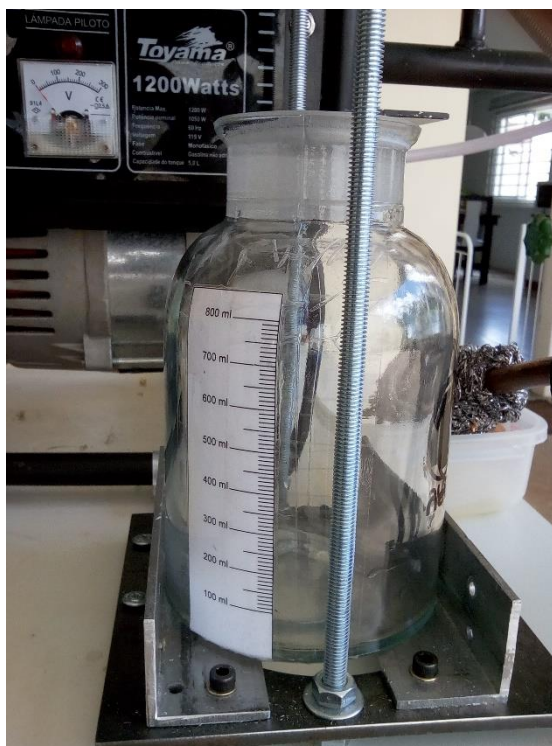
Complementando, a *câmara pirolítica* contém uma haste de aço maciço de 300 mm de comprimento e 13 mm de diâmetro. Um lado desta haste de aço é modelado de modo a apresentar uma extremidade cônica (45°), a fim de identificar, segundo Naudin (2016), a sua polaridade *magnética*, quando da desmontagem. Esta haste é mantida no centro da câmara pirolítica, por meio de 3 pequenos pontos de solda (aproximadamente 4 mm de diâmetro), em cada extremidade, defasados entre si (na extremidade) de, aproximadamente, 120° (Figura 20), torneados, posteriormente, para entrar ajustado no cilindro de 1/2" que configura a *câmara pirolítica*.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 20. Haste da câmara pirolítica do GEET – Pantone confeccionado pelo autor. (a) Vista de perfil da haste e os respectivos pontos de solda. (b) Vista de topo, configurando o diâmetro e visualização dos três pontos de solda deslocados, entre si de 120° .

O *borbulhador* se caracteriza por um recipiente de vidro graduado (800 ml), que permite realizar a mistura de água e combustível, nas proporções adequadas determinadas pela metodologia aplicada, além de permitir o fechamento do circuito de retorno de parte dos gases de combustão, criando a mistura constante da gasolina com a água, caracterizando um borbulhamento proporcional ao volume e velocidade com que os gases adentram o recipiente (Figura 21).



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 21. Recipiente da mistura e borbulhador.

2.8.3 Princípio de funcionamento do processador multicomcombustíveis (ou reator de plasma endotérmico)

Naudin (2016), juntamente com Kouropoulos (2016), define o princípio de funcionamento do *processador multicomcombustíveis (ou reator de plasma endotérmico)* que, segundo os autores, consiste num gerador de plasma *auto induzido*.

Leva em conta que um arco de plasma, em sistemas de transformação de resíduos em energia, em que o fluxo de resíduos que entra é reduzido aos seus componentes elementares (moléculas quebradas). O *processador multicomcombustíveis* é supostamente capaz de atingir um estado de plasma a uma temperatura muito mais baixa, e é por este motivo que um motor de combustão interna com o *processador multicomcombustíveis*, proposto por Paul Pantone, poderia funcionar com os mais inusitados combustíveis, como gasolina comum e água (Figura 22), bastando ter em sua cadeia estrutural hidrocarbonetos, tais como a própria gasolina, etanol, diesel, dentre outros. Todos estes *combustíveis* são apenas transformados num mesmo produto final, a saber: *gás de síntese*, caracterizado por entrar em combustão, com certa facilidade, na

câmara de combustão do motor. Existem também alguns aspectos muito incomuns de um motor que funciona com um reator de *plasma endotérmico*, em que o tempo de funcionamento tem que ser ajustado, uma vez que uma *implosão* (detonação controlada de combustível) substitui o evento explosivo (MUNSEY, 2016).



Fonte: (O Autor)

Figura 22. Primeira versão do conjunto GMG e o processador multicomcombustíveis – sem carburador.

O fluxo de gás quente proveniente do escape do motor circula pela parte de fora do reator (entre a parede interna do tubo ou cilindro exterior - item 1 da figura 18 e a parede externa da *câmara pirolítica* – item 2 da figura 18) com uma forte energia cinética, que contribui para fazer subir a temperatura muito elevada na barra de aço – que neste caso, funciona como um acumulador de calor contido na *câmara pirolítica*. Os gases oriundos da exaustão, decorrentes da queima combustível/comburente, internos ao cilindro do motor, são guiados por tubulações externas ao reator (mangueira flexível hidráulica de 1/2", para alta pressão e alta temperatura com malha de aço inox) e penetram no *borbulhador*, contendo a mistura de água / hidrocarbonetos. O vapor da mistura, por sua vez, é fortemente aspirado pelo vácuo criado pela admissão do motor (abertura da válvula de admissão e vácuo provocado pelo movimento descendente do pistão na câmara de combustão) e é empurrado pela pressão proveniente do escape. A energia cinética do vapor é consideravelmente aumentada pela redução do diâmetro na *câmara pirolítica* (fenômeno conhecido como *efeito Venturi*), que neste caso, apresenta uma área de seção transversal circular de aproximadamente $43,98 \text{ mm}^2$ (equivalendo a um diâmetro útil de vazão, aproximado, de 7,48 mm). Este efeito combinado da alta temperatura e o aumento da energia cinética de decomposição, produz um termoquímico (desagregação molecular) da mistura de água /

hidrocarbonetos.

O reator endotérmico forma uma unidade (NAUDIN, 2016) *Electro-Plasma-Chemical* - EPC (ou Plasma Eletro-Químico), tornando possível obter um combustível de rendimento superior, proveniente da decomposição da água contida na mistura água / hidrocarboneto. Este fato é ratificado, segundo Naudin (2016), pela medição e detecção, de presença de gás de oxigênio (O_2) em quantidades superiores nos gases de exaustão.

O processo tem sido estudado e confirmado pela Universidade Brigham Young. O processo GEET é ensinado em alguns cursos universitários na Europa (MUNSEY, 2016).

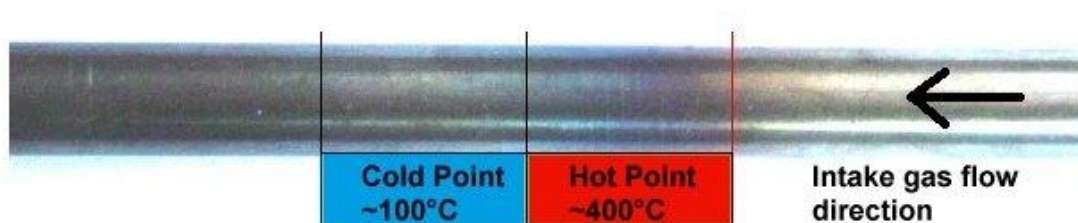
2.8.4 Global Environmental Energy Technology – GEET

Segundo (MARTZ, 2001), a tecnologia *Global Environmental Energy Technology* – GEET (numa tradução livre, o equivalente a Tecnologia de Energia Ambiental Global - TEAG), nada mais é do que a tecnologia desenvolvida por Paul Pantone, e diz respeito a um processo de eficiência energética a ser aplicada a motores de combustão interna utilizando, como combustível coadjuvante, a água. A tecnologia desenvolvida por Paul Pantone menciona a possibilidade de, no processo de combustão, estarem envolvidos os hidrocarbonetos da gasolina, além de gases como Hidrogênio e Oxigênio, sendo estes últimos decorrentes da quebra da molécula da água no interior do agora denominado reator GEET-Pantone, que utiliza, dentre outros, a própria energia calorífica resultante dos gases de escape, conforme já descrito.

Os resultados obtidos por Martz (2001), no processo GEET, a partir da medição de pontos definidos, como por exemplo, o consumo específico, diferentes fluxos, temperaturas, pressões, análise de gases H_2/O_2 , apresentou como resultado a queda de emissões poluentes de CO e HC (hidrocarboneto combustível não queimado). Os níveis de poluição de gases de carbono foram reduzidos para níveis percentuais entre 40% a 70%. Nos ensaios, o autor (MARTZ, 2001) não conseguiu determinar onde o restante de carbono passou, pois na queima de combustíveis dever-se-ia produzir de 14 a 16% de gás carbono ($CO + CO_2$), mas com o GEET, produziu-se um máximo de 6% (apenas CO_2), o que significa que a quantidade típica de carbono está ausente nos gases de escape.

Decorrido algumas horas de funcionamento observou-se alterações de cor na haste interna do reator. Estas alterações se caracterizaram pela presença de um ponto quente no lado

frio da haste, e um ponto frio apenas após este ponto quente, que mostra uma *termorreação* interna de alta temperatura, conforme pode ser observado na imagem da figura 23 (MARTZ, 2001).



Fonte: (MARTZ, 2001)

Figura 23. Alterações de cor na haste interna do reator.

Aproveitando a temática tecnológica do GEET, foram feitas medições (MARTZ, 2001) com um GEET modificado para um motor ciclo Diesel de um trator agrícola, sendo que os resultados preliminares apontaram que o gás GEET (obtido a partir de apenas água e ar) fornece mais energia do que o hidrogênio extraído a partir da mesma quantidade de água, apresentando um comportamento físico químico diferente do esperado, uma vez que o gás GEET, mensurado, era apenas de hidrogênio. No entanto, mesmo considerando erros em termos da forma de medição, os resultados são muito próximos aos calculados em termos estequiométricos, e o consumo de combustível, para este trator modificado, caiu pela metade.

O autor (MARTZ, 2001) comenta que o processo GEET Pantone é um sistema com possível potencial para mitigar problemas de poluição decorrentes da queima de combustíveis fósseis, podendo se tornar um padrão de referência para o mercado. Deixa claro, entretanto, que novos estudos – mais aprofundados e criteriosos, referente às emissões (óxidos de azoto, por exemplo) são necessários para confirmar (ou não) o processo de extinção de CO, além de um melhor processo – *hardware* embarcado, com vias a uma redução no consumo. Ao mesmo tempo, aponta os benefícios já observados em termos de poluição por metais pesados, uma vez que os fabricantes de veículos automotores, para obterem níveis mais baixos de poluição, utilizam perigosos e caros metais pesados em conversores catalíticos.

Outra questão levantada (MARTZ, 2001) diz respeito a dois aspectos importantes da tecnologia: a) simplicidade relativa de aplicação em praticamente todos os motores de combustão interna existentes (principalmente nos ciclos Otto e Diesel) e b) baixo custo, quando comparado a outros recursos utilizados para as reduções de emissões, podendo ser

encarado como um benefício a se lançar mão, principalmente em função do aumento significativo do consumo de energia em países emergentes, a exemplo da China (HINRICHS, 2010). Já em países industrializados, a exemplo dos Estados Unidos, Alemanha, e outros (HINRICHS, 2010) (MARTZ, 2001), deve-se considerar o uso de energias limpas, sem as quais o planeta poderá ter consequências futuras desastrosas.

Investimentos de alto custo, bem como o uso de células de combustível, ou mesmo de energias renováveis, passam a ser uma opção não muito interessante economicamente nos países desenvolvidos, ou mesmo em alguns em desenvolvimento, para reduzir efetivamente a poluição, principalmente se as reservas, em termos de combustíveis fósseis – petróleo e carvão mineral, são grandes o suficiente para atendimento das crescentes demandas, desde o presente momento até os próximos 50 anos, como é o caso dos Estados Unidos (HINRICHS, 2010) (LOVINS, 2013) (MARTZ, 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado nos laboratórios da Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Cascavel, no Estado do Paraná, que atende os mestrandos do programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* (nível mestrado) em Engenharia de Energia na Agricultura – PPGEA, e nos laboratórios do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz - FAG, Campus de Cascavel, no Estado do Paraná, que atende os acadêmicos dos cursos de Eng. de Controle e Automação, Eng. Elétrica e Eng. Mecânica.

Para o desenvolvimento proposto, foi utilizado um grupo motor gerador da marca Toyama, usado, modelo TF1200CXW1, equipado com motor a gasolina de 2,5 HP (≈ 1865 watts mecânicos), tanque de 5,0 litros (proporciona aproximadamente 9 horas de autonomia (TOYAMA, 2016), partida manual, potência máxima de 1,2 kVA, potência nominal de 0,95 kVA, 110 volts, em corrente alternada (60Hz), monofásico. O motor ciclo Otto, que faz parte do grupo motor gerador, é equipado com o sistema OHV (Comando de Válvulas no Bloco) que, segundo a TOYAMA (2016), possui como diferencial uma operação econômica, com baixo consumo de combustível, partidas rápidas e fáceis. Sua utilização é recomendada em campings, pescarias, casas, escritórios, indústrias, construção civil, dentre outros (figura 24).



Fonte: (TOYAMA, 2016)

Figura 24. GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.

Foi também utilizado um reator GEET-Pantone, já construído com base nos dados construtivos fornecidos por Naudin (2016), exemplificados nas figuras 18, 19 e 20, e ratificado por Martz (2001), a ser aplicado neste mesmo grupo motor gerador (TF1200CXW1).

3.1 Materiais

Para a realização dos testes foram utilizados os seguintes equipamentos (FAG e UNIOESTE):

- a) Anemômetro Digital Portátil Modelo: AN-10 - Marca: ICEL (Figura 25), que possui como características, visor de cristal líquido (LCD - *Liquid Crystal Display*), 3 ½ dígitos (1999) com 16 mm de altura. Funções: m/s, ft/s, knots, km/h e memória. Temperatura de operação de 0 °C a 50 °C. Umidade de operação menor que 80% sem condensação. Pressão de operação: 500 mB.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 25. Anemômetro Digital Portátil ICEL-AN-10.

- b) Termo – Higrômetro da marca Incoterm – modelo 7666.02.0.00. Este termo-higrômetro – temperatura interna/externa (Figura 26) se caracteriza por trabalhar com temperaturas internas na faixa de 0 °C a 50 °C e temperaturas externas na faixa de -50 °C a, aproximadamente, 70 °C. Apresenta resolução, tanto para medições de temperatura interna, quanto externa, de 0,1 °C. Apresenta uma precisão, tanto para medições de temperatura interna, quanto externa, de ± 1 °C. Quanto às características de medição de umidade, a faixa (ou range) vai de 15% a 95% de UR (Umidade Relativa). Apresenta resolução de 1% e precisão de $\pm 5\%$ de UR (conforme Manual de Instruções que acompanha o equipamento).



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 26. Termo – Higrômetro da marca Incoterm – modelo 7666.02.0.00.

- c) Multímetro Digital da Marca Minipa – modelo ET-1100A (Figura 27), que apresenta como principais características (Manual de Instruções Minipa, 2011), possuir display de 3 ½ dígitos. Permite teste de diodos e continuidade, além medição do ganho de transistores (hFE). Apresenta memória (*data hold*). Apresenta teste de bateria. Mede correntes DC. Mede resistências até 20 MΩ. Também pode medir valores de tensão (tanto em CA, quanto em CC) até 600 V.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 27. Multímetro Digital MINIPA modelo ET-1100A.

- d) Alicate amperímetro – 266 Clamp Meter. Alicate amperímetro (Figura 28), técnica de integração *dual slope* (duas inclinações). Realiza 03 leituras por segundo. Polaridade automática, com indicação de negativo (-) e assumindo positivo (+). Tela de LCD com altura de 0,5". Retenção de dados (*data hold*). Tensão Alternada: 1 a 750 V. Tensão contínua: 1 a 1000 V. Corrente: AC 0,1 A a 1000 A. Valores de resistência: 0,1 Ω a 20 k Ω . Temperatura de uso de 0 a 50°C e umidade relativa máxima de 80%. Alimentação com bateria de 9,0 Vdc (conforme Manual de Instruções do equipamento).



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 28. Alicate amperímetro – 266 Clamp Meter.

- e) Multímetro Digital com Alicate Amperímetro da marca Worker. Este alicate amperímetro (Figura 29), se caracteriza, principalmente, por permitir medir tensões DC de até 1000 V e tensão AC de até 750 V. Permite medir correntes alternadas (AC) de até 1000 A. Faz verificação/teste de continuidade e medição de resistências de até 200 k Ω . Apresenta *display* de LCD de 3 ½ dígitos (1999). Retenção de dados (*data hold*). Pode trabalhar em temperaturas desde 0 °C até 40 °C. A umidade relativa do ar deverá ser igual ou menor que 75%. Frequência de amostragem de 2-3 vezes/segundo. Permite teste de diodos e continuidade. Proteção contra sobre carga de 250V DC (ou AC RMS). Indicação do estado da bateria. Alimentação com bateria de 9,0 Vdc, permitindo a visualização das medidas obtidas em ambientes com pouca ou nenhuma iluminação, através de *display* com iluminação na cor azul (conforme Manual de Instruções que

acompanha o equipamento).



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 29. Multímetro Digital com Alicates Amperímetro da marca Worker.

- f) Tacômetro Digital Instrutemp – Modelo TTAC – 7200, que segundo seu fabricante (INSTRUTEMP, 2016) é um tacômetro digital que associando a técnica de microcomputador (CPU) juntamente com um laser de junção, permite a obtenção de um instrumento combinado TACO DE FOTO (RPM) e TACO DE CONTATO (RPM, m/min). Possui faixa de medição ampla e alta resolução, e pode ser conectado a uma fonte de tensão estável de corrente contínua de 6V (Figura 30).



Fonte: (INSTRUTEMP, 2016)

Figura 30. Tacômetro Digital Instrutemp – Modelo TTAC – 7200.

- g) Termômetro Digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX, que possui como principais características de operação (FLUKE, 2016), permitir medições repetidas e com maior precisão. Tela LCD grande fácil de ler e visualizar com luz de fundo. Relação distância-ponto 8:1. Classificação IP40 para garantir mais proteção. Exibe a temperatura mínima, máxima e média, ou a diferença entre duas medições. Apresenta uma faixa de temperatura, que vai desde a -30°C a 350°C (-22°F a 662°F). A umidade de operação deve estar entre 10 % a 90 % de umidade relativa, sem condensação, a 30°C (86°F), com altitude limite de operação igual a 2000 metros acima do nível do mar (Figura 31).



Fonte: (FLUKE, 2016)

Figura 31. Termômetro Digital Infravermelho com Mira Laser –Fluke -Modelo 59MAX.

- h) Termômetro Digital Portátil TD800D – ICEL caracterizado por ser um termômetro digital portátil de 3 1/2 dígitos (1999) que apresenta como característica 2 canais de entrada, seleção de leitura em $^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{F}$. Memória, diferença entre as entradas T1 e T2. Compatível com qualquer termopar do padrão internacional tipo K. Circuito para compensação da junção fria (*cold junction*). Temperatura de operação de 0°C a $+ 50^{\circ}\text{C}$. Umidade relativa de operação de 0% a 80%. Taxa de amostragem 2,5 vezes por segundo e resolução: 1°C (Figura 32), conforme manual de instruções.



(a) (b)

Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 32. Termômetro Digital Portátil TD800D – ICEL. (a) Termômetro. (b) Haste – sensor tipo K.

- i) Balança portátil de precisão Quanta modelo - QTBB-1000G. Esta balança (Figura 33) possui capacidade nominal para até 1kg (1000g), com graduação de 0,1g. Apresenta visor de LCD com iluminação predominantemente azul, com escalas de medição de pesagem entre as principais unidades de medidas adotadas mundialmente como g/CT/Oz/GN. Pode operar entre as temperaturas de 10 °C a 30 °C. Tara automática na unidade de medida adotada na pesagem para adequação das pesagens ao ligar. Possui auto desligamento após 30 segundos. Permite a portabilidade, uma vez que funciona com 1 bateria de Lítio 3 V modelo CR2032 (conforme Manual de Instruções Quanta, 2014).



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 33. Balança portátil de precisão Quanta modelo - QTBB-1000G.

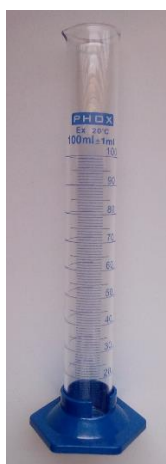
- j) Balança de mesa WH-B11. Esta balança (Figura 34) possui capacidade nominal para até 5kg (5000g), com graduação de 1g. Apresenta visor de LCD com 4 dígitos de resolução, com escalas de medição de pesagem em g e Oz. Tara automática na unidade de medida adotada na pesagem para adequação das pesagens ao ligar (botão UNIT). Podendo operar entre as temperaturas de 10 °C a, aproximadamente, 40 °C, com umidade relativa menor (ou igual) a 85%. Precisão de $\pm 3\%$. Permite a portabilidade, uma vez que funciona com 2 pilhas de 1,5 V tipo AAA (conforme Manual de Instruções WB-B11).



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 34. Balança de mesa WH-B11.

- k) Proveta graduada – 100 ml com base de polipropileno - da PHOX. Proveta 100 ml, fabricada em vidro (Figura 35), com graduação de 1 ml, com gravação em azul, e calibração de referência de 20 °C (conforme dados do fornecedor e inscrição no corpo do equipamento).



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 35. Proveta graduada – 100 ml com base de polipropileno - da PHOX.

- 1) Cronômetro Marca NAUTIKA – NTK, modelo PROCRON I. O cronômetro (Figura 36) se caracteriza por apresentar calendário com data (de 2000 – 2049) e dia da semana. Precisão de 1/100 segundos. Mede o tempo mais rápido (*Fast Speed* – FS), o tempo mais lento (*Speed Low* – SL) e o tempo médio (*Average Velocity* – AV). Alarme e despertador. Contagem regressiva. Função tempo (conforme Manual de Instruções NTK).



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 36. Cronômetro marca NAUTIKA – NTK, modelo PROCRON I.

3.2 Metodologia

3.2.1 Cenário 1 – ensaio com carburador original

O primeiro cenário foi caracterizado pela utilização do carburador original (sem o suporte de filtro, para determinar as posições corretas da borboleta do afogador), bem como gasolina comum (73% gasolina *pura – uso veicular* / 27% álcool anidro - conforme determinado pela Agência Nacional de Petróleo – ANP), não aditivada, comprada na bomba de combustível de um distribuidor qualquer de combustíveis, devidamente estabilizado/regulamentado pertencente ao município de Cascavel, Estado do Paraná.

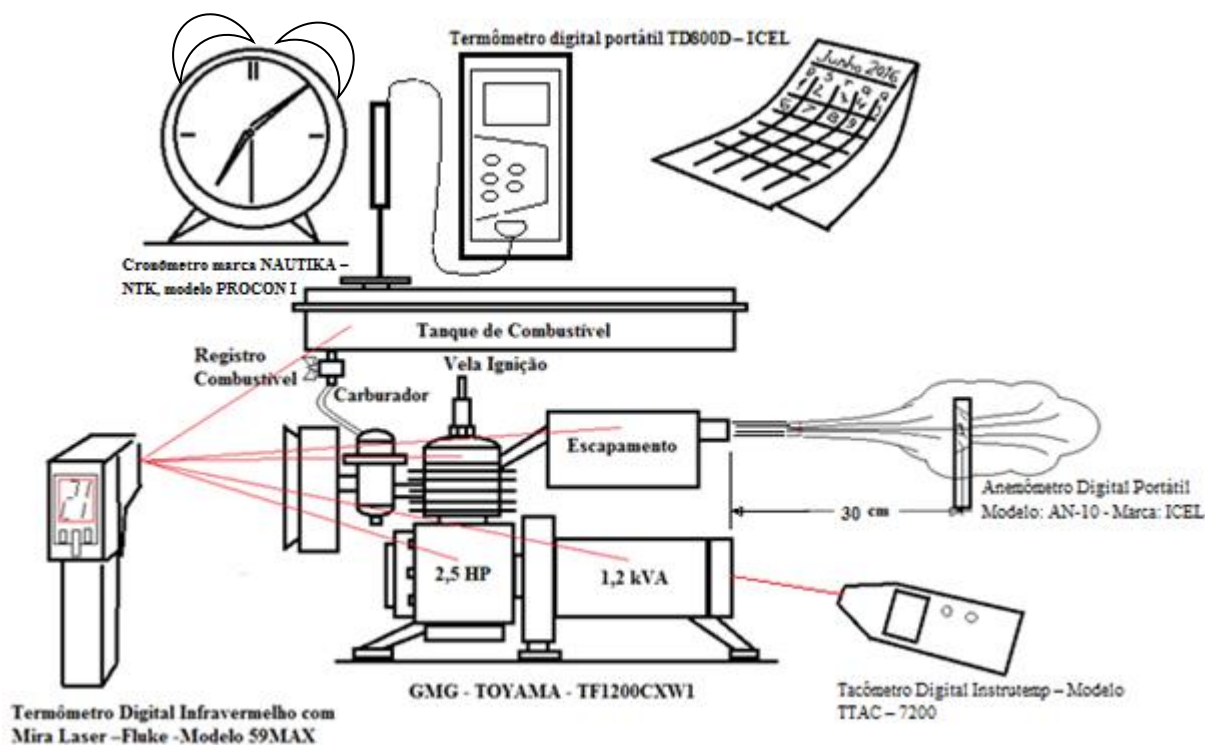
Antes de cada teste, foram anotados os seguintes dados de referência:

- a) Local (cidade, estado e país);

- b) Endereço (logradouro, número, bairro, código de endereçamento postal e informações complementares);
- c) Data (dia, mês e ano) da realização do teste;
- d) Horário (horas e minutos) da realização do teste determinado com cronômetro marca NAUTIKA – NTK, modelo PROCRON I;
- e) Coordenadas geográficas do local do teste (°, ', "), utilizando a ferramenta Google Earth Pro (2017);
- f) Altitude em relação ao nível do mar, através, também, do Google Earth Pro (2017);
- g) Temperatura ambiente (°C), próximo ao local dos testes (termo – higrômetro Incoterm – modelo 7666.02.0.00);
- h) Umidade relativa (%), próximo ao local dos testes (termo – higrômetro Incoterm – modelo 7666.02.0.00);
- i) Verificação da *pressão atmosférica*, com base na altitude aferida (item f) e temperatura medida (item g) através do medidor *online* MIDÉ (2017);
- j) Volume do combustível, em ml (proveta graduada – 100 ml com base de polipropileno - da PHOX);
- k) Massa do combustível (g), utilizando-se balanças em *redundância* (balança portátil de precisão Quanta modelo - QTBB-1000G sobreposta à balança de mesa WH-B11), ambas zeradas (tara) já considerando a massa da proveta (item j);
- l) Volume (ml) do óleo do cárter, utilizando-se a vareta do próprio GMG (Grupo Motor Gerador) – observando-se os pontos de máximo e mínimo inscritos na mesma;
- m) Verificação visual (cor) e tátil (viscosidade) das características do óleo do cárter;
- n) Temperatura (°C) do filamento do bulbo da carga resistiva, caracterizado por lâmpadas halógenas com filamento de tungstênio (W), gás inerte e iodo (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- o) Temperatura (°C) externa da tampa do cabeçote (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- p) Temperatura (°C) externa do cabeçote (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- q) Temperatura (°C) externa da cerâmica da vela de ignição (termômetro digital

- Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- r) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) externa da cuba do carburador (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
 - s) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) externa do duto de exaustão – interface cabeçote/escapamento (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke - Modelo 59MAX);
 - t) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) externa do escapamento (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
 - u) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) externa da carcaça do alternador (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
 - v) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) da massa do combustível no instante inicial do teste (termômetro digital portátil TD800D – ICEL);

A figura 37 apresenta um esquemático, demonstrando os principais aspectos da configuração propostas no *cenário 1*, que diz respeito ao ensaio com carburador original, quando da aquisição dos dados de referência – ensaio a vazio (sem carga).



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 37. Esquemático Cenário 1 – ensaio do GMG Toyota - modelo TF1200CXW1 com carburador original - a vazio (sem carga).

3.2.1.1 Teste 1 referente ao Cenário 1 – Ensaio1 – Carburado e a Vazio

Durante a execução do primeiro ensaio a vazio, após a coleta inicial dos dados, o motor do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1 - apresentou características de ruído metálico e instabilidade rotacional bem evidenciada. Após mais 3 (três) tentativas, buscando uma regulagem adequada do carburador, o mesmo foi retirado e substituído por um carburador original novo (Figura 38), adquirido diretamente junto ao representante técnico da marca Toyama para Cascavel, Pr, a empresa Maquima Máquinas e Implementos Agrícolas - Ltda, uma vez que o carburador original apresentava oxidações/desgastes pelo ressecamento de gasolina na cuba, bem como a não existência de peças de reposição a pronta entrega, tais como agulha e boia de gasolina, bem como anéis de vedação. Face ao exposto, os dados obtidos neste primeiro ensaio - carburado e a vazio -, foram *descartados*, pois não refletiam condições normais de funcionamento do GMG para efeito de comparação.



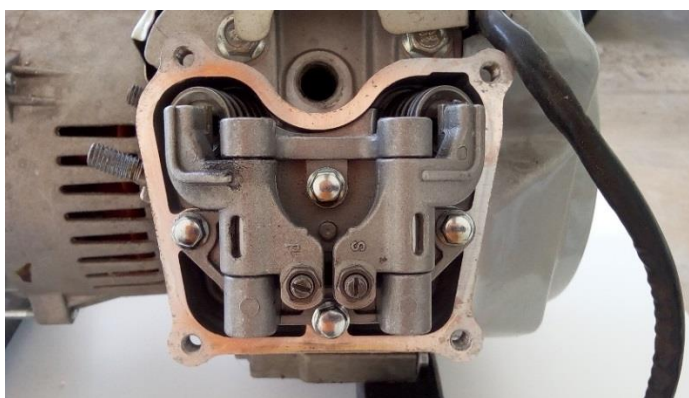
Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 38. Caixa do carburador original - GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.

3.2.1.2 Teste 2 referente ao Cenário 1 – Ensaio1 – Carburado e a Vazio

Como o ruído e a instabilidade rotacional ainda persistiu, bem como elevado consumo evidenciado (medidos 0,27 ml/s), optou-se pela abertura da tampa do cabeçote (Figura 39), bem como, a retirada do comando de válvulas, e, conseqüentemente, do próprio cabeçote (Figura 40) para se ter acesso ao pistão, afim de se verificar sua integridade. Neste primeiro momento, numa inspeção visual superficial, não se evidenciava anormalidade

alguma que pudesse levar às causas do ruído / comportamento verificado quando da realização do ensaio. Por se tratar do sistema de comando de válvula do tipo *Overhead Valve* - OHV (Comando de Válvulas no Bloco do Motor), as válvulas são acionadas por balancins através de varetas de comando, (sendo comuns nos modelos de motores mais antigos), foi necessário a remoção das mesmas para se verificar o estado real das varetas que poderiam estar com algum problema de folga, ou mesmo empenamento devido a excesso de temperatura ou possibilidade de calço hidráulico, ou ainda, desgaste excessivo do berço de apoio da vareta junto ao balancim.



Fonte: (O Autor, 2016)

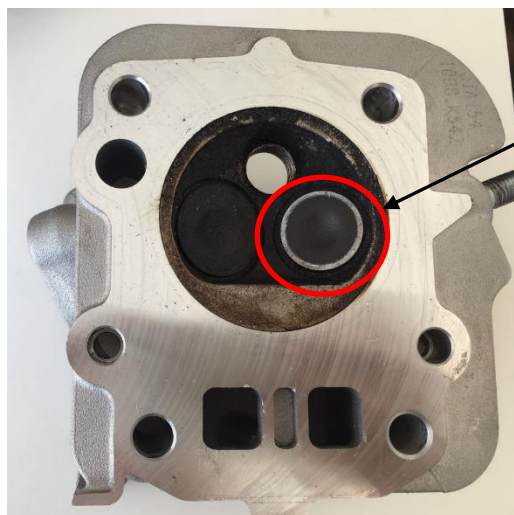
Figura 39. Acesso ao comando de válvulas após retirada da tampa do cabeçote GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 40. Cabeçote do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.

Ao se verificar o pistão, foi constatado que a válvula de exaustão, estava ressaltada (Figura 41) e atingiu o mesmo, provocando o surgimento de uma *rebarba* neste.



Válvula de exaustão – ressalto aproximado de 0,5 mm. (Obs.: câmara com depósitos de carvão).

Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 41. Detalhe da válvula de exaustão do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.

Foi utilizada uma mini-retífica com ferramenta (rebolo) de lixamento, e aspirador de pó, para a retirada da rebarba (Figura 42), sendo que em seguida todo o conjunto foi limpo com micro-óleo.

Mini-retífica
com rebolo de
lixa.

Bocal
aspirador de
pó manual.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 42. Retirada da rebarba do pistão do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.

O resultado final, após o desbaste e limpeza pode ser visto na figura 43. Os depósitos de carvão também foram reduzidos (limpos).

Aspecto final
após retirada
da rebarba.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 43. Resultado final condicionamento base do pistão do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.

Como todo o conjunto, apresentava uma certa condição de oxidação, principalmente no sistema de exaustão (Figura 44) procedeu-se a desmontagem e *envelopamento* (isolamento) das principais partes mecânicas (Figura 45). O *envelopamento* teve como objetivo, proteger tantos os componentes mecânicos quanto os componentes elétricos, quando da limpeza do motor por lavagem com máquina de pressão. O escapamento, por sua vez foi totalmente desmontado, polido externamente e lavado (água sob alta pressão) internamente, afim de remover a maior quantidade de óxidos possível. Assim como a carcaça do bloco do motor e carcaça do gerador, também foram lavados sob alta pressão com o objetivo de remover a maior quantidade de particulados (sujeira) possível.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 44. Sistema de exaustão apresentando sinais de oxidação.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 45. Envelopamento dos principais componentes mecânicos e elétricos do GMG.

Após isto, a tampa do cabeçote, bem como o sistema de exaustão, foram pintados com tinta *spray* na cor preto fosco para alta temperatura (600 °C), conforme as figuras 46 e 47, respectivamente.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 46. Resultado da pintura da tampa do cabeçote do GMG.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 47. Resultado da pintura do sistema de exaustão do GMG.

Finalmente todo o conjunto do cabeçote, comando de válvulas e tampa do cabeçote foram remontados e ajustados, conforme figura 48.



Fonte: (O Autor, 2016)

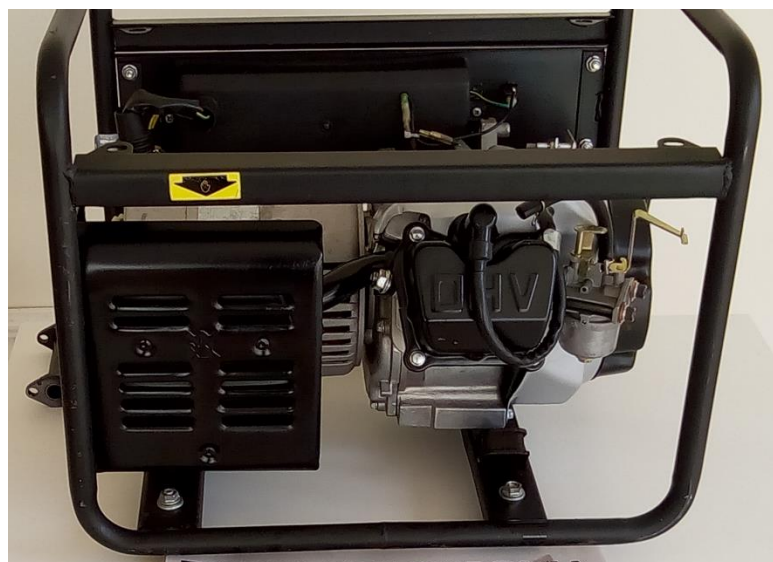
Figura 48. Aspecto final da montagem do conjunto do cabeçote do GMG.

O aspecto geral final do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1 - pode ser visto nas figuras 49, que mostra o painel frontal e figura 50, que mostra os sistemas de exaustão e cabeçote, respectivamente.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 49. Aspecto final da montagem – painel frontal - do GMG.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 50. Aspecto final da montagem do sistema de exaustão e conjunto do cabeçote do GMG.

Após a montagem do GMG, procedeu-se a verificação novamente do nível do óleo

(que já havia sido esgotado) sendo feito a colocação do óleo novo no cárter, conforme especificação – óleo mineral de boa qualidade especificação SAE 20W50 (Figura 51).



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 51. Procedimento de colocação de óleo lubrificante no cárter do GMG.

Ao se analisar a vela de ignição original, modelo E6TC, verificou-se que a mesma apresentava características de desgaste acentuado (Figura 52), o que levou a troca pela vela NGK B5HS, recomendada e comercializada pela assistência técnica, como equivalente (Figura 53).



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 52. Vela de ignição original do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1 com desgaste acentuado.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 53. Vela nova NGK - B5HS instalada no GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.

Uma vez que o motor foi novamente montado, deu-se início, novamente aos ensaios com o GMG com carburador e a vazio.

3.2.1.3 Teste 3 referente ao Cenário 1 – Ensaio1 – Carburado e a Vazio

Após a coleta dos dados iniciais, procedeu-se ao ensaio propriamente dito.

Ainda, nesta fase, verificou-se certa facilidade para o motor entrar em funcionamento. Todavia, o que se detectou é que o motor ficava variando muito a aceleração automática, ao mesmo tempo que no voltímetro (galvanômetro) do GMG, a tensão observada, mesmo com o gerador com rotação (rpm) levemente acima da rotação nominal, não atingia os 40 Vca. Também, constatou-se que, por mais que se acelerasse o motor (forçando manualmente o carburador e o automático) o mesmo não atingia a tensão nominal chegando no máximo em, aproximadamente, 90 Vca, mesmo sem carga (conforme característica do ensaio) quando no limite de aceleração do GMG (acima dos 4800 rpm).

Na assistência técnica terceirizada, o técnico responsável, informou que o problema era de cunho elétrico (sistema de geração), e que este tipo de manutenção o mesmo não realizava, pois não tinha o esquema elétrico do gerador, fornecido pelo fabricante.

A solução deste problema só foi obtida na AGR Geradores, de Cascavel-Pr, oficina especialista em GMG de média e grande capacidade, onde o responsável técnico só

concordou em ajudar, se a desmontagem da parte elétrica fosse feita pelo autor. Tanto o estator (Figura 54), quanto o rotor (Figura 55), tiveram que ser trabalhados.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 54. Desmontagem do gerador elétrico – estator - do GMG.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 55. Desmontagem do gerador elétrico – rotor - do GMG.

Finalmente, após algumas horas de trabalho o problema foi detectado. O diodo de excitação D6A10, juntamente com o resistor de 15 k Ω , estavam com defeito (Figura 56). Após a substituição destes o grupo GMG, finalmente ficou mais estável, gerando tensões medidas entre 114 Vca a 119 Vca, próximo da rotação nominal (± 3600 rpm). Uma vez corrigido estes problemas, se iniciou, novamente a sequência de ensaios à vazio do GMG.



Resistor com defeito (baixa isolamento) – substituído.

Diodo com defeito (conduzindo nos dois sentidos) – substituído.

Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 56. Detalhe dos componentes com defeito – rotor – do GMG.

Posteriormente, uma vez que foram substituídos os componentes com defeito (resistor e diodo), foi realizado todo o preparo das condições para a realização dos ensaios de número 4, tendo em vista que agora o sistema, em princípio, estava adequado para a realização dos mesmos. Para tanto foi comprado 3 litros de gasolina comum em posto de combustível que trabalha com bandeira tradicional. O motor, passou, novamente por uma inspeção geral, afim de verificar alguma falha de montagem ou qualquer possível estado que possa inferir no insucesso do respectivo experimento.

3.2.1.4 Teste 4 referente ao Cenário 1 – Ensaio1 – Carburado e a Vazio

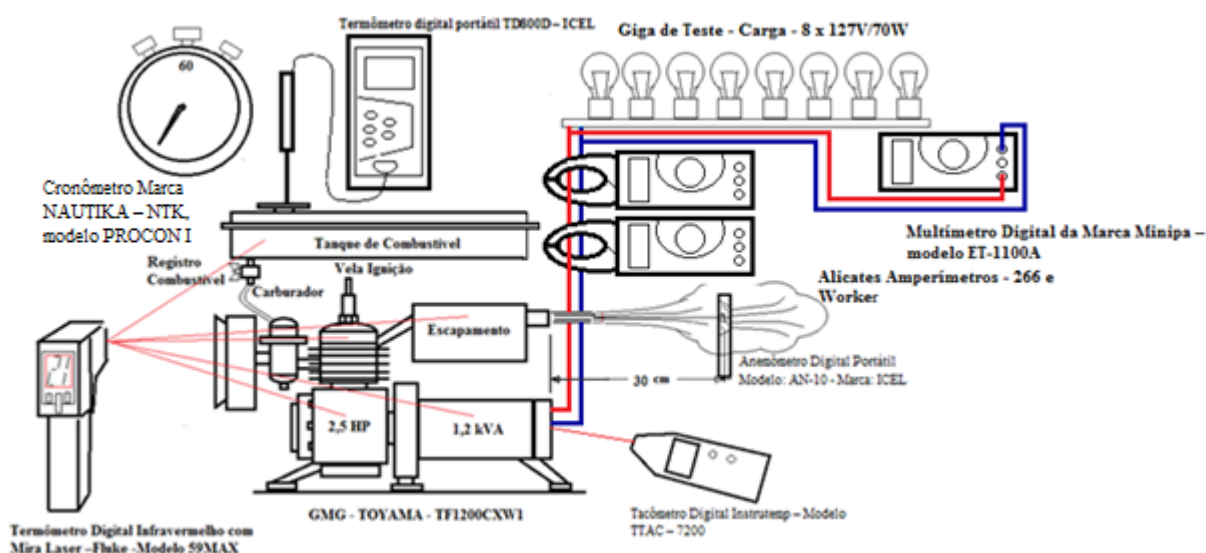
O teste 4, se caracterizou pela realização de 1(um) piloto (inicial), mais 4 (quatro) repetições, totalizando 5 (cinco) testes. Em cada evento, uma vez coletado os dados iniciais, conforme procedimentos já descritos, foram medidas as seguintes variáveis, a cada minuto, num total mínimo, de 6 minutos por ensaio:

- a) Temperatura (°C) externa da tampa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- b) Temperatura (°C) externa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a

- estabilidade térmica naquele ponto;
- c) Temperatura (°C) externa da cerâmica da vela de ignição (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
 - d) Temperatura (°C) externa da cuba do carburador (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
 - e) Temperatura (°C) externa do duto de exaustão – interface cabeçote/escapamento (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
 - f) Temperatura (°C) externa do escapamento (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
 - g) Temperatura (°C) externa da carcaça do alternador, medida nas três estruturas constituintes (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
 - h) Velocidade dos gases de escape, através de anemômetro digital portátil modelo AN-10 - marca ICEL, colocado distante 30 cm da saída dos gases de escape;
 - i) Estabilidade de rotação e potência sem carga, através do tacômetro digital Instrutemp – modelo TTAC – 7200;
 - j) Variação dos parâmetros elétricos utilizando, simultaneamente, os instrumentos: Multímetro Digital da Marca Minipa – modelo ET-1100A, Alicates Amperímetro – 266 Clamp Meter e Multímetro Digital com Alicates Amperímetro da marca Worker.
 - k) Foi medido também, na rotação nominal (± 3600 rpm), o consumo de combustível, tendo como parâmetro, o tempo gasto (em segundos) para consumir 60 ml de combustível, uma vez que o tanque original foi substituído por elemento graduado com capacidade máxima, nominal, de 60 ml.

A figura 57 apresenta um esquemático, demonstrando os principais aspectos da configuração propostas no *cenário 1*, que diz respeito ao ensaio com carburador original, quando da aquisição dos dados de referência – *ensaio com carga*. Cabe observar, que os alicates amperímetros, foram utilizados em uma configuração de redundância (Alicates

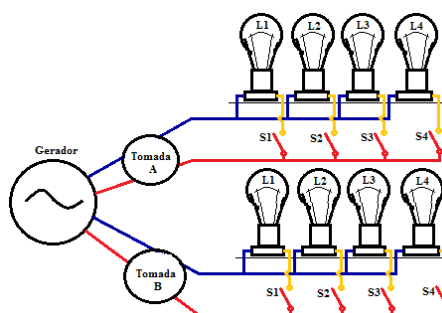
Amperímetro – 266 Clamp Meter e Multímetro Digital com Alicates Amperímetro da marca Worker) com o intuito de se verificar possíveis divergências de medições entre os instrumentos. Quanto aos valores de tensão, a redundância ficou a cargo do Multímetro Digital da Marca Minipa – modelo ET-1100A e do Voltímetro Analógico (Galvanômetro) do GMG. Ainda, tomou-se o cuidado de se monitorar, durante a realização dos ensaios, os níveis de umidade relativa (%), próximo ao local dos testes, através do termo – higrômetro Incoterm – modelo 7666.02.0.00, para se garantir o adequado comportamento funcional dos equipamentos de medição elétrica, conforme limitações definidas pelos respectivos fabricantes e explicitadas em seus documentos.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 57. Esquemático Cenário 1 – ensaio do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1 com carburador original - com carga (*giga de teste*).

Quando dos testes com carga(s), foi construído uma *giga de teste*, formada por dois conjuntos de cargas, constituídos, cada um por 4 (quatro) lâmpadas halógenas de filamento de tungstênio (W), com fator de potência (fp) unitário de 127V/70W (nominal), em paralelo, com controle (LIGA/DESLIGA) individualizado, totalizando 8 (oito) cargas individuais para teste. A figura 58 apresenta o esquema elétrico da *giga de testes*.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 58. Esquemático *giga de testes* para ensaios do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.

O aspecto final da *giga de testes* pode ser observado na figura 59.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 59. Aspecto construtivo da *giga de testes* para ensaios do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.

3.2.1.5 Testes referente ao Cenário 1 - Ensaio 2 – Carburado e com Carga

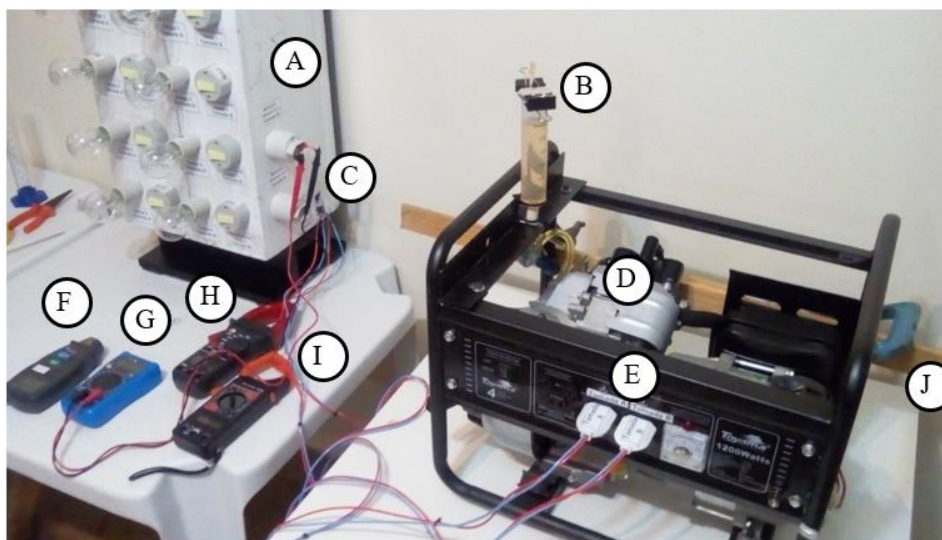
O ensaio – carburado e com carga, se caracterizou pela realização de 1 (um) piloto (inicial), mais 3 (três) repetições, totalizando 4 (quatro) testes. Foi realizado 1 (um) teste para carga nominal de 70W, 1 (um) teste para carga nominal de 140W, 1 (um) teste para carga nominal de 210W e 1 (um) ensaio para carga nominal de 560W, sendo que, uma vez coletado os dados iniciais, conforme procedimentos já descritos, foram medidas as seguintes variáveis,

a cada minuto, num total mínimo, de 5 minutos por ensaio:

- a) Temperatura (°C) externa da tampa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- b) Temperatura (°C) externa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- c) Temperatura (°C) externa da cerâmica da vela de ignição (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- d) Temperatura (°C) externa da cuba do carburador (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- e) Temperatura (°C) externa do duto de exaustão – interface cabeçote/escapamento (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- f) Temperatura (°C) externa do escapamento (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- g) Temperatura (°C) externa da carcaça do alternador, medida nas três estruturas constituintes (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- h) Velocidade dos gases de escape, através de anemômetro digital portátil modelo AN-10 - marca ICEL, colocado distante 30 cm da saída dos gases de escape;
- i) Estabilidade de rotação e potência sem carga, através do tacômetro digital Instrutemp – modelo TTAC – 7200;
- j) Variação dos parâmetros elétricos utilizando, simultaneamente, os instrumentos: Multímetro Digital da Marca Minipa – modelo ET-1100A, Alicate Amperímetro – 266 Clamp Meter e Multímetro Digital com Alicate Amperímetro da marca Worker.
- k) Foi medido também, na rotação nominal (± 3600 rpm), o consumo de combustível, tendo como parâmetro, o tempo gasto (em segundos) para consumir

60 ml de combustível, uma vez que o tanque original foi substituído por elemento graduado com capacidade máxima, nominal, de 60 ml.

A configuração geral com carga utilizando-se do carburador original do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1 - pode ser observado na figura 60. Na figura, está apresentado o *lay-out* (disposição) dos equipamentos / instrumentos de medição utilizados durante os ensaios, bem como a identificação de cada um. Cabe ressaltar que o anemômetro digital portátil modelo AN-10 - marca ICEL, ainda que não apareça efetivamente na imagem, está com a unidade de medida (hélice do anemômetro) afixada numa extensão devidamente alinhado, distante 30 cm da saída dos gases de escape, conforme já descrito anteriormente. Em tempo, o reservatório de combustível, apesar de fechado na parte superior, possui um suspiro para manter o fluxo adequado do combustível, evitando que ocorra diferença de pressão com consequente redução do fornecimento de combustível em função das demandas do GMG durante o teste.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 60. Configuração ensaio com carga do GMG.

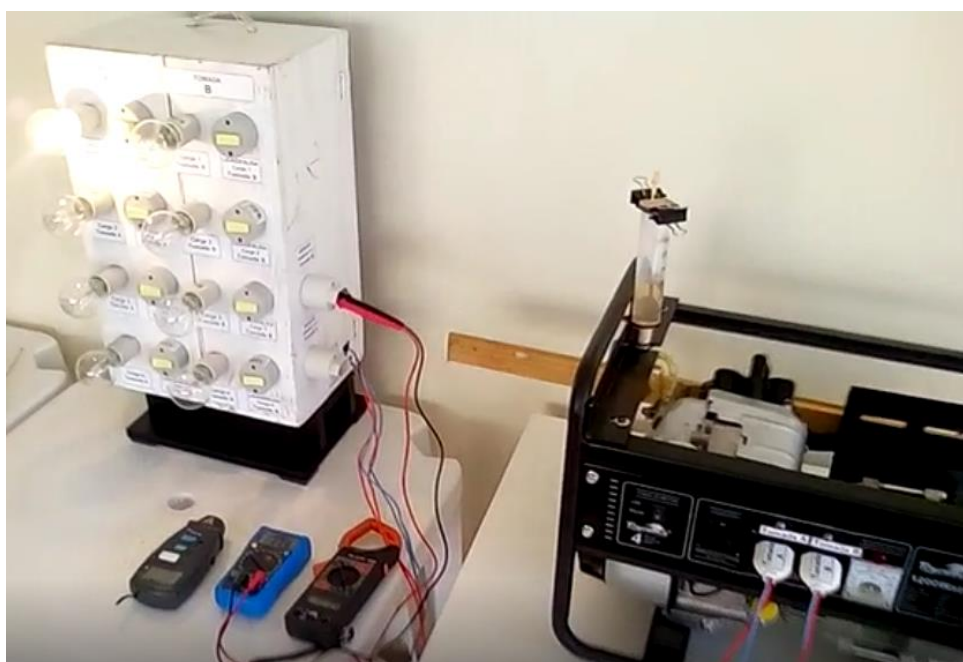
Sendo que:

A) Giga de teste;

B) Reservatório de combustível com resolução de 1 ml e capacidade total de 60 ml;

- C) Ponto de medição de tensão – tomadas A e B – do GMG;
- D) Grupo motor gerador – GMG - Toyama - modelo TF1200CXW1;
- E) Tomadas de força – A e B, do GMG;
- F) Tacômetro Digital Instrutemp – Modelo TTAC – 7200;
- G) Multímetro Digital da Marca Minipa – modelo ET-1100A;
- H) Multímetro Digital com Alicates Amperímetro da marca Worker;
- I) Alicates amperímetro – 266 Clamp Meter;
- J) Suporte/extensão de fixação do medidor de velocidade (unidade de hélice) do Anemômetro Digital Portátil Modelo: AN-10 - Marca: ICEL.

Na figura 61, pode ser observado a configuração de medição do ensaio com uma carga (lâmpada halógena de filamento de tungstênio, de 127V/70W) utilizando-se do carburador original do GMG Toyama - modelo TF1200CXW1.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 61. Configuração ensaio com uma única carga – 127V/70W - do GMG.

3.2.2 Testes referentes ao Cenário 2 – ensaio com reator GEET-Pantone

O segundo cenário foi caracterizado pela substituição do carburador original pelo Reator GEET-Pantone, utilizando inicialmente, como combustível, gasolina veicular (73% gasolina veicular *pura* / 27% álcool anidro - conforme determinado pela Agência Nacional de Petróleo – ANP), não aditivada, comprada na bomba de combustível de um distribuidor qualquer de combustíveis, devidamente estabilizado/regulamentado pertencente ao município de Cascavel, Estado do Paraná, juntamente com água tratada pela companhia de saneamento local – *água de torneira*, misturadas no recipiente de mistura / borbulhador (capacidade máxima de 800 mL), numa mistura pré-combustão, proporcional de gasolina/água de 50/50 (cinquenta por cento de gasolina e cinquenta por cento de água, respectivamente), e 25/75 (vinte e cinco por cento de gasolina e setenta e cinco por cento de água, respectivamente), conforme Martz (2001) e Naudin (2016). Posteriormente, foram realizados testes utilizando-se gasolina de aviação (100% gasolina, com 100 octanas e 0,71g/mL a 15°C), e outros testes com uma mistura de 25/75 (vinte e cinco por cento de gasolina de aviação e setenta e cinco por cento de água, respectivamente). Cabe ratificar que a gasolina de aviação (AVGAS) utilizada nos testes (volume de 1,5 L), foi adquirida por distribuidor legal de combustíveis para aviação, devidamente estabelecido, e que só concordou com a comercialização do produto, depois que o autor explicitou, adequadamente, o cunho científico e relevância da pesquisa, além de se responsabilizar (o autor) pelos possíveis riscos de acidentes e situações correlatas.

Antes de cada teste, excetuando-se os dados referente ao *local*, *endereço*, *coordenadas geográficas* e *altitude* que eram os mesmos dados do *Cenário 1*, foram anotados os seguintes dados de referência:

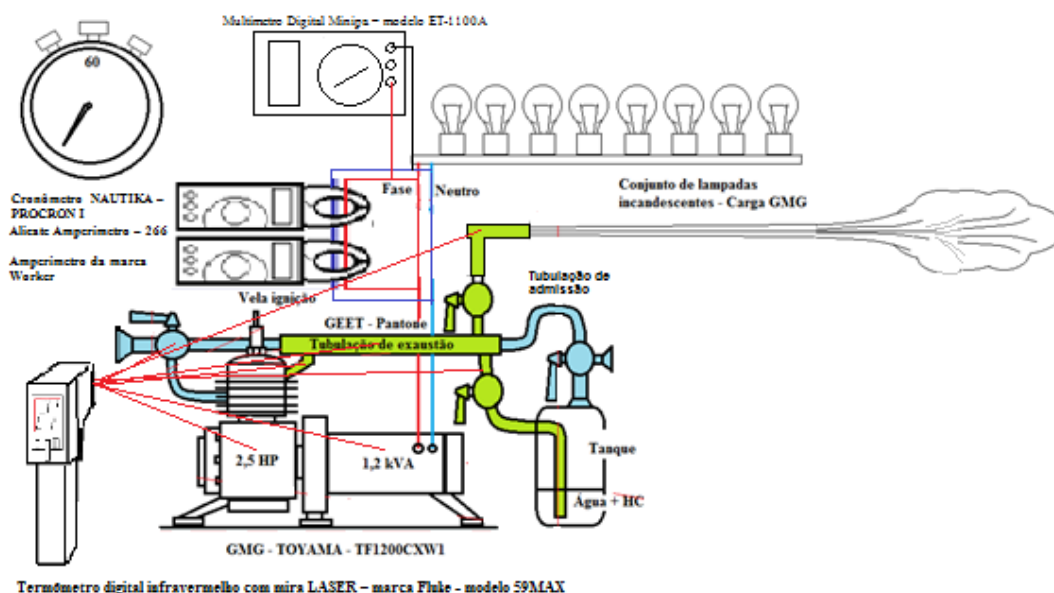
- a) Data (dia, mês e ano) da realização do teste;
- b) Horário (horas e minutos) da realização do teste determinado com cronômetro marca NAUTIKA – NTK, modelo PROCRON I;
- c) Temperatura ambiente (°C), próximo ao local dos testes (termo – higrômetro Incoterm – modelo 7666.02.0.00);
- d) Umidade relativa (%), próximo ao local dos testes (termo – higrômetro Incoterm – modelo 7666.02.0.00);
- e) Verificação da pressão atmosférica, com base na altitude aferida (item f do

Cenário1) e temperatura medida (item g do Cenário1) através do medidor *online* MIDÉ (2017);

- f) Volume do combustível, em ml (proveta graduada – 100 ml com base de polipropileno - da PHOX);
- g) Massa do combustível (g), utilizando-se balanças em *redundância* (balança portátil de precisão Quanta modelo - QTBB-1000G sobreposta à balança de mesa WH-B11), ambas zeradas (tara) já considerando a massa da proveta (item j);
- h) Volume (ml) do óleo do cárter, utilizando-se a vareta do próprio GMG (Grupo Motor Gerador) – observando-se os pontos de máximo e mínimo inscritos na mesma;
- i) Verificação visual (cor) e tátil (viscosidade) das características do óleo do cárter;
- j) Temperatura (°C) do filamento do bulbo da carga resistiva, caracterizado por lâmpadas halógenas com filamento de tungstênio (W), gás inerte e iodo (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- k) Temperatura (°C) externa da tampa do cabeçote (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- l) Temperatura (°C) externa do cabeçote (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- m) Temperatura (°C) externa da cerâmica da vela de ignição (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- n) Temperatura (°C) externa do duto de exaustão – interface cabeçote/duto de exaustão do GEET-Pantone (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- o) Temperatura (°C) externa do GEET-Pantone, no ponto médio, e no duto de saída dos gases (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- p) Temperatura (°C) externa da carcaça do alternador (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- q) Temperatura (°C) da massa do combustível no instante inicial do teste (termômetro digital portátil TD800D – ICEL);

A figura 62 apresenta um esquemático, demonstrando os principais aspectos da

configuração que foram propostas e executadas no *Cenário 2*, que diz respeito ao ensaio com o Reator GEET-Pantone, quando da aquisição dos dados de referência.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 62. Esquemático *Cenário 2* – ensaio com o Reator GEET-Pantone – aquisição dos dados de referência.

3.2.2.1 Ensaio 1 – Cenário 2 - GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 50/50

O ensaio 1 (um) se caracterizou pela realização de 1(um) piloto (inicial), mais 3 (três) repetições, totalizando 4 (quatro) testes. Todos os testes foram realizados para a carga nominal de 560 W, sendo que, a mistura se caracterizou por uma proporção contendo 50% de gasolina pura veicular e 50% de água potável. Nestas condições, tanto o teste 1 (um) quanto os testes 2 (dois) e 3 (três), considerou durante a realização de cada um, um volume inicial total da mistura de 400 mL, sendo, aproximadamente, 231 mL de gasolina comum veicular (não aditivada), o que correspondeu a 168,63 mL de gasolina pura veicular, mais 62,37 mL de álcool anidro (99,6% pureza) - ANP, que foram adicionados a 169 mL de água potável, completando o volume total anteriormente informado. Já para o teste 4 (quatro), considerou-se durante a realização do mesmo, um volume total inicial da mistura de 500 mL, sendo,

aproximadamente, 289 mL de gasolina comum veicular (não aditivada), o que correspondeu a 210,97 mL de gasolina pura veicular, mais 78,03 mL de álcool anidro (99,6% pureza) - ANP, que foram adicionados a 211,0 mL de água potável, completando o volume total anteriormente informado. Em todos os casos, ficou mantido a proporcionalidade inicialmente declarada.

Uma vez coletado os dados iniciais, conforme procedimentos já descritos, foram medidas as seguintes variáveis, a cada minuto, num total mínimo, de 5 minutos por ensaio:

- a) Temperatura (°C) externa da tampa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- b) Temperatura (°C) externa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- c) Temperatura (°C) externa da cerâmica da vela de ignição (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- d) Temperatura (°C) externa do duto de exaustão – interface cabeçote/duto de exaustão do GEET-Pantone (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- e) Temperatura (°C) externa do GEET-Pantone, no ponto médio, e no duto de saída dos gases (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke - Modelo 59MAX);
- f) Temperatura (°C) externa da carcaça do alternador, medida nas três estruturas constituintes (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- g) Variação dos parâmetros elétricos utilizando, simultaneamente, os instrumentos: Multímetro Digital da Marca Minipa – modelo ET-1100A, Alicates Amperímetro – 266 Clamp Meter e Multímetro Digital com Alicates Amperímetro da marca Worker.

3.2.2.2 Ensaio 2 – GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25/75

O ensaio 2 (dois), se caracterizou pela realização de 1(um) piloto (inicial), mais 1 (um) teste de repetição, totalizando 2 (dois) testes. Todos os testes foram realizados para a carga nominal de 560 W, sendo que, a mistura se caracterizou por uma proporção contendo 25% de gasolina pura (uso veicular) e 75% de água potável. Nestas condições, tanto o ensaio 1 (um) quanto o ensaio 2 (dois), considerou durante a realização de cada um, um volume inicial total da mistura de 500 mL, sendo, aproximadamente, 157 mL de gasolina comum veicular (não aditivada), o que correspondeu a 114,61 mL de gasolina pura veicular, mais 42,39 mL de álcool anidro (99,6% pureza) - ANP, que foram adicionados a 343 mL de água potável, completando o volume total anteriormente informado. Nestas condições, ficou mantido a proporcionalidade inicialmente declarada.

Uma vez coletado os dados iniciais, conforme procedimentos já descritos, foram medidas as seguintes variáveis, a cada minuto, num total mínimo, de 3 minutos por ensaio:

- a) Temperatura (°C) externa da tampa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- b) Temperatura (°C) externa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- c) Temperatura (°C) externa da cerâmica da vela de ignição (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- d) Temperatura (°C) externa do duto de exaustão – interface cabeçote/duto de exaustão do GEET-Pantone (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- e) Temperatura (°C) externa do GEET-Pantone, no ponto médio, e no duto de saída dos gases (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke - Modelo 59MAX);
- f) Temperatura (°C) externa da carcaça do alternador, medida nas três estruturas constituintes (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;

- g) Variação dos parâmetros elétricos utilizando, simultaneamente, os instrumentos: Multímetro Digital da Marca Minipa – modelo ET-1100A, Alicates Amperímetro – 266 Clamp Meter e Multímetro Digital com Alicates Amperímetro da marca Worker.

3.2.2.3 Ensaio 3 – GEET PANTONE - GMG com Carga – 100% Gasolina de Aviação

O ensaio 3 (três), se caracterizou pela realização de 1(um) piloto (inicial), mais 2 (dois) testes de repetição, totalizando 3 (três) testes. Todos os testes foram realizados para a carga nominal de 560 W, sendo que o combustível utilizado foi gasolina de aviação 100% pura, com 100 octanas e 0,71g/mL (Shell Brasil Ltda, 2016), com volume inicial de 450 mL.

Uma vez coletados os dados iniciais, conforme procedimentos já descritos, foram medidas as seguintes variáveis, a cada minuto, num total mínimo, de 8 minutos por ensaio:

- a) Temperatura (°C) externa da tampa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- b) Temperatura (°C) externa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- c) Temperatura (°C) externa da cerâmica da vela de ignição (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- d) Temperatura (°C) externa do duto de exaustão – interface cabeçote/duto de exaustão do GEET-Pantone (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke -Modelo 59MAX);
- e) Temperatura (°C) externa do GEET-Pantone, no ponto médio, e no duto de saída dos gases (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke - Modelo 59MAX);
- f) Temperatura (°C) externa da carcaça do alternador, medida nas três estruturas constituintes (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke

- modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- g) Variação dos parâmetros elétricos utilizando, simultaneamente, os instrumentos: Multímetro Digital da Marca Minipa – modelo ET-1100A, Alicate Amperímetro – 266 Clamp Meter e Multímetro Digital com Alicate Amperímetro da marca Worker.

3.2.2.4 Ensaio 4 – GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação/75% água potável

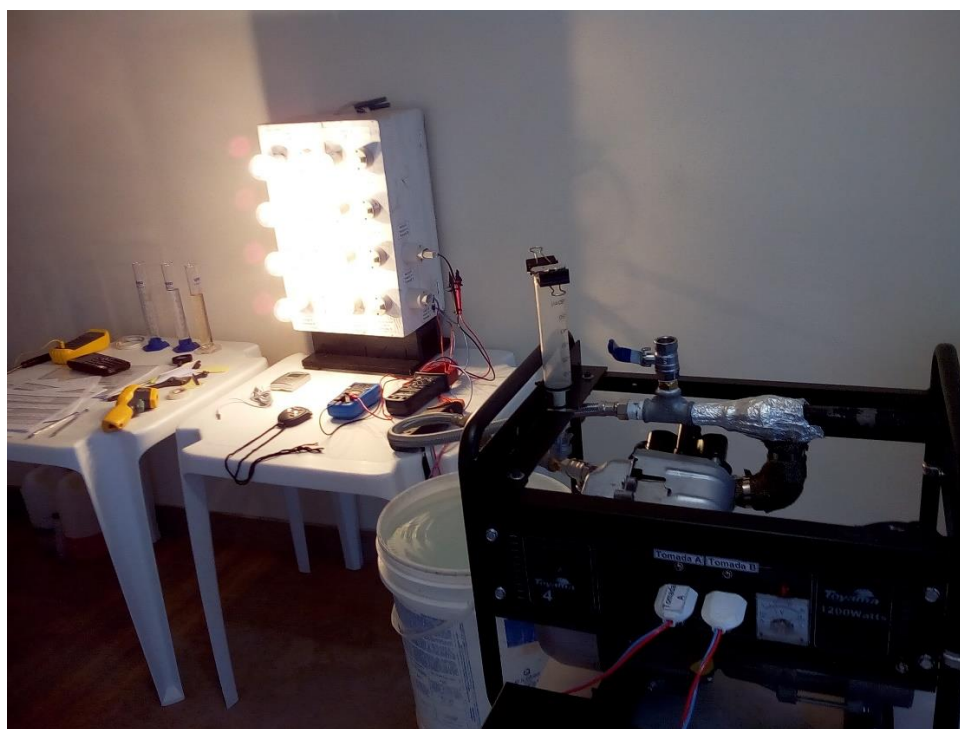
O ensaio 4 (quatro), se caracterizou pela realização de 1(um) piloto (inicial), mais 2 (dois) testes de repetição, totalizando 3 (três) testes. Todos os testes foram realizados para a carga nominal de 560 W, sendo que, a mistura se caracterizou por uma proporção contendo 25% de gasolina pura uso aeronáutico (100% pura, com 100 octanas e 0,71g/mL) e 50% de água potável. Nestas condições, tanto o teste 1 (um) quanto os testes 2 (dois) e 3 (três), considerou durante a realização de cada um, um volume inicial total da mistura de 500 mL, sendo, aproximadamente, 125 mL de gasolina uso aeronáutico (100% pura, com 100 octanas e 0,71g/mL), que foram adicionados a 375 mL de água potável, completando o volume total anteriormente informado.

Uma vez coletado os dados iniciais, conforme procedimentos já descritos, foram medidas as seguintes variáveis, a cada minuto, num total mínimo, de 8 minutos por ensaio:

- a) Temperatura (°C) externa da tampa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- b) Temperatura (°C) externa do cabeçote (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- c) Temperatura (°C) externa da cerâmica da vela de ignição (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- d) Temperatura (°C) externa do duto de exaustão – interface cabeçote/duto de exaustão do GEET-Pantone (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser

- marca Fluke -Modelo 59MAX);
- e) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) externa do GEET-Pantone, no ponto médio, e no duto de saída dos gases (termômetro digital Infravermelho com Mira Laser – marca Fluke - Modelo 59MAX);
- f) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) externa da carcaça do alternador, medida nas três estruturas constituintes (termômetro digital infravermelho com mira LASER – marca Fluke - modelo 59MAX), objetivando observar a estabilidade térmica naquele ponto;
- g) Variação dos parâmetros elétricos utilizando, simultaneamente, os instrumentos: Multímetro Digital da Marca Minipa – modelo ET-1100A, Alicates Amperímetro – 266 Clamp Meter e Multímetro Digital com Alicates Amperímetro da marca Worker.

A configuração geral com carga utilizando-se do GEET-Pantone instalado no GMG Toyama - modelo TF1200CXW1, pode ser observado na figura 63.

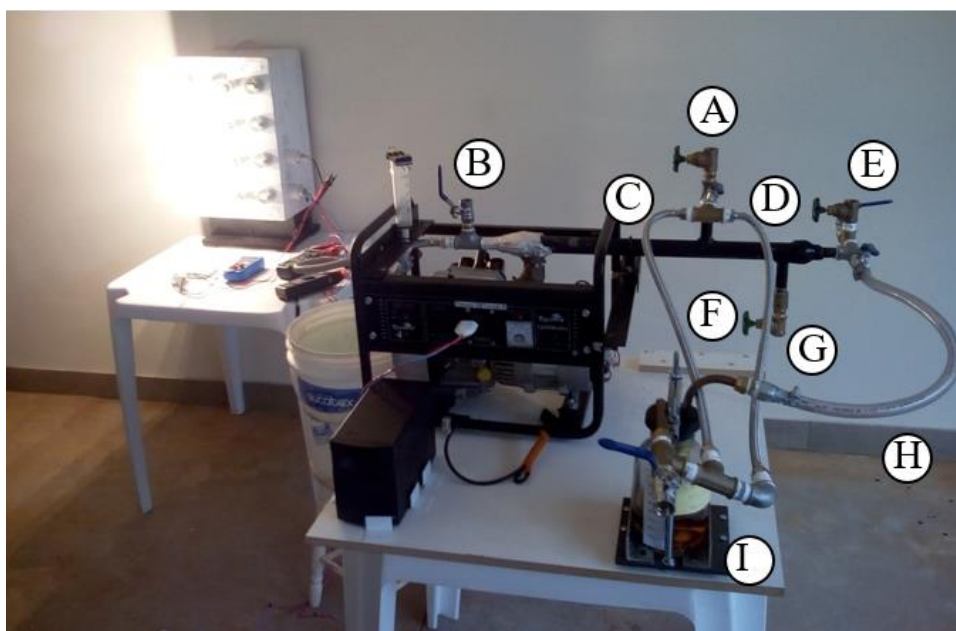


Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 63. Configuração ensaio com carga do GMG – GEET-Pantone.

Nas figuras 64 e 65, estão apresentados o *lay-out* (disposição) e identificação dos

elementos constituintes do GEET-Pantone, caracterizado por válvulas de manobra (registro de $\frac{1}{4}$ de volta) e válvulas de controle (registros de gaveta), além do reservatório / borbulhador e o reservatório do radiador do sistema de resfriamento de admissão, além de alguns dos equipamentos de medição utilizados durante os ensaios, bem como a identificação de cada um. Cabe ressaltar que o anemômetro digital portátil modelo AN-10 - marca ICEL, bem como o tacômetro digital Instrutemp – modelo TTAC – 7200, não foram aplicados no teste, uma vez que os parâmetros de exaustão não são os mesmos do sistema carburado, e a velocidade angular, no que diz respeito à geração de tensão segue uma proporcionalidade construtiva (número de polos) do gerador elétrico, conforme verificado no *Cenário 1*.



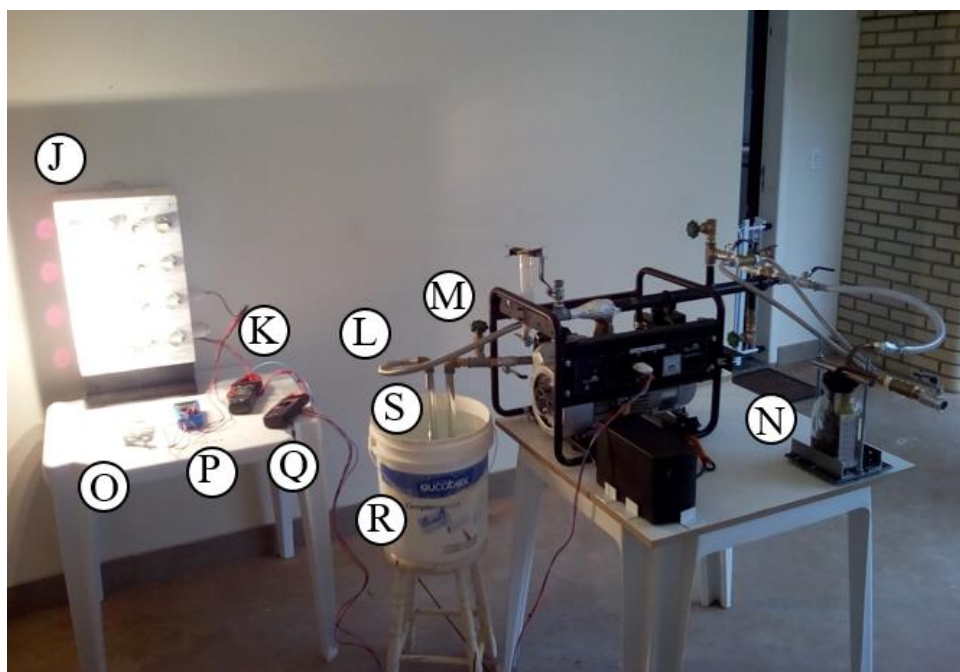
Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 64. Configuração ensaio com carga do GMG – GEET- Pantone – descrição dos componentes.

Sendo que:

- A) Válvula de controle (registro de gaveta de $\frac{1}{2}$ ") para ajuste do volume de gases no reservatório de mistura / borbulhador (duto de escapamento 1);
- B) Válvula de controle (registro de $\frac{1}{4}$ de volta de $\frac{1}{2}$ ") mistura ar / combustível (pós câmara pirólica);
- C) Duto 1 dos gases do escape para o reservatório de mistura / borbulhador (mangueira flexível de $\frac{1}{2}$ " polegada, com malha de inox para água quente);
- D) Duto 2 dos gases do escape para o reservatório de mistura / borbulhador

(mangueira flexível de 1/2" polegada, com malha de inox para água quente);



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 65. Configuração ensaio com carga do GMG – GEET-Pantone descrição complementar de componentes e instrumentos de medição.

- E) Válvula de controle (registro de gaveta de 1/2") da mistura ar / combustível (gás e vapor) proveniente do reservatório de mistura / borbulhador (pré-reator);
- F) Válvula de controle (registro de gaveta de 1/2") do fluxo dos gases do escape (escapamento 2);
- G) Cano rígido de saída do reservatório de mistura / borbulhador (gás e vapor combustível);
- H) Duto flexível (mangueira de pressão flexível – malha de 250 psi por 1/2") interface (G) com (E);
- I) Válvula de manobra (registro de ¼ de volta de 1/2") controle do vácuo no reservatório de mistura / borbulhador;
- J) Giga de teste;
- K) Multímetro Digital com Alicata Amperímetro da marca Worker;
- L) Duto (mangueira flexível de 1/2" polegada, com malha de inox para água quente de 9 mm) admissão combustível / comburente pós válvula (B);

- M) Válvula de controle (registro de gaveta de 1/2") para ajuste fino mistura ar / combustível pós radiador de admissão;
- N) Reservatório de mistura / borbulhador (800 mL);
- O) Termo – higrômetro Incoterm – modelo 7666.02.0.00;
- P) Multímetro Digital da Marca Minipa – modelo ET-1100A;
- Q) Alicates Amperímetro – 266 Clamp Meter;
- R) Reservatório radiador de admissão (balde com capacidade nominal de 18 L);
- S) Radiador (tubulação de 1/2" de alumínio e conexões de latão padrão em sistemas hidráulicos).

3.3 Cálculos

Para melhor entendimento dos valores apresentados, e plotados em seus respectivos gráficos, são apresentadas algumas expressões.

3.3.1 Determinação Energia Consumida na Carga - En_{Cons}

A energia consumida na carga, En_{Con} , pode ser determinada pela expressão 6.

$$En_{Con} = V \times I \times t \quad (6)$$

Em que:

En_{Cons} – energia consumida na carga, Wh

V – tensão gerada, V

I – fluxo de corrente, A

t – tempo, h

3.3.2 Determinação do Poder Calorífico Inferior total – PCI_{total}

O Poder Calorífico Inferior total, PCI_{total} , por sua vez é determinado pela expressão

7.

$$PCI_{total} = (PCI_{combA} \times n_A) + (PCI_{combB} \times n_B) + \dots + (PCI_{combX} \times n_X) \quad (7)$$

Em que:

PCI_{total} – poder calorífico inferior total, Wh/g

PCI_{combX} - poder calorífico específico de um dado combustível, Wh/g

n_X – proporção com que um determinado combustível é acrescido numa mistura de combustíveis, podendo variar de 0 (zero) a 1 (um), adimensional.

3.3.3 Determinação da Energia Teórica do Combustível - En_{TC}

A energia teórica do combustível, En_{TC} , é determinada pela expressão 8.

$$En_{TC} = PCI_{total} \times d \times vol \quad (8)$$

Em que:

En_{TC} - energia teórica do combustível, Wh

PCI_{total} – poder calorífico inferior total, Wh/g

d – densidade, g/cm³

vol – volume, cm³

3.3.5 Determinação da Eficiência do Sistema - Ef

A *Eficiência*, em termos percentuais (%), tanto no Cenário 1, quanto no Cenário 2, foram determinadas pela expressão 9:

$$Ef = \frac{En_{Cons}}{En_{TC}} \times 100\% \quad (9)$$

Em que:

Ef - eficiência, %

En_{Cons} – energia consumida na carga, Wh

En_{TC} – energia teórica do combustível, Wh

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Cenário 1

4.1.1 Ensaio com carburador e GMG a vazio

Este ensaio, caracterizado por um total de 5 (cinco) repetições, aqui denominados de *teste*, seguiu o descrito na metodologia já explicitada anteriormente, e teve como principal objetivo verificar a estabilidade funcional do conjunto GMG, além de verificar a linearidade entre consumo (L/h) de hidrocarboneto (gasolina comum), que configura energia química e o incremento proporcional (ou não) da temperatura (energia térmica) do sistema.

4.1.1.1 Teste 1 - a vazio

Este teste (01/05) teve uma duração de 405 s, e consumiu 60 mL de gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP).

Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 30,37 °C, com os valores médios finais de 69,73 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 129,6%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 50,51 °C, ou seja, um incremento de 66,2% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 42,48% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,553 L/h.

4.1.1.2 Teste 2 - a vazio

Este teste (02/05) teve uma duração de 552 s, e consumiu 60 mL de gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP).

Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 30,47 °C, com os valores médios finais de 71,37 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 134,23%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 50,9 °C, ou seja, um incremento de 67,43% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 44,07% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,391 L/h.

4.1.1.3 Teste 3 - a vazio

Este teste (03/05) teve uma duração de 570 s, e consumiu 60 mL de gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP).

Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 29,23 °C, com os valores médios finais de 58,63 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 100,58%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 43,9 °C, ou seja, um incremento de 53,68% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 29,76% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,379 L/h.

4.1.1.4 Teste 4 - a vazio

Este teste (04/05) teve uma duração de 599 s, e consumiu 60 mL de gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP).

Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 53,8 °C, com os valores médios finais de 69,73 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 29,6%, divergindo acentuadamente em relação aos ensaios anteriores. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 61,8 °C, ou seja, um incremento de 25,87% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 34,46% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo

equivalente a 0,361 L/h.

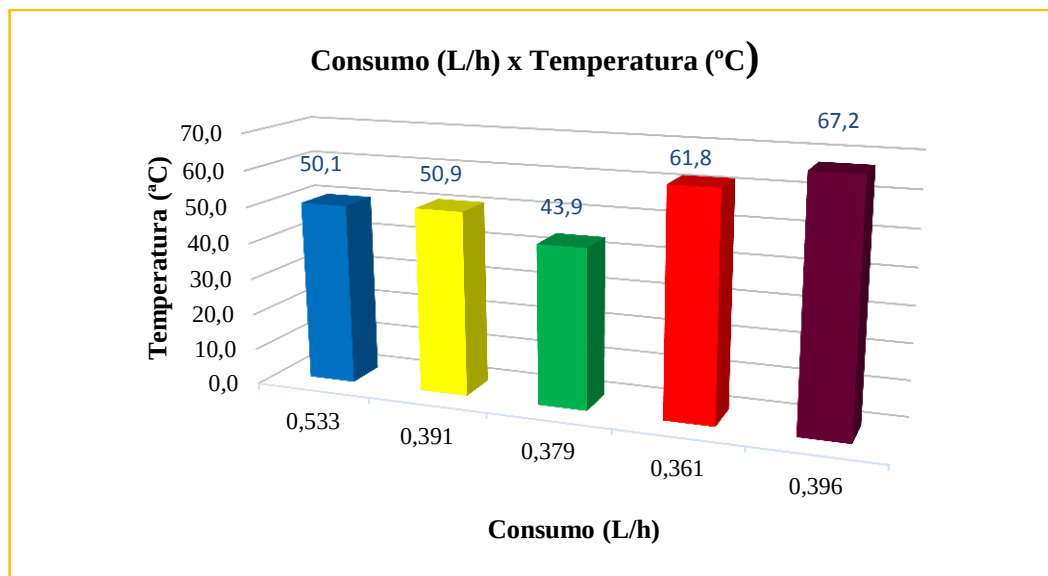
4.1.1.5 Teste 5 - a vazio

Este teste (05/05) teve uma duração de 546 s, e consumiu 60 mL de gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP).

Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 63,63 °C, com os valores médios finais de 70,83 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 11,32%, divergindo acentuadamente em relação aos ensaios anteriores. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 67,20 °C, ou seja, um incremento de 19,36% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 29,49% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,396 L/h.

4.1.1.6 GMG carburado a vazio – consumo (L/h) x temperatura (°C)

A figura 66, referente ao GMG carburado com os 5 (cinco) testes *a vazio*, apresenta a relação do Consumo (L/h) x Temperatura (°C). Ao se observar a figura 66, é possível verificar, pelos valores plotados, que para o GMG considerado nesta modalidade de ensaio (a vazio com o carburador normal), tendo em vista que o volume de combustível consumido foi sempre o mesmo (60 mL), nota-se uma instabilidade ou falta de relação direta entre o consumo de combustível (energia química) e a temperatura média do sistema (energia térmica), pois em um dado momento, a exemplo do teste 3, onde o GMG consumiu 4,99% a mais de combustível em relação ao teste 4, fornecendo ao sistema GMG, somente 71,04% da energia térmica fornecida quando da realização do teste 4. Tendo em vista se tratar do mesmo lote de combustível aplicado nos 5 (cinco) testes, é possível inferir que o carburador não apresenta uma regularidade quanto do fornecimento do combustível ou, o GMG, ainda está com problemas, mesmo após as correções mecânica e elétrica realizadas.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 66. GMG carburado com testes *a vazio* - Consumo (L/h) x Temperatura (°C).

4.1.2 Ensaio com carburador e GMG com carga

Este ensaio se caracterizou pela utilização do GMG equipado com o carburador original. Todavia, em cada teste, num total de 4 (quatro), foi utilizado uma carga resistiva ($f_p = 1$) com valor nominal diferente, conforme explicitado na metodologia para este ensaio.

4.1.2.1 Teste 1 – com carga

Este teste (01/04) teve uma duração de 504 s, e consumiu 60 mL de gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP), alimentando 1 (uma) carga nominal ($f_p = 1$) de 70W/127.

Os valores médios de tensão e corrente, 115 Vca e 0,4 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,0046 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 40,93 °C, com os valores médios finais de 73,03 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 78,43%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 58,50 °C, ou seja, um incremento de 45,89%

em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 39,75% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,429 L/h.

4.1.2.2 Teste 2 – com carga

Este teste (02/04) teve uma duração de 478 s, e consumiu 60 mL de gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP), alimentando 2 (duas) cargas nominais ($f = 1$) de 70W/127.

Os valores médios de tensão e corrente, 115 Vca e 1,0 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,115 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 54,77 °C, com os valores médios finais de 67,13 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 22,57%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo teste, foi de 61,0 °C, ou seja, um incremento de 27,35% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 32,30% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,452 L/h.

4.1.2.3 Teste 3 – com carga

Este teste (03/04) teve uma duração de 487 s, e consumiu 60 mL de gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP), alimentando 3 (três) cargas nominais ($f = 1$) de 70W/127.

Os valores médios de tensão e corrente, 115 Vca e 1,5 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,173 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 49,33 °C, com os valores médios finais de 68,27 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 38,39%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo teste, foi de 58,9 °C, ou seja, um incremento de 31,77% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 38,71% em relação à maior

temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,444 L/h.

4.1.2.4 Teste 4 – com carga

Este teste (04/04) teve uma duração de 327 s, e consumiu 60 mL de gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP), alimentando 8 (oito) cargas nominais ($f = 1$) de 70W/127.

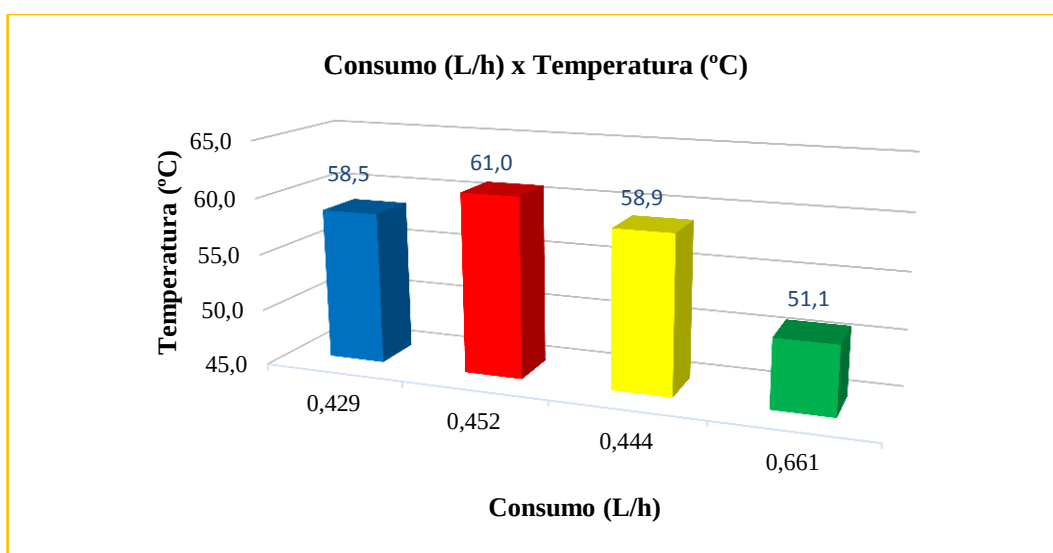
Os valores médios de tensão e corrente, 115,5 Vca e 4,2 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,479 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 28,9 °C, com os valores médios finais de 73,23 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 153,39%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo teste, foi de 51,1 °C, ou seja, um incremento de 77,43% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 47,28% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,661 L/h.

4.1.2.5 GMG carburado com carga – consumo (L/h) x temperatura (°C)

A figura 67, referente ao GMG carburado com os 4 (quatro) testes, cada um com suas respectivas cargas nominais e potências geradas, apresenta a relação do Consumo (L/h) x Temperatura (°C).

Considerando que os testes que dizem respeito à figura 67, se caracterizaram por variações das cargas alimentadas, nominalmente, 70W/127Vca, 140W/127Vca, 210W/127Vca e 560W/127Vca, respectivamente, e, tendo em vista que em todos os testes, foi utilizado gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP) e o mesmo volume (60 mL), é possível inferir que, quando comparado com os testes a *vazio*, observa-se uma maior estabilidade, proporcional da temperatura. No teste 4, o consumo de combustível, aumentou 48,87% em relação ao consumo evidenciado no teste 3. Todavia, no teste 4, houve um aumento de 700% no valor da carga alimentada, em relação ao ensaio 3. Como era de se

esperar, como o consumo (L/h) foi maior no teste 4 do que no teste 3, e a considerar que os volumes fornecidos, eram o mesmo para todos os testes, conforme já explicitado, o teste 4 demorou menos tempo que o teste 3. Todavia, o que se pode dizer é que a energia química da gasolina neste teste (4) foi convertida em trabalho e energia térmica mais rápido no que no teste 3, devido à necessidade de suprir a maior carga demandada. Logo, ao se analisar os demais testes, observa-se uma variação térmica entre a menor temperatura (teste 4) e a maior temperatura (teste 2), de 19,6%. Com valor médio global de temperatura de 57,38 °C. Tal valor expressa um incremento de 12,29% na menor temperatura mensurada e uma redução de 5,93 na maior temperatura mensurada.



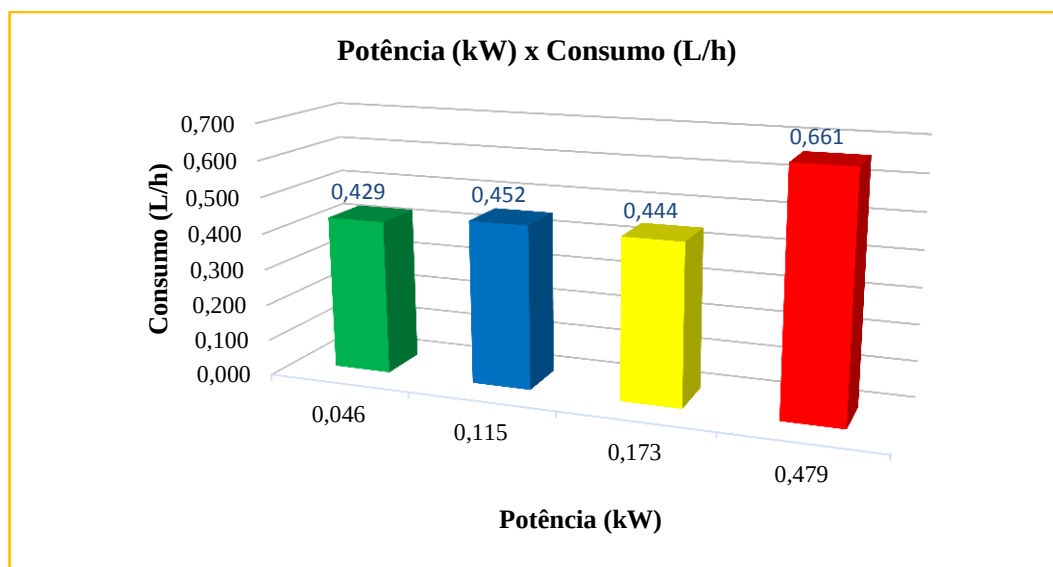
Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 67. GMG carburado com testes *com carga* - Consumo (L/h) x Temperatura (°C).

4.1.2.6 GMG carburado com carga – potência (kW) x consumo (L/h)

Na figura 68, está plotado a relação da Potência (kW) com o Consumo (L/h), para os 4 (quatro) testes com 70W/127Vca, 140W/127Vca, 210W/127Vca e 560W/127Vca, respectivamente, sendo que em todos os testes, foi utilizado gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP) e o mesmo volume (60 mL). Nesta figura (Figura 68), ao se observar as relações de grandezas plotadas, ficou claro que para uma maior potência fornecida existe uma relação direta no aumento do consumo de combustível demandado. Entretanto,

comparando o teste 3 com o teste 4, o teste 2 com o teste 3 e o teste 1 com o teste 2, verifica-se de maneira contundente, que para cargas menores, o consumo de combustível é maior. Para evidenciar, o teste 3, consome, proporcionalmente, 86,23% à mais de combustível para gerar o mesmo kW que o teste 4.



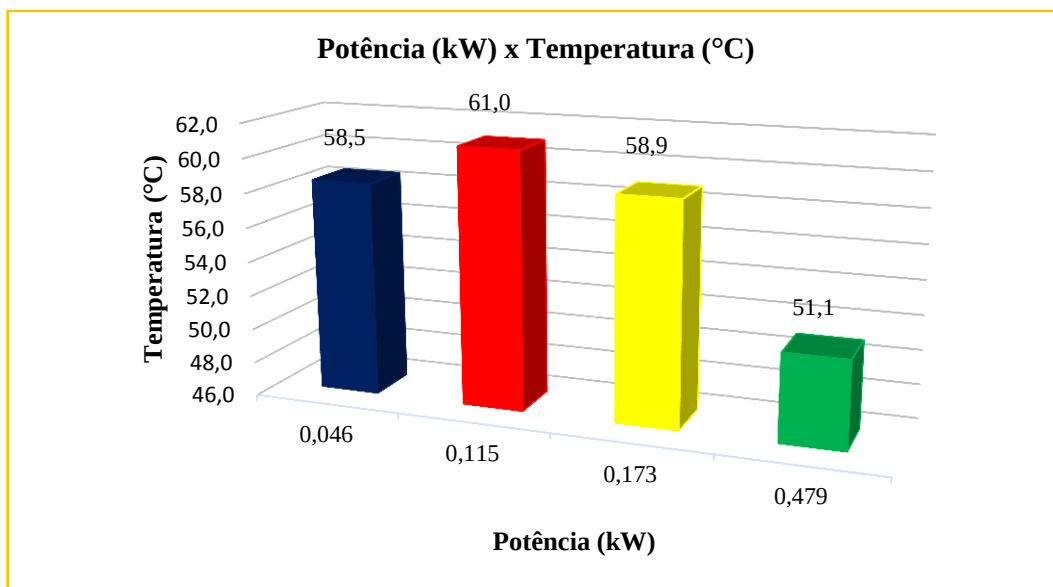
Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 68. GMG carburado com testes *com carga* – Potência (kW) x Consumo (L/h).

4.1.2.7 GMG carburado com carga – potência (kW) x temperatura (°C)

Ao se evidenciar a figura 69, verifica-se que o que se está plotado é a relação da Potência (kW) com a Temperatura (°C), para os 4 (quatro) testes, com as cargas de 70W/127Vca, 140W/127Vca, 210W/127Vca e 560W/127Vca, respectivamente, sendo que em todos os testes, foi utilizado gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP) e o mesmo volume (60 mL). Ao se analisar as relações plotadas na figura 69, não fica evidente uma relação direta entre a potência (kW) e a temperatura (°C), uma vez que se comparar os testes 1 e 2 (Figura 69), observa-se uma tendência ao incremento da temperatura (°C) em função do incremento da potência (kW). Todavia, ao se analisar os testes 2, 3 e 4, e as relações das grandezas consideradas, associadas aos mesmos, observa-se uma tendência de se diminuir a temperatura (°C) com o aumento da potência (kW) demandada. O que se pode inferir é que nos testes 3 a 4, pode estar ocorrendo uma melhor conversão ou aproveitamento

global da energia química do volume da gasolina fornecida em função do incremento das cargas consideradas, com maior conversão em potência elétrica e menor perda de energia na forma de energia térmica.

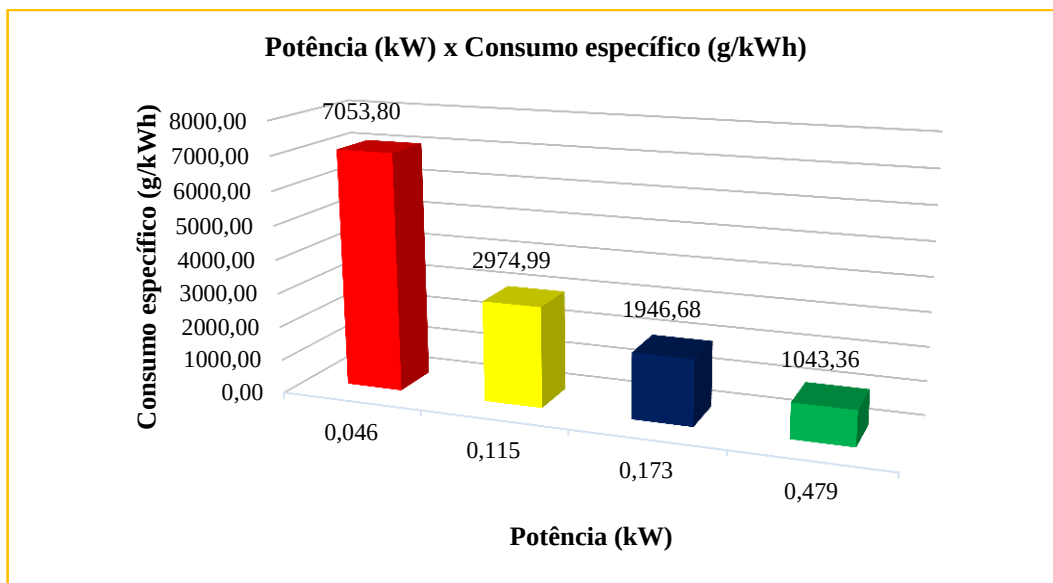


Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 69. GMG carburado com testes *com carga* – Potência (kW) x Temperatura (°C).

4.1.2.8 GMG carburado com carga – potência (kW) x consumo específico (g/kWh)

A figura 70, diz respeito às relações de Potência (kW) com o Consumo específico (g/kWh), para os 4 (quatro) ensaios, com as cargas nominais de 70W/127Vca, 140W/127Vca, 210W/127Vca e 560W/127Vca, respectivamente, utilizando como combustível (em todos os testes) gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP) e o mesmo volume (60 mL). Tendo em vista que o consumo específico (g/kWh) diz respeito ao quão eficientemente um motor está transformando combustível em trabalho, pode-se inferir, de maneira objetiva, que o teste 4 é o mais eficiente em termos de conversão de combustível em potência elétrica útil, para as cargas consideradas nos respectivos testes, e, em contrapartida, o teste 1, é o que apresenta a menor eficiência para os testes realizados.



Fonte: (O Autor, 2016)

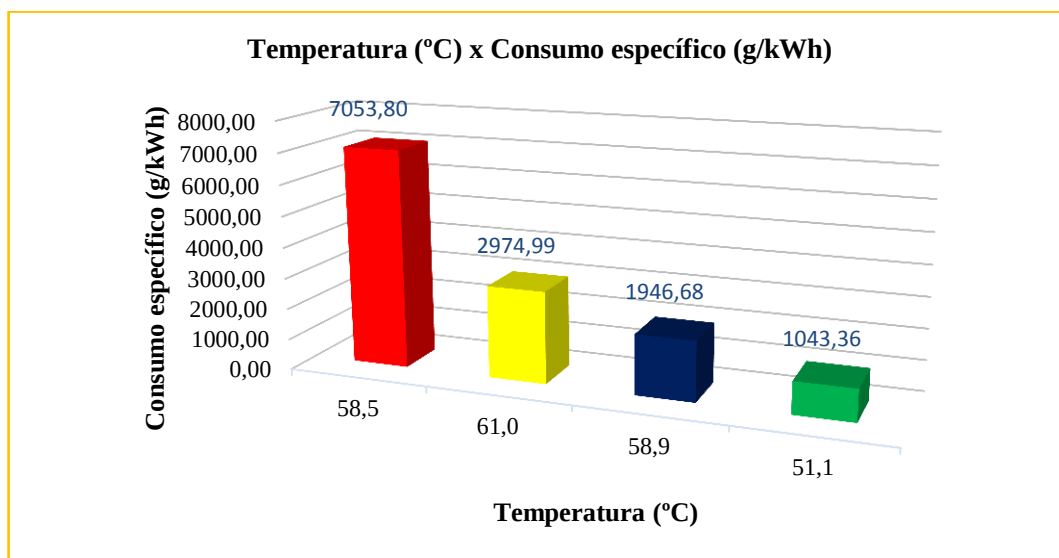
Figura 70. GMG carburado com testes *com carga* – Potência (kW) x Consumo específico (g/kWh).

4.1.2.9 GMG carburado com carga – temperatura (°C) x consumo específico (g/kWh)

A figura 71, diz respeito às relações da Temperatura (kW) com o Consumo específico (g/kWh), para os 4 (quatro) testes, com as cargas nominais de 70W/127Vca, 140W/127Vca, 210W/127Vca e 560W/127Vca, respectivamente, utilizando como combustível (em todos os testes) gasolina comum (73% gasolina e 27% de álcool anidro – ANP) e o mesmo volume (60 mL).

Não sendo muito diferente do evidenciado na figura anterior (Figura 70), a figura 71 deixa claro que o teste 4, também é o mais eficiente em termos de conversão de combustível em temperatura (°C), para as cargas consideradas nos respectivos ensaios. Fica evidenciado, conforme já discutido anteriormente (Figura 70), que pode estar ocorrendo uma melhor conversão ou aproveitamento global da energia química do volume da gasolina fornecida em função do incremento das cargas consideradas, com maior conversão em potência elétrica e menor perda de energia na forma de energia térmica, o que justifica o plotado no Figura. Nesta mesma linha, percebe-se, em contrapartida, que com base nas mesmas observações, o teste 1, é o menos eficiente. Logo, é possível inferir, nesta situação, que para um mesmo GMG, para se obter um melhor rendimento de potência com um menor consumo

proporcional, é interessante trabalhar com cargas maiores, claro, respeitando-se os limites reais de trabalho do mesmo (GMG).



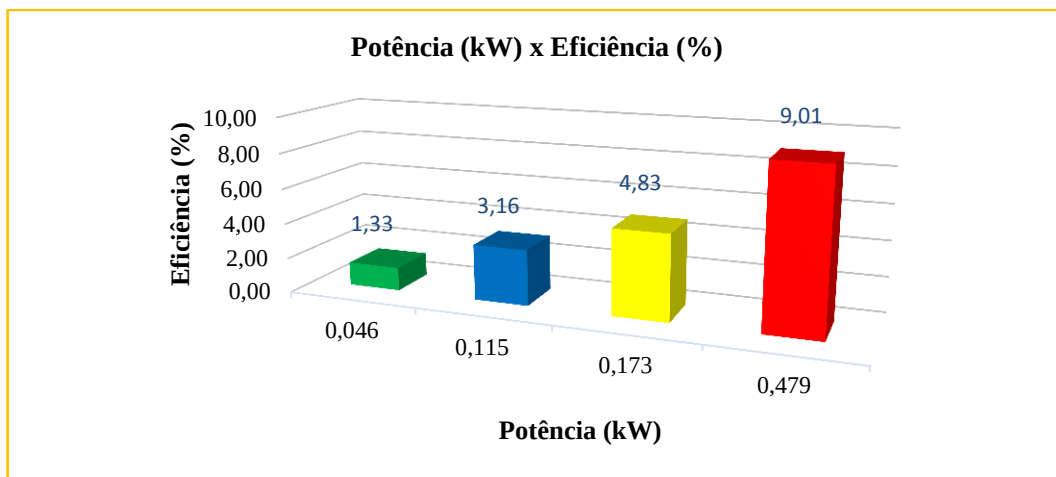
Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 71. GMG carburado com testes *com carga* – Temperatura (°C) x Consumo específico (g/kWh).

4.1.2.10 GMG carburado com carga – potência (kW) x eficiência (%)

A figura 72, referente ao GMG carburado com os 4 (quatro) testes, cada um com suas respectivas cargas nominais e potências geradas, apresenta a relação da Potência (kW) x Eficiência (%).

Com base nas relações plotadas, referentes aos testes considerados, fica evidenciado que o teste 4 é o que apresenta uma melhor eficiência (%) em relação à potência (kW) gerada. Já, por sua vez, o teste 1, é o que apresenta a menor eficiência (%) em relação à potência (kW) gerada, sendo que os demais testes (2 e 3), apresentam uma proporcionalidade em termos dos parâmetros analisados. Logo, pode-se deduzir que o GMG, com base no resultado destes testes, apresentará um maior rendimento (%) para um maior valor de potência (kW) demandada.



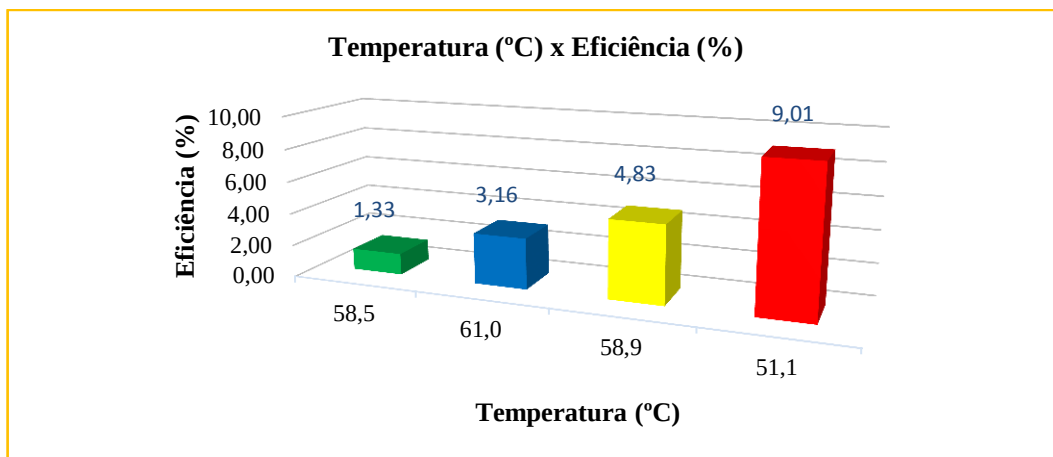
Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 72. GMG carburado com testes *com carga* – Potência (kW) x Eficiência (%).

4.1.2.11 GMG carburado com carga – temperatura (°C) x eficiência (%)

A figura 73, referente ao GMG carburado com os 4 (quatro) testes, cada um com suas respectivas cargas nominais e potências geradas, apresenta a relação da Temperatura (°C) x Eficiência (%).

Tendo em vista os valores plotados, observa-se que o teste 4, apresentou a melhor eficiência (%) com o menor valor de temperatura (°C) mensurado. Contrapondo este resultado, o teste 1, foi o que apresentou a pior relação de eficiência (%) em relação à temperatura medida. Entretanto, este mesmo teste (1), apresenta uma pequena divergência quantitativa em termos de temperatura, ou seja, 2,5 °C a menos que o valor do teste 2 (aproximadamente, 4,1%). Ainda assim, pode-se dizer, que na média, para valores menores de temperatura, a eficiência (%) é maior o que evidencia, mais uma vez, o discutido anteriormente em termos de um melhor aproveitamento energético do combustível para valores de potência demandadas maiores.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 73. GMG carburado com testes *com carga* – Temperatura (°C) x Eficiência (%).

4.2 Cenário 2

4.2.1 Ensaio com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50

Este ensaio se caracterizou pela utilização do GMG equipado com o GEET-Pantone construído pelo autor, cujas especificações estão em conformidade com o descrito em 2.8.2. Em todos os 4 (quatro) testes que configuraram o respectivo ensaio, foram utilizadas cargas resistivas ($f_p = 1$) com valor nominal, igual a $8 \times 70W/127Vca$, totalizando uma carga de $560W/127Vca$, além dos volumes das misturas, mantendo rigorosamente as proporcionalidades dos elementos da mistura – 50% de gasolina pura e 50% de água potável (água tratada pela companhia de saneamento do município de Cascavel, Paraná), conforme explicitado na metodologia para este ensaio.

4.2.1.1 Teste 1 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50

Este teste (01/04) teve uma duração de 856 s, e consumiu 118,63 mL de gasolina pura, uma vez que os 231 mL iniciais de gasolina comum, possui 73% gasolina pura, o que neste caso correspondeu a 168,63 mL, e 27% de álcool anidro – ANP, o que neste caso

correspondeu a 62,37 mL, adicionados a 169 mL de água - mistura de 50% de gasolina e 50% de água (volume inicial total de 400 mL), com um valor residual, pós-ensaio, de gasolina pura (imiscível) de 50 mL e água potável mais álcool anidro de 205 mL, configurando um volume total residual de 255 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 82,2 Vca e 3,2 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,265 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 29,37 °C, com os valores médios finais de 62,33 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 112,22%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 45,9 °C, ou seja, um incremento de 58,28% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 29,71% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,499 L/h de gasolina pura (isenta de álcool).

4.2.1.2 Teste 2 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50

Este teste (02/04) teve uma duração de 347 s, e consumiu 103,63 mL de gasolina pura, uma vez que os 231 mL iniciais de gasolina comum, possui 73% gasolina pura, o que neste caso correspondeu a 168,63 mL, e 27% de álcool anidro – ANP, o que neste caso correspondeu a 62,37 mL, adicionados a 169 mL de água - mistura de 50% de gasolina e 50% de água (volume inicial total de 400 mL), com um valor residual, pós-ensaio, de gasolina pura (imiscível) de 65 mL e água potável mais álcool anidro de 220 mL, configurando um volume total residual de 285 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 78,0 Vca e 3,40 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,262 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 30,47 °C, com os valores médios finais de 79,47 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 160,81%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 55,0 °C, ou seja, um incremento de 81,52% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 36,49% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 1,075 L/h de gasolina pura (isenta de álcool).

4.2.1.3 Teste 3 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50

Este teste (03/04) teve uma duração de 358 s, e consumiu 88,63 mL de gasolina pura, uma vez que os 231 mL iniciais de gasolina comum, possui 73% gasolina pura, o que neste caso correspondeu a 168,63 mL, e 27% de álcool anidro – ANP, o que neste caso correspondeu a 62,37 mL, adicionados a 169 mL de água - mistura de 50% de gasolina e 50% de água (volume inicial total de 400 mL), com um valor residual, pós-ensaio, de gasolina pura (imiscível) de 80 mL e água potável mais álcool anidro de 225 mL, configurando um volume total residual de 305 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 120,0 Vca e 4,10 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,492 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 21,60 °C, com os valores médios finais de 59,37 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 174,86%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 40,5 °C, ou seja, um incremento de 89,25% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 35,09% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,891 L/h de gasolina pura (isenta de álcool).

4.2.1.4 Teste 4 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50

Este teste (04/04) teve uma duração de 575 s, e consumiu 105,97 mL de gasolina pura, uma vez que os 289 mL iniciais de gasolina comum, possui 73% gasolina pura, o que neste caso correspondeu a 210,97 mL, e 27% de álcool anidro – ANP, o que neste caso correspondeu a 78,03 mL, adicionados a 211 mL de água - mistura de 50% de gasolina e 50% de água (volume inicial total de 500 mL), com um valor residual, pós-ensaio, de gasolina pura (imiscível) de 105 mL e água potável mais álcool anidro de 285 mL, configurando um volume total residual de 390 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 103,0 Vca e 3,63 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,374 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 27,47 °C, com os valores médios finais de 79,67 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 190,03%.

Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 53,6 °C, ou seja, um incremento de 103,03% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 40,97% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,663 L/h de gasolina pura (isenta de álcool).

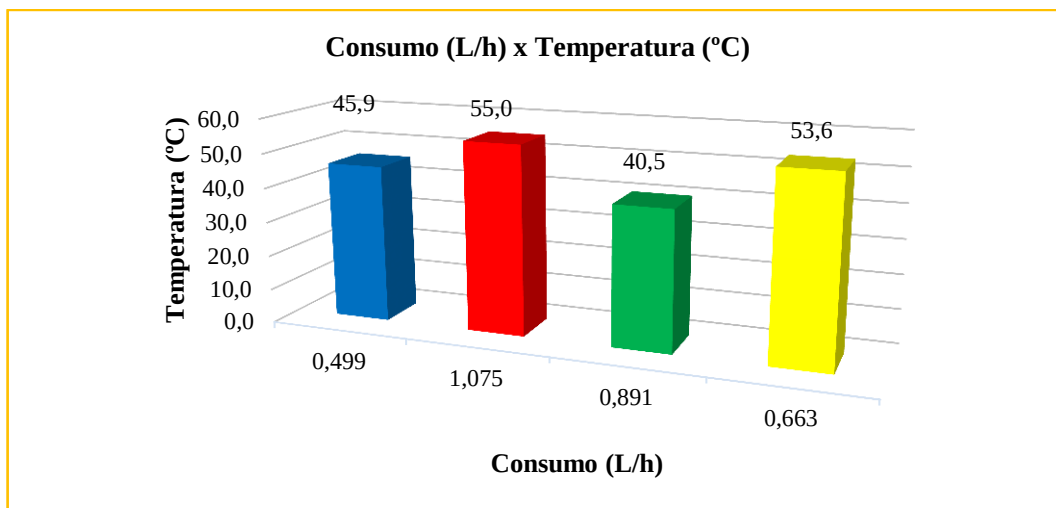
4.2.1.5 GMG com GEET-Pantone com carga – 50/50 - consumo (L/h) x temperatura (°C)

A figura 74, referente ao GMG com GEET-Pantone com carga – e proporção 50/50 com os 4 (quatro) testes, todos realizados com a mesma carga nominal (8 x 70W/127Vca) e potências geradas, apresenta a relação do Consumo (L/h) x Temperatura (°C).

Os mesmos (testes 1 a 4) se caracterizaram pela *não* variação das cargas alimentadas, num total de 560W/127Vca, nominais. Entretanto, nos ensaios de 1 a 3, foi utilizado 231 mL iniciais de gasolina comum, que possui 73% gasolina pura (ANP), o que neste caso correspondeu a 168,63 mL, e 27% de álcool anidro (ANP), o que neste caso correspondeu a 62,37 mL, adicionados a 169 mL de água - mistura de 50% de gasolina e 50% de água (volume inicial total de 400 mL). Já para o teste 4, foi utilizado 289 mL iniciais de gasolina comum, que possui 73% gasolina pura (ANP), o que neste caso correspondeu a 210,97 mL, e 27% de álcool anidro (ANP,) o que neste caso correspondeu a 78,03 mL, adicionados a 211 mL de água - mistura de 50% de gasolina e 50% de água (volume inicial total de 500 mL).

O teste 1, por exemplo, apresentou o menor consumo, para um mesmo valor de carga alimentada nos demais ensaios, todavia, apresentou uma temperatura superior ao teste 2, que apesar de consumir, 115,43% a mais de combustível, para o mesmo valor de carga, teve sua temperatura acrescida em apenas 19,83%. Por sua vez, o teste 4, é o que apresentou a segunda maior relação da temperatura pelo consumo, perdendo apenas para o teste 1, que é 13,79% maior que o ensaio 4.

Finalmente, ao se comparar as relações entre o consumo (L/h) e temperatura (°C), não se evidenciou uma relação efetivamente direta em termos da evolução de um parâmetro relacionado com outro, apesar de se verificar uma tendência inicial à diminuição da temperatura com o aumento do consumo.



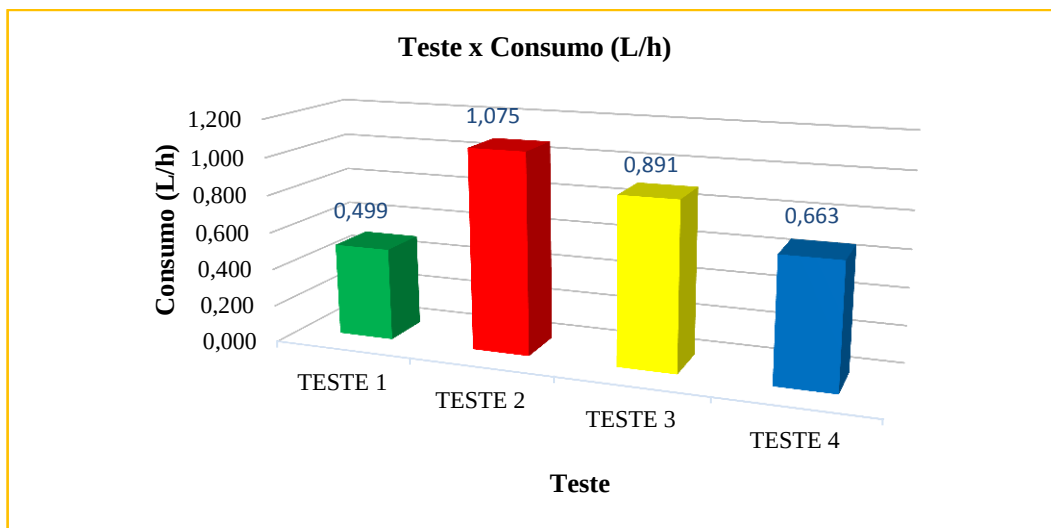
Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 74. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50 – Consumo (L/h) x Temperatura (°C).

4.2.1.6 GMG com GEET-Pantone com carga – 50/50 – Teste x consumo (L/h)

A figura 75, referente ao GMG com GEET-Pantone com carga – e proporção 50/50 com os 4 (quatro) testes, todos realizados com a mesma carga nominal (8 x 70W/127Vca) e potências geradas, apresenta a relação do Teste x Consumo (L/h). Optou-se por chamar de TESTE, o eixo das abscissas, em função de que os parâmetros de comparação, a partir destes ensaios, estão sempre referenciados à um mesmo valor de potência nominal. Ainda, como o que varia são os parâmetros de consumo (L/h), temperatura (°C), consumo específico (g/kWh) e eficiência (%), os mesmos serão comparados em termos dos *testes*.

Tendo em vista que a potência nominal é a mesma, então ao se analisar os valores de consumo (L/h) plotados no Figura de referência (Figura 75), é possível concluir que o Teste 2 é o que apresentou o maior consumo (L/h) para um mesmo valor de carga nominal. Por sua vez, o Teste 1, foi o que apresentou o menor consumo evidenciado. Na média, o consumo foi de 0,782 L/h de gasolina pura. Os testes 3 e 4, foram os que mais se aproximaram da média, ficando o teste 3, aproximadamente, 13,23% acima da média e o teste 4, correspondendo a 84,78% da própria média.



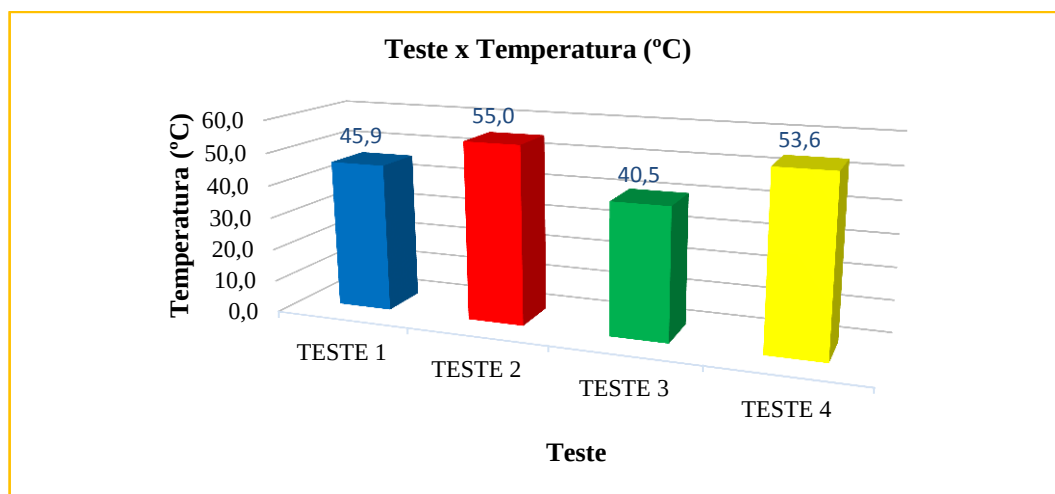
Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 75. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50 – Teste x Consumo (L/h).

4.2.1.7 GMG com GEET-Pantone com carga – 50/50 – Teste x Temperatura (°C)

A figura 76, referente ao GMG com GEET-Pantone com carga – e proporção 50/50 com os 4 (quatro) testes, todos realizados com a mesma carga nominal (8 x 70W/127Vca) e potências geradas, apresenta a relação do Teste x Temperatura (°C).

Ao se verificar a figura 76, é possível identificar que o teste 2 é o que apresentou a maior temperatura (°C), correspondendo, ao maior consumo evidenciado dos testes (1,075 L/h) para o mesmo valor nominal de carga. Entretanto, o teste que apresentou o menor valor de temperatura, foi o teste 3, não correspondendo, neste caso, ao menor valor de consumo de combustível, que correspondeu ao teste 1 (0,499 L/h). Finalmente, a partir da figura em questão, a considerar que em todos os casos, as cargas nominais são sempre as mesmas, não é possível deduzir, sobre a tendência do comportamento da temperatura (°C) em relação às potências, tendo em vista o resultado dos testes.

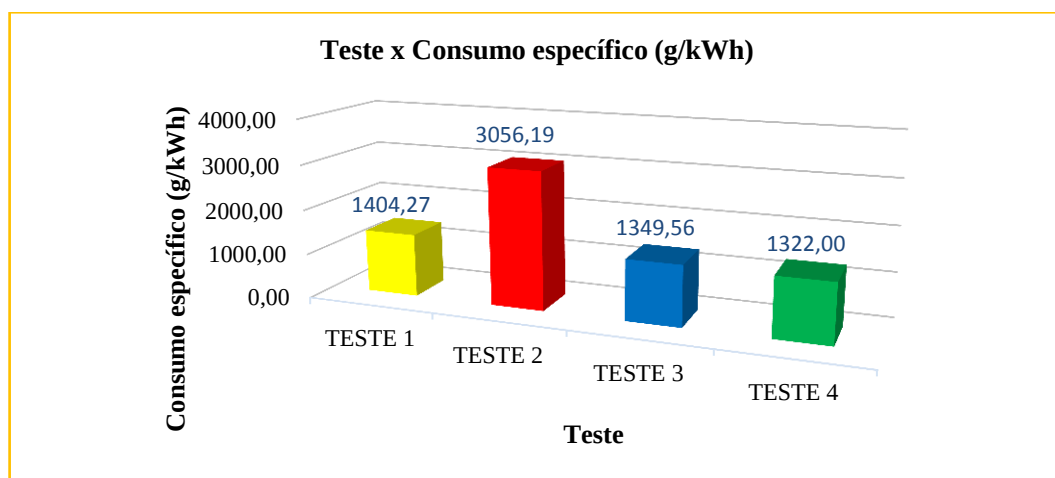


Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 76. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50 – Teste x Temperatura (°C).

4.2.1.8 GMG com GEET-Pantone com carga – 50/50 – Teste x Consumo específico (g/kWh)

Tendo em vista os dados plotados na figura 77, como, novamente, o consumo específico (g/kWh) diz respeito ao quão eficientemente um motor está transformando combustível em trabalho, pode-se deduzir que o teste 2 é o menos eficiente, com 3056,19 g/kWh.



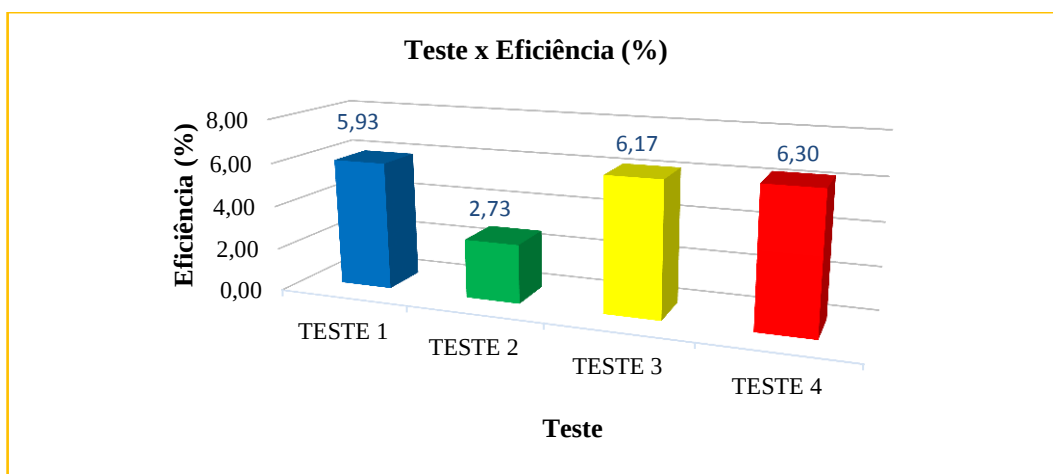
Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 77. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50 – Teste x Consumo específico (g/kWh).

Contrapondo, este teste, tem-se o teste 4, com consumo específico de 1322,00 g/kWh, o que está correto, pois como as cargas nominais são as mesmas, o teste 2, ratificando, é o que teve maior consumo, com 1,075 L/h, e o teste 4, por sua vez, é o que teve menor consumo, com 0,663 L/h.

4.2.1.9 GMG com GEET-Pantone com carga – 50/50 – Teste x Eficiência (%)

Os valores plotados na figura 78, evidenciam que o teste 4, é o mais eficiente, com eficiência igual 6,3%, considerando os mesmos valores nominais para a carga. Pode-se observar, também, que o teste 2 é o menos eficiente, com apenas, 2,73% de eficiência. Tais situações estão coerentes haja visto o consumo de combustível tanto no caso do teste 4 (0,663 L/h), o menor consumo, quanto o consumo no caso do teste 2 (1,075 L/h), o maior consumo mensurado.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 78. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 50/50 – Teste x Eficiência (%).

4.2.2 Ensaio com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75

Este ensaio teve como característica, a aplicação do GMG equipado com o GEET-Pantone construído pelo autor, cujas especificações estão em conformidade com o descrito em 2.8.2. Nos 2 (dois) testes que configuraram o respectivo ensaio, as cargas presentes nos

mesmos, foram resistivas ($f_p = 1$) com valor nominal, igual a $8 \times 70W/127V_{ca}$, totalizando uma carga de $560W/127V_{ca}$. Os volumes das misturas mantiveram, rigorosamente, as proporcionalidades dos elementos formadores da mesma – 25% de gasolina pura e 75% de água potável (água tratada pela companhia de saneamento do município de Cascavel, Paraná), conforme explicitado na metodologia para este ensaio.

4.2.2.1 Teste 1 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75

Este teste (01/02) teve uma duração de 241 s, e consumiu 9,61 mL de gasolina pura, uma vez que os 157 mL iniciais de gasolina comum, possui 73% gasolina pura, o que neste caso correspondeu a 114,61 mL, e 27% de álcool anidro – ANP, o que neste caso correspondeu a 42,39 mL, adicionados a 343 mL de água - mistura de 25% de gasolina pura e 75% de água (volume inicial total de 500 mL), com um valor residual, pós-ensaio, de gasolina pura (imiscível) de 105 mL e água potável mais álcool anidro de 325 mL, configurando um volume total residual de 430 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 108,2 V_{ca} e 3,9 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,421 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 24,67 °C, com os valores médios finais de 71,33 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 189,14%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 48,0 °C, ou seja, um incremento de 95,92% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 37,17% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,144 L/h de gasolina pura (isenta de álcool).

4.2.2.2 Teste 2 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75

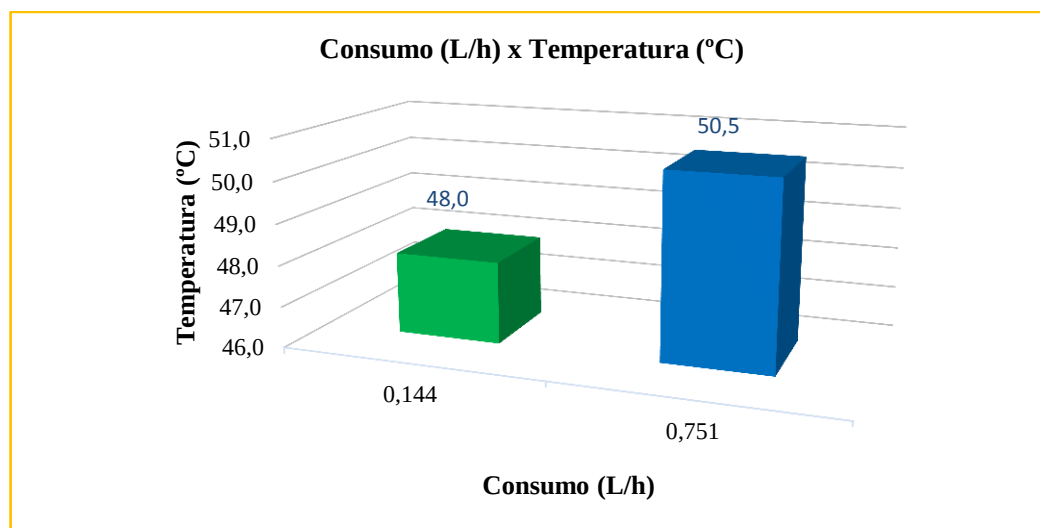
Este teste (02/02) teve uma duração de 190 s, e consumiu 39,61 mL de gasolina pura, uma vez que os 157 mL iniciais de gasolina comum, possui 73% gasolina pura, o que neste caso correspondeu a 114,61 mL, e 27% de álcool anidro – ANP, o que neste caso correspondeu a 42,39 mL, adicionados a 343 mL de água - mistura de 25% de gasolina pura e

75% de água (volume inicial total de 500 mL), com um valor residual, pós-ensaio, de gasolina pura (imiscível) de 75 mL e água potável mais álcool anidro de 375 mL, configurando um volume total residual de 450 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 130,0 Vca e 4,4 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,566 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 32,07 °C, com os valores médios finais de 68,93 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 112,72%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 50,5 °C, ou seja, um incremento de 103,63% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 30,44% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,751 L/h de gasolina pura (isenta de álcool).

4.2.2.3 GMG com GEET-Pantone com carga – 25/75 – Consumo (L/h) x Temperatura (°C)

A figura 79 apresenta a relação dos dois ensaios 25/75, e pode ser observado que o ensaio evidenciado pelo maior consumo (L/h), nesta proporção de mistura, é o que apresenta o maior valor de temperatura (°C). Todavia, cabe ressaltar que o ensaio, parece indicar que o motor caminha para uma curva de estabilidade térmica, que é o que se deseja, haja visto que a diferença percentual de temperatura é de apenas de 5,42% de acréscimo para o ensaio 2, muito diferente da diferença percentual em termos de consumo, que atinge os 421,53%.



Fonte: (O Autor, 2016)

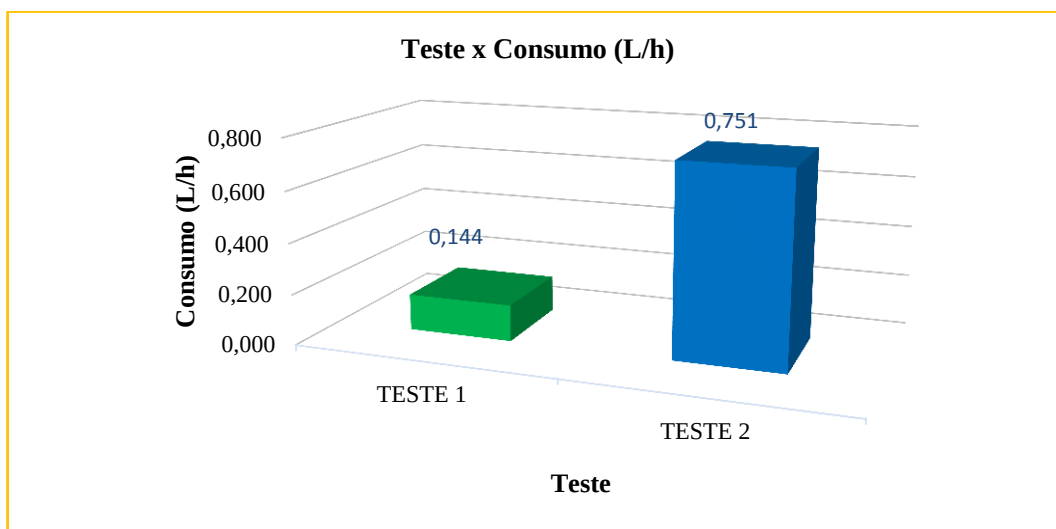
Figura 79. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75 – Consumo (L/h) x Temperatura (°C).

4.2.2.4 GMG com GEET-Pantone com carga – 25/75 – Teste x Consumo (L/h)

A figura 80, referente ao GMG com GEET-Pantone com carga – e proporção de mistura 25/75 com os 2 (dois) ensaios, todos realizados com a mesma carga nominal (8 x 70W/127Vca) e potências geradas, apresenta a relação do Teste x Consumo (L/h). Optou-se por chamar de TESTE, o eixo das abscissas, em função de que os parâmetros de comparação, a partir destes ensaios, estão sempre referenciados à um mesmo valor de potência nominal. Ainda, como o que varia são os parâmetros de consumo (L/h), temperatura (°C), consumo específico (g/kWh) e eficiência (%). Logo, os mesmos serão comparados em termos dos *testes*.

Ao analisar a figura 80, o teste 1, apresentou um menor consumo proporcional (0,144 L/h), porém ao se verificar o descrito no item 4.2.2.1, a diferença *mistura final* para a *inicial*, estão *consumidos* 60,39 mL da mistura, não se determinando o motivo de sua extinção. Nesta situação, se poderia inferir que, descartando a possibilidade de erro na determinação dos parâmetros iniciais de temperatura e das proporcionalidades da mistura, bem como a realização das medições dentro dos pressupostos de rigor mínimos aceitáveis e erros de instrumentos dentro de limites usuais para este tipo de ensaio/medição, o reator GEET-Pantone, conseguiu converter parte do volume inicial de água em um equivalente de combustível, ou simplesmente, permitiu a entrada de água atomizada na câmara de combustão

aumentando a eficiência do sistema pelo aumento da taxa de compressão e possível (mínimo) resfriamento da câmara de combustão.

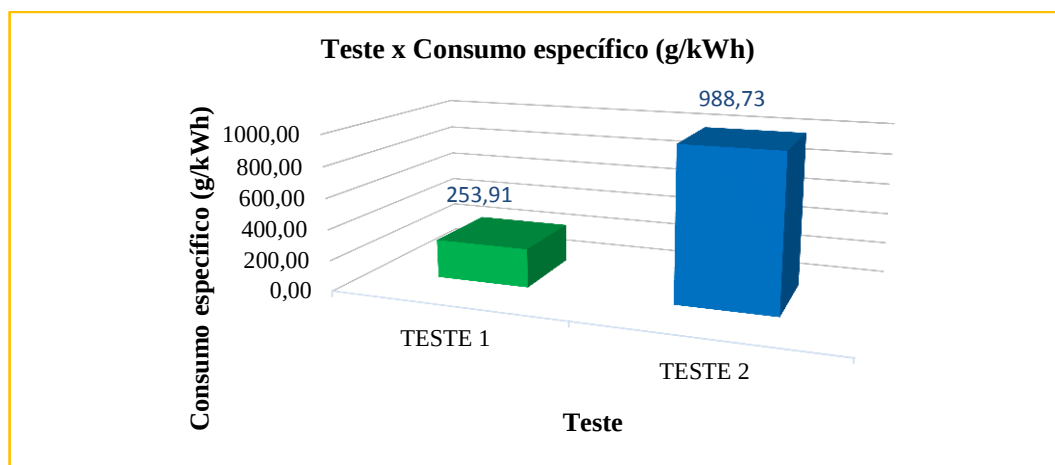


Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 80. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75 – Teste x Consumo (L/h).

4.2.2.5 GMG com GEET-Pantone com carga – 25/75 – Teste x Consumo específico (g/kWh)

Os dados plotados na figura 81, indica qual dos testes tem um menor valor em termos de consumo específico (g/kWh), ratificando que, o consumo específico (g/kWh) diz respeito ao quão eficientemente um motor está transformando combustível em trabalho. Logo, pode-se induzir que, o teste 2 é o menos eficiente, com 988,73 g/kWh. Contrapondo, este teste, tem-se o teste 1, com um consumo específico de 253,91 g/kWh, o que está correto, pois como as cargas nominais são as mesmas, o teste 2, ratificando, é o que teve maior consumo, com 0,751 L/h, e o teste 1, por sua vez, teve menor consumo, com 0,144 L/h.

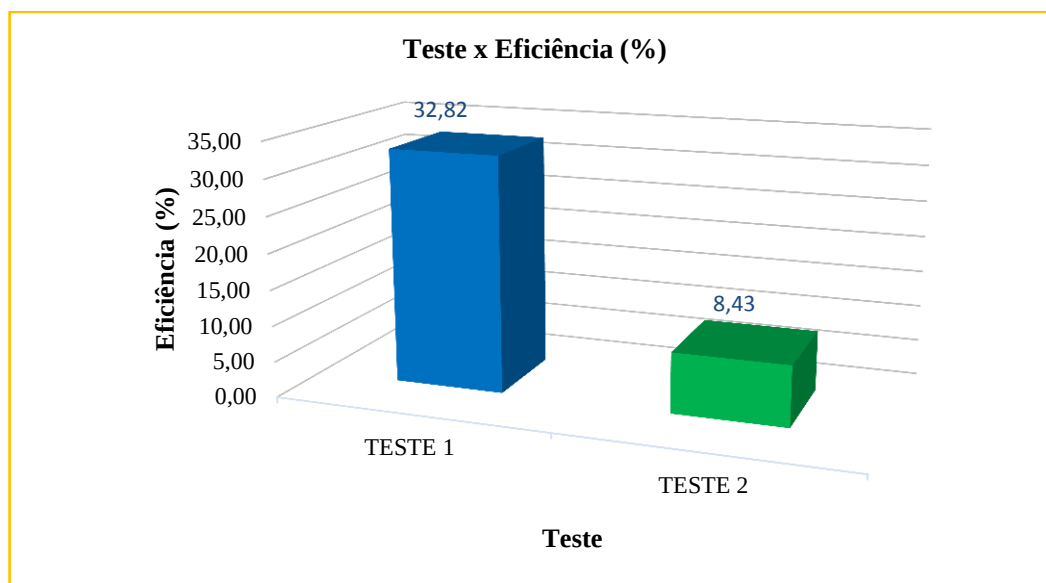


Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 81. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75 – Teste x Consumo específico (g/kWh).

4.2.2.6 GMG com GEET-Pantone com carga – 25/75 – Teste x Eficiência (%)

Os valores plotados na figura 82, acaba explicitando que o teste 1, é o mais eficiente, com eficiência igual 32,82%, o que não é uma eficiência esperada e adequada. Tal valor sugere, conforme argumentado no item 4.2.2.4, uma incoerência funcional do sistema, levando a considerar um comportamento anômalo deste mesmo sistema. Este comportamento, que poderá se manifestar em outros ensaios, devidamente conduzidos, poderá, caso de repita, levar a um melhor entendimento do fenômeno, ou conjunto de fenômenos associados, os quais por sua vez, possam ter ocorrido e, se possível, repetir indefinidamente todas as vezes que se utilizar do dispositivo.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 82. GEET PANTONE e GMG com Carga – Mistura 25/75 – Teste x Eficiência (%).

4.2.3 Ensaio com GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação

Este ensaio teve como característica, a aplicação do GMG equipado com o GEET-Pantone construído pelo autor, cujas especificações estão em conformidade com o descrito em 2.8.2. Nos 3 (três) testes que configuraram o respectivo ensaio, as cargas presentes nos mesmos, foram resistivas ($f_p = 1$) com valor nominal, igual a $8 \times 70W/127V_{ca}$, totalizando uma carga de $560W/127V_{ca}$. Os volumes, em todos os testes, foram sempre os mesmos, ou seja, 450 mL, conforme explicitado na metodologia para este ensaio.

4.2.3.1 Teste 1 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação

Este teste (01/03) teve uma duração de 515 s, e consumiu 140 mL de gasolina pura de aviação, configurando um volume total residual de 310 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 115,0 Vca e 4,2 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,477 kW. Comparando os valores

médios iniciais de temperatura de 26,00 °C, com os valores médios finais de 75,17 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 189,12%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 50,58 °C, ou seja, um incremento de 96,04% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 37,25% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,979 L/h de gasolina pura de aviação.

4.2.3.2 Teste 2 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação

Este teste (02/03) teve uma duração de 422 s, e consumiu 160 mL de gasolina pura de aviação, configurando um volume total residual de 290 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 115,0 Vca e 4,2 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,477 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 32,07 °C, com os valores médios finais de 69,13 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 115,56%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 50,60 °C, ou seja, um incremento de 104,03% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 30,30% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 1,365 L/h de gasolina pura de aviação.

4.2.3.3 Teste 3 – com GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação

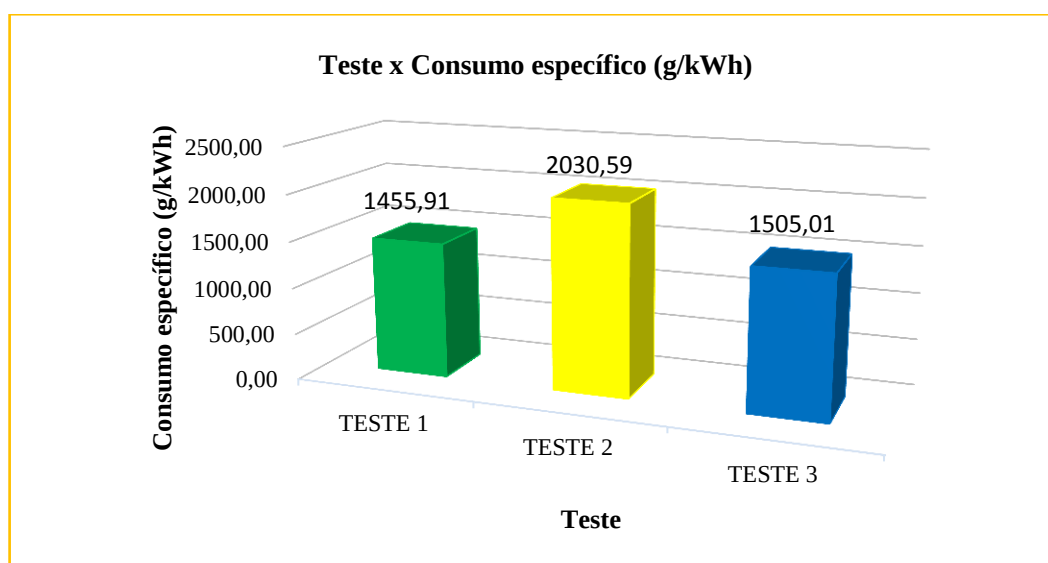
Este teste (03/03) teve uma duração de 420 s, e consumiu 55 mL de gasolina pura de aviação, configurando um volume total residual de 395 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 80,0 Vca e 2,8 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,222 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 32,27 °C, com os valores médios finais de 69,40 °C, do

principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 115,06%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 50,83 °C, ou seja, um incremento de 104,96% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 30,37% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,471 L/h de gasolina pura de aviação.

4.2.3.4 GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação – Teste x Consumo específico (g/kWh)

Os dados plotados na figura 83, indica qual dos testes tem um menor valor em termos de consumo específico (g/kWh), ratificando que, o consumo específico (g/kWh) diz respeito ao quão eficientemente um motor está transformando combustível em trabalho. Logo, pode-se deduzir que, o teste 2 é o menos eficiente, com 2.030,59 g/kWh. Contrapondo, este teste, tem-se o teste 1, com um consumo específico de 1.455,91 g/kWh, o que está correto, pois como as cargas nominais são as mesmas, o teste 2, ratificando, é o que teve maior consumo, com 1,365 L/h. Entretanto, apesar do teste 3, ter apresentado o menor consumo (0,471 L/h), foi o que apresentou a menor potência média, equivalente a 0,222 kW, o que justifica o evidenciado.

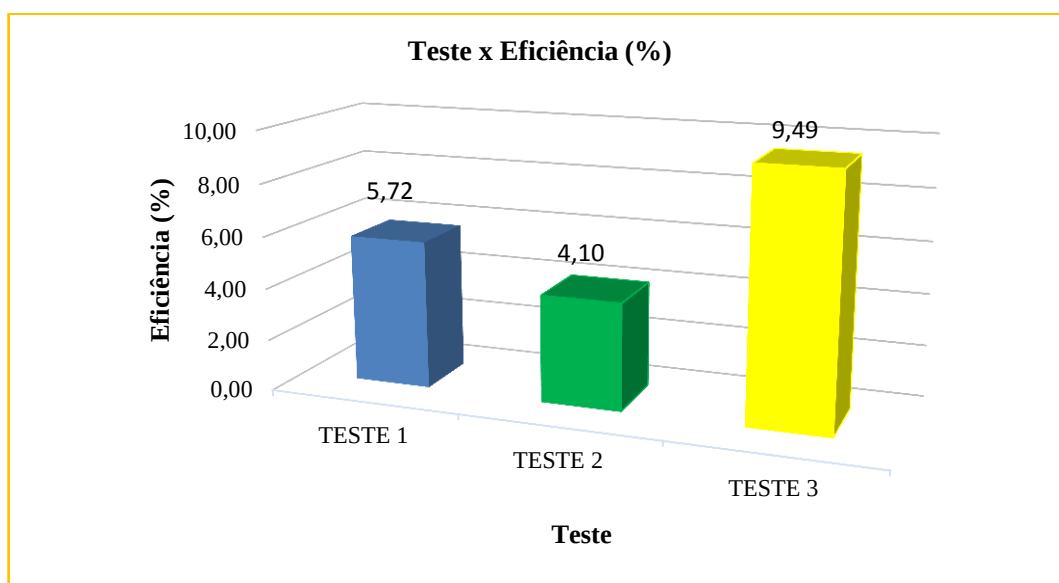


Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 83. GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação – Teste x Consumo específico (g/kWh).

4.2.3.5 GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação – Teste x Eficiência (%)

Os valores plotados na figura 84, acaba explicitando que o teste 3, é o mais eficiente, com eficiência igual 9,49%. Entretanto, este valor desvia, em termos percentuais, 131,46% para mais em relação ao teste 2 e 65,91% para mais em relação ao teste 1. Todavia, a média da eficiência deste ensaio, caracterizado por 3 (três) testes, ficou em 6,44%.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 84. GEET PANTONE e GMG com Carga – 100% de gasolina de aviação – Teste x Eficiência (%).

4.2.4 Ensaio com GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação/75% água potável

Este ensaio teve como característica, a aplicação do GMG equipado com o GEET-Pantone construído pelo autor, cujas especificações estão em conformidade com o descrito em 2.8.2. Nos 3 (três) testes que configuraram o respectivo ensaio, as cargas presentes nos mesmos, foram resistivas ($f_p = 1$) com valor nominal, igual a 8 x 70W/127Vca, totalizando uma carga de 560W/127Vca. Os volumes das misturas mantiveram, rigorosamente, as proporcionalidades dos elementos formadores da mesma – 25% de gasolina pura para uso aeronáutico (gasolina de aviação 100% pura, com 100 octanas e 0,71g/mL) e 75% de água

potável (água tratada pela companhia de saneamento do município de Cascavel, Paraná), conforme explicitado na metodologia para este ensaio.

4.2.4.1 Teste 1 – GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável

Este teste (01/03) teve uma duração de 528 s, e apresentou uma redução de 15 mL no volume inicial de água, e consumiu 110 mL de gasolina pura para uso aeronáutico, uma vez que os 125 mL iniciais (de gasolina de aviação) possuem 100% de gasolina pura, o que neste caso correspondeu a exatos 125 mL de gasolina aeronáutica (100 octanas e 0,71g/mL), adicionados a 375 mL de água - mistura de 25% de gasolina pura aeronáutica e 75% de água (volume inicial total de 500 mL), com um valor residual, pós-ensaio, de gasolina pura (imiscível) de 15 mL e água potável de 360 mL, configurando um volume total residual de 375 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 115,0 Vca e 4,2 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,477 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 27,63 °C, com os valores médios finais de 75,37 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 172,78%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 51,5 °C, ou seja, um incremento de 92,16% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 35,63% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,750 L/h de gasolina aeronáutica.

4.2.4.2 Teste 2 – GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável

Este teste (02/03) teve uma duração de 660 s, e apresentou uma redução de 10 mL no volume inicial de água, e consumiu 100 mL de gasolina pura para uso aeronáutico, uma vez que os 125 mL iniciais (de gasolina de aviação) possuem 100% de gasolina pura, o que neste caso correspondeu a exatos 125 mL de gasolina aeronáutica (100 octanas e 0,71g/mL),

adicionados a 375 mL de água - mistura de 25% de gasolina pura aeronáutica e 75% de água (volume inicial total de 500 mL), com um valor residual, pós-ensaio, de gasolina pura (imiscível) de 25 mL e água potável de 365 mL, configurando um volume total residual de 390 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 105,2 Vca e 3,8 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,400 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 32,07 °C, com os valores médios finais de 72,50 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 126,07%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 52,28 °C, ou seja, um incremento de 110,81% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 32,10% em relação à maior temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,545 L/h de gasolina aeronáutica.

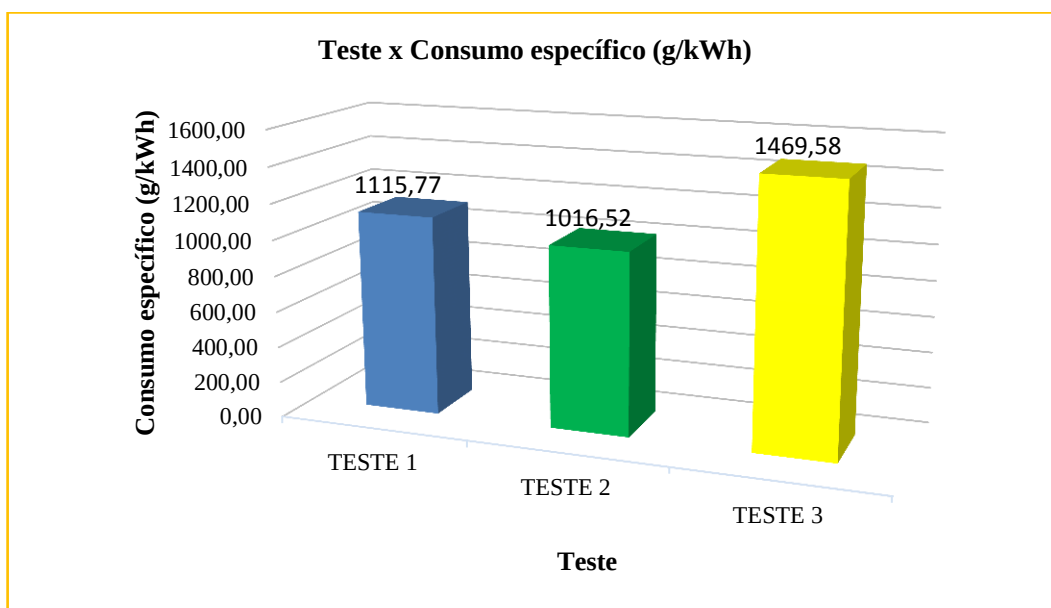
4.2.4.3 Teste 3 – GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável

Este teste (03/03) teve uma duração de 491 s, e apresentou uma redução de 5 mL no volume inicial de água, e consumiu 107 mL de gasolina pura para uso aeronáutico, uma vez que os 125 mL iniciais (de gasolina de aviação) possuem 100% de gasolina pura, o que neste caso correspondeu a exatos 125 mL de gasolina aeronáutica (100 octanas e 0,71g/mL), adicionados a 375 mL de água - mistura de 25% de gasolina pura aeronáutica e 75% de água (volume inicial total de 500 mL), com um valor residual, pós-ensaio, de gasolina pura (imiscível) de 18 mL e água potável de 370 mL, configurando um volume total residual de 388 mL.

Os valores médios de tensão e corrente, 108,0 Vca e 3,9 A, respectivamente, demonstraram a geração de uma potência elétrica de 0,421 kW. Comparando os valores médios iniciais de temperatura de 33,63 °C, com os valores médios finais de 73,93 °C, do principal bloco do GMG, pode-se observar um incremento da temperatura em 119,83%. Todavia, a temperatura média global, o que evidencia a distribuição energética média ao longo do tempo, para o respectivo ensaio, foi de 53,78 °C, ou seja, um incremento de 92,76% em relação à menor temperatura inicial medida e uma redução de 30,78% em relação à maior

temperatura final medida. Ainda, pela duração do teste, o mesmo configurou um consumo equivalente a 0,785 L/h de gasolina aeronáutica.

4.2.4.4 GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável – Teste x Consumo específico (g/kWh)



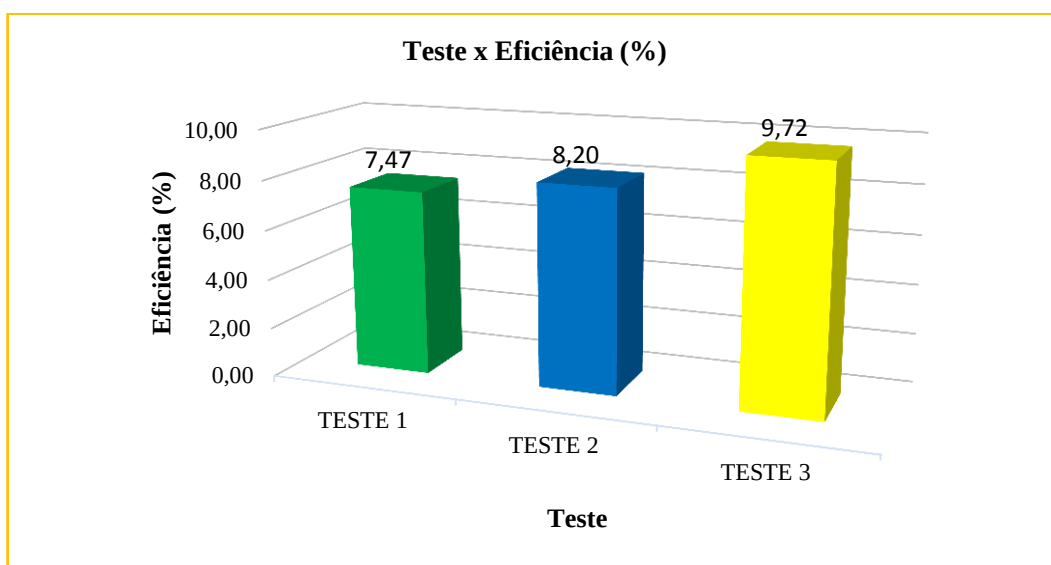
Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 85. GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável – Teste x Consumo específico (g/kWh).

Os dados plotados na figura 85, indica qual dos testes tem um menor valor em termos de consumo específico (g/kWh), ratificando que, o consumo específico (g/kWh) diz respeito ao quão eficientemente um motor está transformando combustível em trabalho. Logo, pode-se deduzir que, o teste 2 é o mais eficiente, com 1.016,52 g/kWh. Contrapondo, este teste, tem-se o teste 3, com um consumo específico de 1.469,58 g/kWh, o que está correto, pois como as cargas nominais são as mesmas, o teste 3, ratificando, é o que teve maior consumo. Entretanto, apesar do teste 2, ter apresentado o menor consumo (0,545 L/h), foi o que apresentou, também, a menor potência média, equivalente a 0,400 kW, o que está, de certa forma coerente com o esperado.

4.2.4.5 GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável – Teste x Eficiência (%)

Os valores plotados na figura 86, acaba explicitando que o teste 3, é o mais eficiente, com eficiência igual 9,72%. Entretanto, este valor desvia, em termos percentuais, 30,12% para mais em relação ao teste 1 e 18,54% em relação ao teste 2. Todavia, a média da eficiência deste ensaio, caracterizado por 3 (três) testes, ficou em 8,46%.



Fonte: (O Autor, 2016)

Figura 86. GEET PANTONE - GMG com Carga – Mistura 25% gasolina de aviação e 75% água potável – Teste x Eficiência (%).

4.3 Resumo dos Experimentos – Eficiência (%)

A tabela 3 apresenta o Resumo dos Experimentos realizados neste trabalho, tendo como principal aspecto evidenciado, a *eficiência* do sistema em termos percentuais. Com base na mesma, é possível verificar de maneira mais clara, o comportamento do GMG, tanto no que diz respeito aos ensaios dentro do contexto do cenário 1 (GMG equipado com carburador original), quanto dos ensaios dentro do contexto do cenário 2 (GMG equipado com o GEET-Pantone), ambos devidamente explicitados anteriormente. Cabe ressaltar, com base nos resultados obtidos, que o ensaio de número 4, dentro do contexto do cenário 2, foi o que apresentou uma melhor eficiência *média* (8,46%), quando comparado com os ensaios 1 e 3,

do cenário 2, sendo que este mesmo ensaio (4), foi também, o que apresentou o teste onde se evidenciou a maior eficiência entre os ensaios 1 e 3, com valor de 9,72%, valor este, inclusive, maior que o máximo valor obtido com o ensaio 1, com GMG carburado - 560W/127V, referente ao cenário 1, que foi de 9,01%. Cabe ressaltar que o resultado, referente ao ensaio 2, do cenário 2, cujo melhor resultado foi de 32,82%, necessita um estudo mais aprofundado, uma vez que tal valor percentual, não foi observado nos demais ensaios, e respectivos testes e cenários (1 e 2).

Tabela 3. Resumo dos ensaios referente à *Eficiência (%)*

Metodologias			Combustível		Água	Média	Melhor Resultado
			Gasolina			Teste x Eficiência (%)	Teste x Eficiência (%)
			Veicular	Aviação			
			Proporção (%)	Proporção (%)	Proporção (%)		
Cenário	Descrição	Ensaio					
1	GMG carburado - a vazio	1	100	-	-	-	-
	GMG carburado - 560W/127V	1				9,01 (*)	9,01 (*)
2	GMG com GEET-Pantone e carga Fixa - nominal - 560W/127Vca	1	50	-	50	5,28	6,3
		2	25	-	75	20,62 (**)	32,82 (***)
		3	-	100	-	6,44	9,49
		4	-	25	75	8,46	9,72

Obs.:

* Não possui a média, uma vez que as cargas não são constantes. Somente o último teste do ensaio, possui o valor de carga nominal – 560W/127 Vca.

** Diz respeito, dentro do *cenário 2*, à média obtida a partir do comportamento anômalo do teste 1 para o ensaio 2, uma vez que o teste 2, para este mesmo ensaio, apresentou um valor de 8,43%, ou seja, mais coerente quando referenciado ao sistema GEET-Pantone, conforme já explicitado em 4.2.2.5.

*** Diz respeito, dentro do *cenário 2*, ao valor absoluto, caracterizando um comportamento anômalo do teste 1 para o ensaio 2, referente ao sistema GEET-Pantone, conforme já explicitado em 4.2.2.5.

5. CONCLUSÕES

Foi possível verificar neste trabalho, o comportamento de um Grupo Motor Gerador – GMG, com motor a gasolina de 2,5 HP (≈ 1865 watts mecânicos) e potência nominal máxima de 1,2 kVA, submetido a duas tecnologias de fornecimento e controle de combustível.

No caso dos ensaios convencionais, com carburador original, seja a vazio, seja com cargas, o que se constatou é que o motor apresentou, mesmo com pequenas instabilidades, comportamentos funcionais dentro do esperado para este tipo de configuração.

Os ensaios (testes) do Grupo Motor Gerador – GMG, equipado com carburador e com cargas acopladas permitiu, concluir, após o término destes, que para valores maiores de carga e consequente incremento de potência, o conjunto tende a ser mais eficiente, com redução proporcional do consumo (L/h) de combustível por kW gerado, com maior eficiência na conversão da energia química (J) da gasolina aplicada, no equivalente de trabalho (J) e menor desperdício de energia química (J) em termos de energia térmica (J) dissipada, quando utilizado gasolina comum de uso veicular, caracterizada por uma mistura de 73% de gasolina *pura* e 27% de álcool anidro (99,6% de pureza - conforme determinado pela Agência Nacional de Petróleo – ANP).

Quanto aos ensaios (testes) do Grupo Motor Gerador – GMG, equipado com o GEET - Pantone e com cargas acopladas, foi possível concluir, após o término destes, que a eficiência do sistema, para um mesmo valor nominal de carga, neste caso 560W/127V, utilizando uma mistura de 50% de gasolina pura (já descontados os 27% de álcool anidro) de uso veicular e 50% de água, comparado com a eficiência do GMG utilizando carburador, é *menor*, apresentando uma eficiência máxima de 6,3% enquanto o sistema carburado apresentou uma eficiência máxima de 9,01%.

Nestes ensaios do Grupo Motor Gerador – GMG, equipado com o GEET – Pantone e mistura 50% de gasolina pura (já descontados os 27% de álcool anidro) de uso veicular e 50% de água, também pode-se observar um aumento da ineficiência, em função de que o etanol anidro (99,6% de pureza), acabou sendo dissolvido na água da mistura, perdendo sua capacidade de combustão inicial.

Ainda, no caso do Grupo Motor Gerador – GMG, equipado com o GEET – Pantone e

mistura 25% de gasolina pura (já descontados os 27% de álcool anidro) de uso veicular e 75% de água, ainda que os ensaios não sejam conclusivos, observou-se, em dois momentos, uma eficiência de 8,43%, que é menor que a eficiência do GMG original (9,01%), conforme já se esperava. Todavia, um dos testes, apresentou uma eficiência de 32,82%, o que pode configurar uma anomalia funcional do GMG, equipado com o GEET – Pantone.

Entretanto, no caso do Grupo Motor Gerador – GMG, equipado com o GEET – Pantone utilizando no ensaio 100% gasolina de aviação (100 octanas e 0,71g/mL a 15°C, isento de álcool), a eficiência *máxima*, tendo em vista a mesma carga nominal (560W/127V), foi de 9,49% (média de 6,43%).

Finalmente, no caso do Grupo Motor Gerador – GMG, equipado com o GEET – Pantone utilizando no ensaio uma mistura de 25% gasolina de aviação (100 octanas e 0,71g/mL a 15°C, isento de álcool) e 75% de água, a eficiência *máxima*, tendo em vista a mesma carga nominal (560W/127V), foi de 9,72% (média de 8,46%).

Face ao exposto é possível inferir, que no caso do uso de gasolina de aviação, o GMG, para um mesmo valor de carga a ser alimentada, é mais eficiente com o uso do combustível 25/75 (25% de gasolina de aviação e 75% de água) do que com gasolina de aviação pura. Isto se deve, provavelmente, ao incremento da energia calorífica acentuada devido ao uso de água na forma de vapor (aquecido), misturada com o combustível (com alto poder antidetonante) na câmara de combustão. Logo, diferentemente no caso do uso associado de água (em forma de vapor) com a gasolina comum de uso veicular, a gasolina de aviação permitiu um incremento na eficiência do sistema, que, se não foi devido, também, à quebra das moléculas da água (*hidrogênio* e *oxigênio*), foi, pelo menos, decorrente de um aumento da taxa compressão na câmara de combustão, graças à característica de *incompressibilidade* da água, pois a densidade da água se mantém constante, independentemente de se aumentar ou diminuir a pressão sobre a mesma.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados não são efetivamente conclusivos, e não encerra as discussões sobre a tecnologia. Fica como sugestão para trabalhos futuros: a) A realização de uma maior quantidade de ensaios, tanto para o sistema convencional, quanto para o sistema GEET-Pantone, b) Determinação do teor de hidrogênio presente na mistura após processo pirolítico, c) Medição dos gases de escape, para se verificar as concentrações de CO, CO₂, e hidrocarbonetos totais não inflamados, originados dos gases de escape, d) Novas configurações do dispositivo GEET, com base em novos parâmetros que poderão surgir em termos de melhora da tecnologia.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP – AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. ***Existe chumbo na composição da gasolina comercializada no Brasil?*** 2016. Disponível em <<https://www.anp.gov.br/wwwanp/fiscalizacao-multas-e-regularizacoes/247-perguntas-frequentes/consumidores/2712-existe-chumbo-na-composicao-da-gasolina-comercializada-no-brasil>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

ALBUQUERQUE, C. F. *et al.* ***O livro do automóvel***. 6ª imp. Lisboa: B&D – Seleções do Reader'sDigest, 1976.

ANTONINI, Natal de Avila. ***Projeto e construção de motores de combustão interna de êmbolo rotativo***. Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. Disponível em: <<file:///C:/Users/Seven/Desktop/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20-%20APOIO/000295528%20-%20MOTORES%20ROTATIVOS.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2016.

BARSA. **ÁGUA**. Química. In: ENCICLOPÉDIA Nova Enciclopédia Barsa. São Paulo: EncyclopaediaBritannica do Brasil Ltda, 1998. 1 v. p.163-165.

BARSA. **MÁQUINA**. Vapor. In: ENCICLOPÉDIA Nova Enciclopédia Barsa. São Paulo: EncyclopaediaBritannica do Brasil Ltda, 1998. 9v. p.270-271

BARSA. **ROCKFELLER**, John Davison. Família. In: ENCICLOPÉDIA Nova Enciclopédia Barsa. São Paulo: EncyclopaediaBritannica do Brasil Ltda, 1998. 12 v. p.413.

BROWN, Lawrence S.; HOLME, Thomas A. ***Química geral: aplicada à engenharia***. 1.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

CHALLONER, Jack. ***1001 invenções que mudaram o mundo***. Rio de Janeiro: Sextante, 2014.

DANIELS, Beau; DANIELS, Alan. ***Automotive illustrators***. Accord 3.0 VTEC cutaway engine illustration. Disponível em: <<http://www.automotive-illustrations.com/engines.html>>. Acesso em: 03 jul. 2016

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. ***Balanço energético nacional: 2015***. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2016.

FERREIRA. **ENERGIA**. In: FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Novo dicionário da língua portuguesa. 2.ed. rev. e aum., 7.ª impressão. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986. p. 650.

FLUKE (b) - **Termômetro infravermelho 59 MAX** - Disponível em: <<http://www.fluke.com/fluke/brpt/termometros/termometros-de-infravermelhos/fluke-59-max.htm?pid=76778>>. Acesso em: 22 jun. 2016.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Combustíveis renováveis por meio da pirólise**. Brasil Escola. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/combustiveis-renovaveis-por-meio-pirolise.htm>>. Acesso em: 26 jun. 2016.

GONÇALVES, Odair Dias. **Brasil ainda hesita na área da energia nuclear**. *Scientific American – Brasil– Opções brasileiras*, São Paulo, n.42, p.34-39, 2004, Ediouro Duetto Editorial Ltda. Edição Especial.

GROOVER, Mikell. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

HENRY, David. **100% hydrogen conversion: for autos, trucks, SUVs**. 1st Edition. Future Energy Concepts, Inc., 2011.

HENNESSY, Kathryn. **O livro do carro: enciclopédia visual**. São Paulo: Editora Globo, 2011

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e meio ambiente**. 4.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

HOMA, Jorge M. **Aeronaves e motores: conhecimentos técnicos**. 29ed. São Paulo: ASA – Edições Gráficas Ltda, 2009.

INCOTERM - 5003 - **Termômetro químico escala interna - divisão -10+110:1°C - 260mm** - Disponível em: <<http://www.incoterm.com.br/tecnica/5003+termometro+quimico+escala+interna+divisao+-10+110+1+c+260mm>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

INSTRUTEMP - **Tacômetro Digital Instrutemp – Modelo TTAC – 7200** - Disponível em: <<http://www.instrutemp.com.br/instrutemp/produto/852/tacometro+digital+duplo+contatolaser+ittac7200>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

Steam Engine Operation - HowStuffWorks–Science. Disponível em: <<http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/steam1.htm>>. Acesso em: 03 jul. 2016.

KELLY, Patrick J. **Practical guide to free energy devices**. Version: 30.0 Release date: 24 June 2016, Virtual Book, 2016. Disponível em: <<http://www.free-energy-info.co.uk/PJKbook.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

KOUROPOULOS, C. P. **The GEET Demystified**. Disponível em: <<http://rexresearch.com/pantone/pantone.htm#usp>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

LOVINS, Amory B. **Reinventando o fogo: soluções ousadas de negócios na nova era da energia**. 1.ed. São Paulo: Editora Cultrix, 2013.

MARTZ, Christophe. *Elaboration d'un banc d'essai et caractérisations du procédé GEET de P. Pantone à reformatage*. Projet de Fin d'Etudes Génie Mécanique option Energétique Industrielle réalisé à l'ENSAIS (actuellement : Institut National Des Sciences Appliquées Strasbourg (France) - INSA Strasbourg, France. Octobre 2001 Disponível em: http://www.econologie.com/file/restricted/Rapport_complet_publie.pdf. Acesso em: 20 fev. 2016.

MUNSEY, Andrew. **Directory:** GEET reactor by Paul Pantone. Disponível em: <http://peswiki.com/directory/geet-reactor-by-paul-pantone>. Acesso em: 10 jun. 2016.

NASSIF, Claudio. *Os efeitos da bizarra temperatura negativa*: sempre se acreditou ser impossível avançar além da mais baixa temperatura dada por $-273,15^{\circ}\text{C}$, o zero absoluto ou zero Kelvin. O mais intrigante é que os átomos a temperaturas negativas absolutas são os sistemas mais quentes possíveis. *Scientific American – Brasil - Cosmologia*, São Paulo, n.60, p.26-31, jun/jul. 2014, Ediouro Duetto Editorial Ltda. Edição especial Física e Astronomia 2.

NAUDIN, J.L. *Test of a lawnmower retrofitted with the Multi-Fuels Processor (PMC)*. Disponível em: <http://jlnlabs.online.fr/bingofuel/pmcjlnen.htm>. Acesso em: 20 jun. 2016.

PANTONE, Paul. *Fuel Pretreater Apparatus and Method*: US Patent # 5,794,601 - US Cl. 123/538 ~ August 18, 1998. Disponível em: <http://rexresearch.com/pantone/pantone.htm#usp>. Acessado em: 24 fev. 2016.

PINTO, Milton de Oliveira. *Energia e eletricidade*: geração, transmissão e sistemas interligados. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David. *Física*. 2.vol. 3.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1980.

ROSA, Edison da. *Projeto aeronáutico*: uma contribuição à competição SAE AeroDesign. Florianópolis: UFSC/GRANTE, 2006.

SANT'ANA, Blaidi. *et al. Conexões com a física*: estudo do calor, óptica geométrica, fenômenos ondulatórios. 1.ed. São Paulo: Moderna, 2010.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT JR, John W. *Física para cientistas e engenheiros*: oscilações, ondas e termodinâmica. 2.vol. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TOYAMA - Toyama do Brasil - *TF1200CXW1*. Disponível em: http://www.toyama.com.br/produtos_det.asp?cod_categoria=2&cod_linha=8&cod_sublinha=7&cod_produto=83. Acesso em: 26 jun. 2016.

ZUFFO, João Antônio; WOLFF, Mathias M. *Eletrônica*: passo a passo. 3v. São Paulo: Nova Cultural Ltda, 1990.