UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

THAIS SANTOS CASTRO

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UM GERADOR ELÉTRICO DE PEQUENO PORTE ACIONADO A MOTOR DE COMBUSTÃO A QUATRO TEMPOS

Guaratinguetá
2014

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2014

THAIS SANTOS CASTRO

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UM GERADOR ELÉTRICO DE PEQUENO PORTE ACIONADO A MOTOR DE COMBUSTÃO A QUATRO TEMPOS

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

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
Co-Orientador: Prof. Dr. José Renato de Oliveira Lima

Guaratinguetá
2014

Castro, Thais Santos
C355a Análise do desempenho de um gerador elétrico de pequeno porte acionado a motor de combustão a quatro tempos / Thais Santos Castro – Guaratinguetá : [s.n], 2014
89 f : il.
Bibliografia: f. 71-77

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014
Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

1. Motores elétricos 2. Motores – Combustão 3. Combustíveis para motores I. Título

CDU 621.313.13 (043)

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

THAIS SANTOS CASTRO

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
Orientador / Unesp-Feg

Prof. Dr. IVONETE ÁVILA
Unesp-Feg

Prof. Dr. OSÍRIS CANCIGLIERI JUNIOR
PUC/PR

DADOS CURRICULARES

THAIS SANTOS CASTRO

NASCIMENTO	25/11/1979 – Guaratinguetá/SP
FILIAÇÃO	Leopoldo Urbano dos Santos Elizabeth da Silva Santos
2001/2008	Curso de Graduação Engenharia Mecânica – Unesp/Guaratinguetá
2012/2013	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Unesp, Campus de Guaratinguetá/SP.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a *Deus*, Senhor da minha vida, por ter me escolhido a conhecê-Lo da forma mais intrínseca que existe.

Ao meu querido e amado marido, *Raphael*, por ter me ajudado e me amado nesses anos de luta.

Aos meus amados filhos *Davi e Samuel*, um presente de Deus em minha vida.

Agradeço aos meus *pais*, que sempre me apoiaram e incentivaram os meus estudos, me ajudando de forma incondicional e com muito amor.

À minha *irmã*, que sempre esteve ao meu lado sendo amiga em todos os momentos da minha vida.

Ao *Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza*, pelo apoio e dedicação, não se limitando a horários e feriados, um exemplo de pesquisador.

Ao *Prof. Dr. José Renato de Oliveira Lima*, que, com toda sua experiência na área acadêmica, elaboração de artigos e conhecimentos específicos, me ajudou a concluir este trabalho.

Ao *Gabriel Amorim*, que foi essencial nos ensaios práticos com o motor-gerador.

À empresa *Buffalo*, em especial ao *Sr. Claudio Frarão e ao Sr. Adenilson Toz*, por ter cedido gentilmente o motor-gerador modelo BFG-1200.

“Adquire a sabedoria, adquire a compreensão. Não desampares a sabedoria, e ela te protegerá; ama-a, e ela te guardará. A sabedoria é suprema; portanto, adquire a sabedoria. Sim, com tudo o que possuis adquire o entendimento.” (Provérbios 4:5-7)

CASTRO, T.S.; **Análise do desempenho de um gerador elétrico de pequeno porte acionado a motor de combustão a quatro tempos,** 2014, 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

RESUMO

Com a crescente demanda na matriz energética global e a constante preocupação com o uso e a escassez de combustíveis fósseis, o estudo por alternativas de combustíveis mais limpos, baratos, de fácil obtenção e que conservem o meio ambiente tornou-se uma questão de interesse geral. No Brasil, o etanol à base de cana-de-açúcar é uma boa alternativa para a substituição da gasolina, visto que o país possui um território apto para o cultivo dessa cultura, mão-de-obra especializada e condições climáticas adequadas, além de ter baixas emissões de gases de efeito estufa. Para a realização deste trabalho foi utilizado um motor de ciclo Otto a gasolina, com quatro cilindros sem adaptações. Avaliou-se o desempenho do sistema, potência, tensão e consumo específico do combustível utilizando misturas de gasolina e etanol nas seguintes proporções: E0, E5, E10, E15, E20, E30, E35, E40, E45, E50, E55, E60, E65, E70, E75, E80, E85, E90, E95 e E100. Com a crescente demanda na redução de gases nocivos ao meio ambiente, analisou-se também a quantidade de gases de exaustão expelidos pelo motor (NO_x e CO_2), observando uma redução na quantidade do CO_2 expelido em função do aumento da concentração de etanol na mistura. Em contrapartida, a quantidade de NO_x aumentou devido ao fato de a temperatura na câmera de combustão ser maior para o etanol. Como resultado observou-se que o motor-gerador fornece aproximadamente 800 W de potência, o que é suficiente para permitir o funcionamento de geladeira, televisão e lâmpadas elétricas, em uma casa de pequeno porte.

PALAVRAS-CHAVE: pequenos motor-geradores, gasolina, etanol, eletricidade, energia, gases de exaustão.

CASTRO, T.S.; **Performance analysis of a small electrical generator powered by a four stroke combustion engine**, 2014. 89 f. Dissertation (Master's degree in Mechanical Engineer Course) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

ABSTRACT

Due to the growing demand in the global energy mix and the constant concern about the use and the scarcity of fossil fuels, the study of cleaner, cheaper, easy-obtaining and environment-friendly alternative fuels has become a matter of general interest. In Brazil, the sugar-cane-based ethanol is a good alternative for the use of gasoline, since the country has a land fit for cultivation of this crop, skilled labor and suitable climatic conditions, and have low emissions of greenhouse gases. In this study it was used a four-cylinder Otto-cycle engine powered by gasoline with no adjustments. It was evaluated the system performance, power, voltage, and specific fuel consumption using mixtures of gasoline and ethanol in the following proportions: E0, E5, E10, E15, E20, E30, E35, E40, E45, E50, E55, E60, E65, E70, E75, E80, E85, E90, E95 e E100. The amount of harmful exhaust gases expelled by the engine (CO_2 and NO_x), was also analyzed, and it was observed a reduction in the amount of CO_2 expelled by the engine due to the increase of ethanol concentration in the mixture. In contrast, the amount of NO_x increased due to the fact that the temperature in the combustion chamber is higher for ethanol. As a result it was observed that the motor-generator provides 800 W of power, which is enough to allow the operation of refrigerator, television and electric bulbs in a small home.

KEYWORD: small motor-generators, gasoline, ethanol, electricity, energy, exhaust gases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte - Ano 2011 20

Figura 2 - Participação de energia renovável na matriz elétrica - Brasil e Mundo 21

Figura 3 - Produção da cana-de-açúcar no Brasil 22

Figura 4 - Áreas aptas ao cultivo de cana-de-açúcar no Brasil 24

Figura 5 - Fluxograma da produção do etanol 28

Figura 6 - Descrição das partes da cana-de-açúcar 29

Figura 7 - Corte da cana-de-açúcar manual 30

Figura 8 - Corte da cana-de-açúcar mecanizada 30

Figura 9 - Setor sucro alcooleiro - Perspectiva 2023/2024 31

Figura 10 - Motor Buffalo modelo BFG 1200 39

Figura 11: Desenho Esquemático do Quadro de Cargas 42

Figura 12 - Termômetro digital 43

Figura 13 - Termômetro digital para altas temperaturas 43

Figura 14 - Tacômetro digital 44

Figura 15 - Alicate wattímetro 45

Figura 16 - Analisador de gases 45

Figura 17: Desenho esquemático do conjunto motor-gerador e quadro de cargas 47

Figura 18 - Quadro de cargas utilizado no ensaio 48

Figura 19 - Montagem do ensaio para analise de gases. 49

Figura 20 – Representação do experimento realizado em laboratório 50

Figura 21 – Avaliação do comportamento da potência elétrica com o aumento do percentual de etanol na gasolina 55

Figura 22 - Avaliação do comportamento da tensão elétrica com o aumento do percentual de etanol na gasolina 57
Figura 23 - Avaliação do comportamento da temperatura dos gases de escape com o aumento do percentual de etanol na gasolina 60
Figura 24 - Avaliação do comportamento do NO_x com o aumento do percentual de etanol na gasolina 62
Figura 25 - Avaliação do comportamento do CO_2 com o aumento do percentual de etanol na gasolina 63
Figura 26 - Avaliação do comportamento do excesso de ar com o aumento do percentual de etanol na gasolina 65
Figura 27 - Avaliação do comportamento do consumo específico com o aumento do percentual de etanol na gasolina 67
Figura 28 - Avaliação do comportamento da eficiência em PCI com o aumento do percentual de etanol na gasolina 68
Figura 29- Avaliação do comportamento da potência 20 segundos antes do desligamento do motor-gerador 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades da gasolina e do etanol 33

Tabela 2 - Especificações técnicas do motor-gerador utilizado 40

Tabela 3 - Características dos combustíveis utilizado 41

Tabela 4 - Dados do analisador de gases de combustão 46

Tabela 5 - Nível do coeficiente de variação 51

Tabela 6 - Dados do ensaio do motor-gerador 53

Tabela 7 - Média da potência 54

Tabela 8 - Média da tensão 56

Tabela 9 - Média da corrente 58

Tabela 10 – Dados da temperatura dos gases de exaustão 59

Tabela 11 - Valores de NO_x 61

Tabela 12 - Dados do CO_2 61

Tabela 13 - Excesso de ar presente na combustão 64

Tabela 14 - Eficiência em PCI 66

Tabela 15 - Médias para a solução E0 78

Tabela 16 - Médias para a solução E5 78

Tabela 17 - Médias para a solução E10 79

Tabela 18 - Médias para a solução E15 79

Tabela 19 - Médias para a solução E20 80

Tabela 20 - Médias para a solução E25 80

Tabela 21 - Médias para a solução E30 81

Tabela 22 - Médias para a solução E35 81

Tabela 23 - Médias para a solução E40 82

Tabela 24 - Médias para a solução E45 82
Tabela 25 - Medidas para a solução E50 83
Tabela 26 - Médias para a solução E55 83
Tabela 27 - Médias para a solução E60 84
Tabela 28 - Médias para a solução E65 84
Tabela 29 - Médias para a solução E70 85
Tabela 30 - Médias para a solução E75 85
Tabela 31 - Médias para a solução E80 86
Tabela 32 - Médias para a solução E85 86
Tabela 33 - Médias para a solução E90 87
Tabela 34 - Médias para a solução E95 87
Tabela 35 - Médias para a solução E100 88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
BEN	Balanço Energético Nacional
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COPEN	Companhia Paulista de Energia
CTC	Centro Temático de Campinas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Instituto de Economia Agrícola
MME	Ministério de Minas e Energia
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NIPE	Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Estratégico
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PCI	Poder calorífico Inferior
SE4ALL	Energia Sustentável para Todos
UNICA	União da Indústria da Cana-de-Açúcar

LISTA DE SÍMBOLOS

E[]	Concentração de etanol na amostra
C_2H_5OH	Álcool etílico
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
CV	Coeficiente de variação
EA	Excesso de ar
f	Frequência (Hz)
F.P.	Fator de potência
m	Média
$\dot{m}_F$	Taxa de escoamento de massa de combustível para o motor (kg/s)
Mt	Megatonelada
n	Velocidade de rotação do motor (rpm)
n_p	Número de polos do gerador elétrico
N_2	Nitrogênio
NaCl	Cloreto de sódio
NO	Monóxido de nitrogênio
NOx	Óxido nitroso
O_2	Oxigênio
P_b	Potência produzida
S	Desvio padrão
S^2	Variância
SFC	Consumo específico de combustível (kg/J)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17

1.1 MOTIVAÇÃO 18
1.2 OBJETIVOS 18
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 19

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20

2.1 RECURSOS NATURAIS NO BRASIL 20
2.2 CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL 21
2.2.1 IMPACTO AMBIENTAL 25
2.2.2 IMPACTO SOCIOECONÔMICO 25
2.3 ETANOL 26
2.4 MOTOR-GERADOR 31
2.5 PROPRIEDADES GASOLINA/ETANOL 33
2.6 POPULAÇÕES SEM ENERGIA 34
2.7 ASPECTOS SOCIAIS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS 36
2.8 INFORMAÇÕES SOBRE EXPERIMENTOS DE OUTROS AUTORES UTILIZANDO MISTURAS DE GASOLINA-ETANOL 37

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS 39

3.1 MOTOR-GERADOR 39
3.2 CARACTERÍSTICAS DA GASOLINA E DO ETANOL UTILIZADO NO ENSAIO 40
3.3 MATERIAIS UTILIZADOS PARA CONSTRUIR O QUADRO DE CARGAS RESISTIVAS 41
3.4 MEDIÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE 42
3.5 MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DOS GASES DE EXAUSTÃO 43
3.6 MEDIÇÃO DA ROTAÇÃO DO MOTOR 44
3.7 MEDIÇÃO DA CORRENTE E TENSÃO 44
3.8 ANALISADOR DE GASES 45
3.9 METODOLOGIA DA PESQUISA 46
3.10 MONTAGEM DO EXPERIMENTO 47

3.11 CARGA RESISTIVA INSTALADA PARA SIMULAR A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA PELO MOTOR-GERADOR 48
3.12 MEDIÇÃO DOS GASES DE EXAUSTÃO 48
3.13 OBTENÇÃO DA GASOLINA PURA 49
3.14 ESTATÍSTICA – COEFICIENTE DE VARIAÇÃO 51

4 RESULTADOS 53

4.1 DADOS OBTIDOS 53
4.2 DADOS DA MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA POTÊNCIA ELÉTRICA 54
4.3 DADOS DA MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA TENSÃO ELÉTRICA 56
4.4 DADOS DA MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA 57
4.5 DADOS DA TEMPERATURA DOS GASES DE EXAUSTÃO 58
4.6 DADOS DOS GASES DE EXAUSTÃO 60
4.7 DADOS DO EXCESSO DE AR DA COMBUSTÃO 64
4.8 DADOS DA EFICIÊNCIA EM PCI 65
4.9 APLICAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA MOTOR-GERADOR 68

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS 69

REFERÊNCIAS 71

APÊNDICE A1 78

APÊNDICE A2 89

1 INTRODUÇÃO

Segundo Isaac Newton “Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes”.

O consumo de energia tem a tendência de crescer ao passar dos anos, principalmente por dois grandes fatores, mudança no estilo de vida e crescimento significativo da população.

O grande desafio da humanidade nos dias atuais é descobrir qual, ou quais, as melhores formas de extrair esta energia sem danificar ou pelo menos reduzir ao máximo a agressão ao meio ambiente.

Devido a grande necessidade pela energia elétrica e a facilidade para se obter a mesma através de combustíveis fósseis, apoiaram o grande desenvolvimento energético na revolução industrial. Suas vantagens, como alto conteúdo energético, disponibilidade sobre a crosta terrestre, facilidade de transporte e manuseio, fez com que o homem o explorasse de uma maneira continua e devastadora. Com toda esta riqueza de desenvolvimento aliado à riqueza monetária, surgem os conflitos de poder sobre as reservas disponíveis sobre a terra e com isto, as primeiras preocupações sobre o esgotamento das mesmas.

A civilização humana atual está totalmente dependente da energia elétrica. Seja ela de qual fonte vier, o resultado traz ao homem um conforto abundante, mas percebe-se que a parte da população que tem este benefício não tem a percepção de como esta energia é produzida, transportada, distribuída e consumida. Devolver ao homem a consciência do processo, dos ganhos e das perdas, da preocupação com o meio ambiente traz uma conscientização de eficiência energética, desperdício e uso racional de energia.

Contraditório à palavra desperdício, existe parte da população que ainda não provou deste bem estar, este trabalho busca uma alternativa de sustentação energética a estas pessoas que não desfrutam da energia elétrica proveniente das companhias de eletricidades, visando à preocupação com o meio ambiente e a sustentabilidade do processo.

O foco deste trabalho é a população rural brasileira sem energia, que hoje tem um número aproximado de 3 milhões de pessoas, segundo o censo do IBGE do ano de 2010. Com a utilização de um motor-gerador de baixo custo e a produção do etanol artesanal, através do plantio da cana-de-açúcar na própria terra, é possível gerar combustível para geração de eletricidade e sustentar as necessidades básicas de uma casa para um melhor conforto e bem estar.

1.1 Motivação

Investir em novos projetos para melhorar a qualidade de vida como um todo, atingir aqueles que não a têm e melhorar de uma maneira geral para aqueles que já a desfrutam, criar a oportunidade de novas tecnologias para avanço da humanidade.

E não há oportunidade melhor do que a energia elétrica, uma área de crescimento tecnológico necessário para o bem estar da população e do meio ambiente; só haverá progresso se houver desenvolvimentos de ambas as áreas, esta já é uma situação comprovada pelos ambientalistas, meteorologistas, engenheiros, etc.

A oportunidade de trabalhar com o etanol para geração de energia mais limpa, com menor agressão ao meio ambiente e disponibilidade para aqueles com menor poder econômico, desperta a habilidade de pensar, construir e agir para que todos os objetivos sejam alcançados.

No próximo capítulo será realizada uma revisão em pesquisas acadêmicas sobre o assunto abordado, visando acima de tudo, artigos que abordam temas com o ciclo Otto, desempenho e emissões de motores utilizando gasolina/etanol, o etanol brasileiro, o perfil da população sem energia no Brasil e a poluição atmosférica associada ao uso de etanol como combustível.

1.2 Objetivos

Os principais objetivos deste trabalho são:

a) Analisar as condições de geração de energia elétrica (potências, tensões, correntes, fator de potência) de pequenos geradores elétricos acionados a motor de combustão interna;
b) Viabilizar técnica economicamente viável na utilização dos geradores elétricos de pequeno porte em estabelecimentos rurais e urbanos;
c) Verificar os principais gases emitidos na atmosfera pela combustão da mistura gasolina/etanol.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação de mestrado é constituída de seis capítulos, sendo eles:

Capítulo 1 – Introdução, onde será apresentada a motivação, objetivos, e a estrutura da dissertação.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica, onde será apresentada uma revisão de conceitos onde este trabalho está encabeçado.

Capítulo 3 – Parte Experimental, onde é relatado todos os materiais e experimentos utilizados nos ensaios.

Capítulo 4 – Resultados, onde serão apresentados e analisados os dados obtidos nos ensaios.

Capítulo 5 – Conclusões, de todo o trabalho apresentado.

Capítulo 6 – Referência Bibliográfica, que apresenta toda referência bibliográfica utilizada na elaboração desta dissertação.

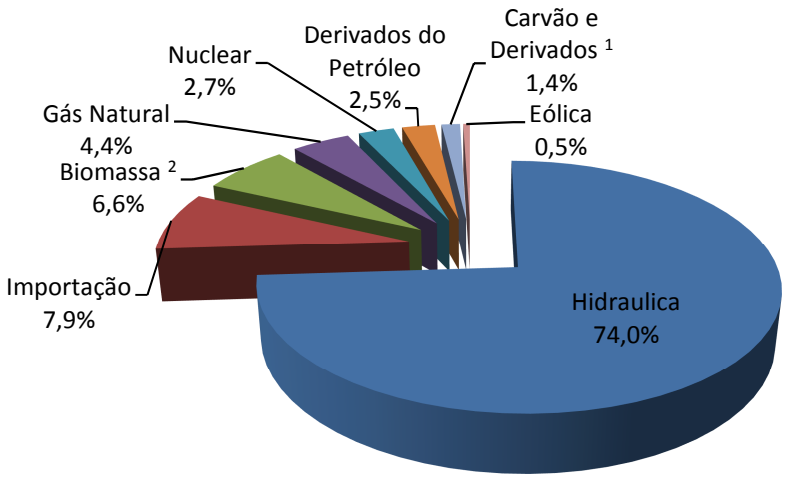
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os recursos naturais do Brasil, a cana-de-açúcar no Brasil, o impacto ambiental e o impacto socioeconômico da cana-de-açúcar, o etanol, o motor-gerador, as propriedades gasolina/etanol, as populações sem energia, aspectos sociais, econômicos e ambientais e informações sobre experimentos de outros autores utilizando misturas de gasolina/etanol.

2.1 Recursos naturais no Brasil

O Brasil possui abundantes recursos naturais aplicáveis à geração de energia renovável. Na produção de energia elétrica, sua matriz consta de 74,0% de energia gerada a partir do potencial hidráulico explorado no país. Em segundo lugar está a biomassa com 6,6%, em 2012, e em escala ascendente, pois em 2011 este número era de apenas 4,7%. A Figura 1 mostra as fontes de oferta de energia elétrica de 2011 (MME, 2012).

Figura 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte - Ano 2011



[1] Inclui gás de coqueria
[2] Inclui lenha, bagaço de cana, lixivia e outras recuperações

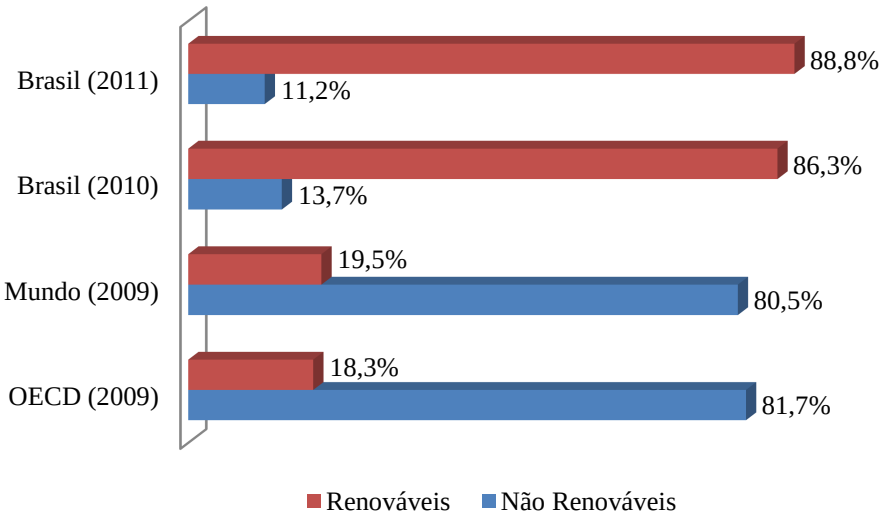
Fonte: EPE[1] (2011)

Essa disponibilidade de recursos faz do Brasil um país em destaque em nível global e com a responsabilidade de inovar tecnologias de aproveitamento eficiente de seus recursos renováveis, criando oportunidades de melhorias energéticas e ambientais. Em 2011, uma

[1] Brasil. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2012 – Ano base 2011: Resultados Preliminares, Rio de Janeiro: EPE, 2012, 51 p. : 18 il

pesquisa realizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) mostrou que o Brasil dispunha de 88,8% de energia elétrica renovável, enquanto o restante do mundo utilizava somente 19,5%. A figura 2 ilustra os números bem distintos e que colocam o país em posição de destaque diante do restante do mundo.

Figura 2 - Participação de energia renovável na matriz elétrica - Brasil e Mundo



Fonte: EPE[1] (2011)

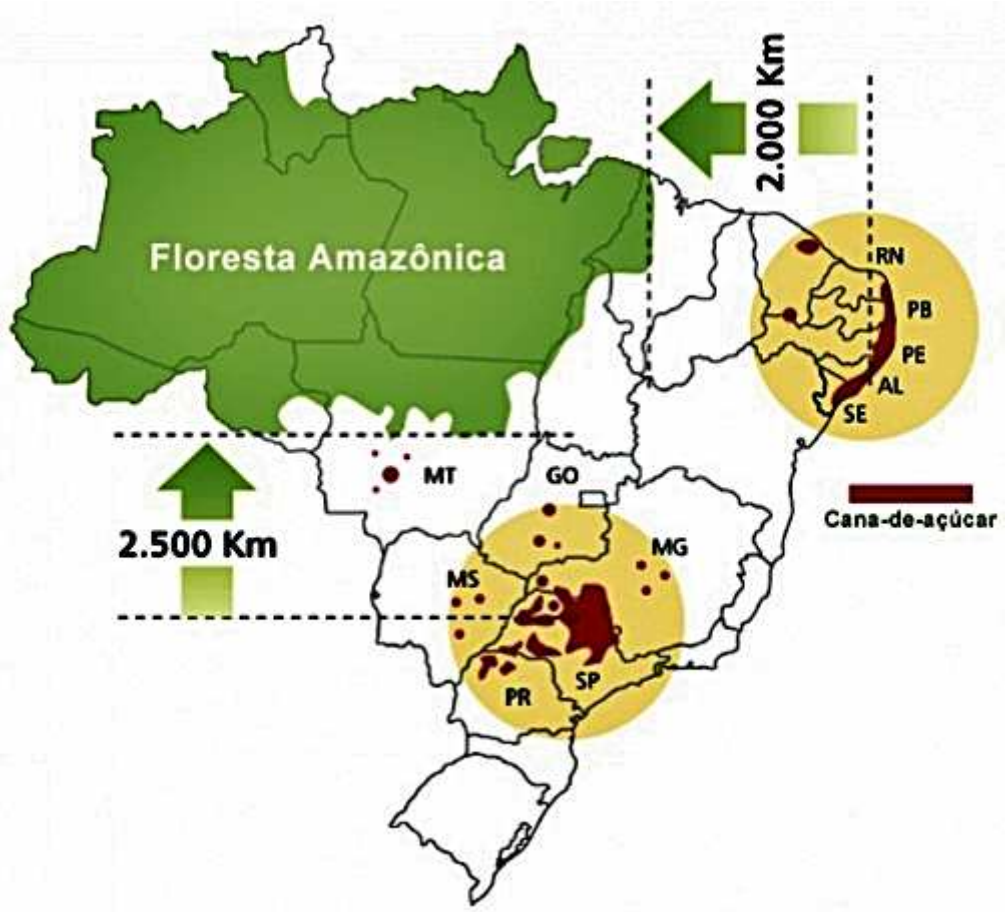
2.2 Cana-de-açúcar no Brasil

O Brasil recebe uma intensa radiação solar ao longo do ano, por localizar-se na faixa tropical e subtropical e esta característica o privilegia na produção de agroenergia. A eficiência da cana-de-açúcar em transformar a radiação incidente em açúcares, a coloca em posição de destaque quando se fala em biomassa. Enquanto as plantas convertem menos de 1% da luz solar em energia química, a cana é capaz de converter 2% da radiação incidente em açúcares, dos quais dois terços são lignina e celulose e um terço é sacarose presente no caldo (RODRIGUES, 2010).

O Brasil é reconhecido mundialmente pela sua matriz enérgica renovável, sendo que mais de 47% da energia utilizada vem de fontes renováveis, e o setor sucroenergético tem grande responsabilidade sobre este número. A cana-de-açúcar, matéria prima para a produção de etanol e bioeletricidade, é a segunda maior fonte de energia do país, respondendo por 18% de toda a energia consumida pelo Brasil (SOUSA, 2010).

A figura 3 ilustra as regiões do Brasil aptas ao plantio da cana-de-açúcar. A produção de cana-de-açúcar se concentra nas regiões centro-sul e nordeste do Brasil. O mapa apresentado na figura 3, mostra em vermelho as áreas onde se concentram as plantações e usinas produtoras de açúcar, etanol e bioeletricidade, segundo dados oficiais do IBGE, Unicamp e do CTC (ÚNICA, 2013)[2].

Figura 3 - Produção da cana-de-açúcar no Brasil



Fonte: NIPE-Unicamp, IBGE e CTC[2]

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. A previsão é de produzir mais de 652,02 milhões de toneladas por ano (safra 2013/2014) e tem uma área plantada destinada ao setor sucroalcooleiro de 8,8 milhões de hectares (safra 2013/2014) (CONAB, 2013)[3].

O estado de São Paulo é o que tem a maior área plantada do setor com 4,5 milhões de hectares, seguido por Minas Gerais (782 mil ha), Goiás (818 mil ha) , Paraná (620 mil ha),

[2] UNICA - União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Mapa da Produção.** Disponível em: <http://unica.com.br/mapa-da-producao/>. Acesso em: 9 dez. 2013.

Mato Grosso do Sul (624 mil ha), Alagoas (443 mil ha) e Pernambuco (286 mil ha) (CONAB, 2013)[3].

A grande extensão territorial, a diversidade de solo adequado ao plantio, a influência de diferentes climas e o domínio secular das tecnologias de produção de cana-de-açúcar, justificam a posição alcançada pelo Brasil no contexto mundial da produção de etanol e açúcar. Segundo o Zoneamento Agroecológico realizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Brasil dispõe de cerca de 64,7 milhões de hectares de áreas aptas à expansão e cultivo da cana-de-açúcar, sendo que 37,2 milhões de hectares estão sendo ocupados com pastagens. Este cenário demonstra que não há necessidade de áreas novas e/ou desmatamento de florestas nativas para aumentar a produção do setor. (MANZATTO, 2009; MACEDO 2007).

A figura 4 ilustra toda área apta no Brasil ao plantio de cana-de-açúcar demostrando que não há necessidade de explora a bacia Amazônica, a bacia do Pantanal e a bacia do Alto do Paraguai, devido a grande extensão territorial apta a cultura.

[3] CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, ago. 2013. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2013. Conab.

Figura 4 - Áreas aptas ao cultivo de cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: Manzatto, 2009

Nos últimos anos a participação da biomassa na matriz energética brasileira (incluindo todas fontes de energia) foi de 31,0%, sendo que a cana-de-açúcar foi responsável por 17,7%, segundo o Ministério de Minas e Energia (MME) e os estudos mostram que até 2020 este número deve ultrapassar os 35%.

Quanto a isso, há uma preocupação governamental de que a produção da cana-de-açúcar cresça de maneira produtiva e ecologicamente saudável, analisando os impactos ambientais e socioeconômicos.

2.2.1 Impacto ambiental

Um dos objetivos do zoneamento da cana-de-açúcar é minimizar o impacto ambiental provenientes do seu plantio, a colheita e a forma de se conseguir o sucesso desse comprometimento são tomadas ações, tais como:

- Produção cadenciada, evitando expansão em áreas de mata nativa;
- Produção de biocombustível de forma sustentável e ecologicamente limpa;
- Cogeração de energia elétrica, diminuindo a utilização de combustível fóssil e gerando crédito de carbono;
- Conservação do solo e da água, através de técnicas conservacionistas diminuindo a erosão dos solos cultivados.
- Minimizar a emissão de gases de efeito estufa pela substituição progressiva da queima pela colheita mecânica.

2.2.2 Impacto Socioeconômico

A análise socioeconômica também é de grande importância para uma sociedade, a viabilização do sucesso depende do comprometimento de todos, da sociedade, órgãos governamentais e empresas dispostas a investir no projeto.

As ações a serem tomadas para que o impacto socioeconômico seja positivo para o plantio da cana-de-açúcar são:

- A produção de etanol através da cana-de-açúcar permitirá a geração de uma energia limpa, aumentando os créditos de carbono e outros mecanismos nacionais e internacionais, que atraem investimento nas regiões de plantio;
- Aumento de emprego permanente da mão de obra local;
- Geração de renda ao longo do ano durante todo o ciclo de plantio e colheita da cana-de-açúcar;
- Organização dos fornecedores de cana-de-açúcar em cooperativas visando à colheita mecânica;
- Estímulo tecnológico na produção e colheita da cana-de-açúcar;
- Qualificação da mão de obra local, exigindo investimento público e privado em educação e treinamento especializado;

- Investimento em complexos agroindustriais, exigindo investimento em infraestrutura local, como energia, transporte, logística e suporte técnico.

2.3 Etanol

O etanol, comercialmente denominado de álcool etílico (C_2H_5OH), é produzido desde os tempos antigos pela fermentação dos açúcares encontrados em produtos vegetais (SANTOS, 2012).

Com a necessidade de redução na utilização de combustíveis fósseis, o etanol tornou-se uma alternativa viável, diante do cenário mundial, tornou-se o principal biocombustível empregado, no setor de transporte em 2011 a responsabilidade do etanol era de 2% da energia mundial, segundo as estimativas em 2050 a demanda subirá para 27% de utilização (IEA, 2011). Uma grande oportunidade, pois o bioetanol contribui para a redução do efeito estufa e diminui em grande quantidade a poluição do ar.

Com a necessidade de amenizar as crises no setor açucareiro e a tentativa de reduzir a dependência da importação do petróleo, surge no Brasil no século XX uma nova fonte energética, o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar. Em 1925, surge a primeira experiência com etanol combustível e em 1975 é lançado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), neste período o etanol não era economicamente competitivo, necessitando de subsídios do governo, que durou até 1984 e sendo extinto de vez em 1990.

A safra no Brasil de 2012/2013 produziu 23 bilhões de litros de etanol de cana-de-açúcar (CONAB, 2013)[3], hoje mais de 80% do etanol produzido é consumido pelo mercado interno, sendo os Estados Unidos e países membros da União Europeia os grandes importadores.

Uma das maneiras que o Brasil encontrou para explorar a cultura da cana-de-açúcar foi a produção do etanol, uma fonte de energia renovável e de grande utilidade no cenário energético mundial. Esta produção é baseada na fermentação do caldo de cana e de sua mistura com melaço. Após a colheita da cana madura (rica em açúcares e pouca água) segue-se um processo de pesagem e limpeza. Então a cana é picada e moída várias vezes, para obter o volume máximo de caldo de cana; com o aquecimento inicia-se a concentração do açúcar e decantação para retirar os pequenos bagaços misturados no caldo, seguido da evaporação para atingir a concentração ideal do açúcar e então a fermentação com uso de levedura

(*Saccharomyces*), para transformação do açúcar em etanol. Depois de fermentado o caldo passa pelo processo de destilação para a obtenção do etanol (SEABRA, 2008; SANTOS, 2012).

A figura 5 ilustra o fluxograma dos coprodutos da cana-de-açúcar, todo o seu processo desde a coleta da mesma até o produto final que são o açúcar e o etanol.

O processamento da cana é tecnologicamente simples, de modo que pode ser realizado até mesmo em pequenas unidades em propriedades particulares para consumo próprio, assim como, para abastecimento de pequenas comunidades isoladas e/ou como fonte de trabalho, renda e fixação de mão-de-obra. A produção de açúcar, etanol, cachaça e outros derivados alimentares é apresentado como opção para a exploração ampla da cana-de-açúcar. O bagaço gerado nesse processamento pode ser utilizado de várias maneiras: ser queimado em caldeiras para gerar vapor que aciona geradores para produção de energia elétrica que pode ser utilizada na própria unidade ou ser vendida em caso de energia excedente (SANTOS, 2012).

O etanol tem algumas vantagens sobre os combustíveis fósseis, ele é renovável, sustentável e não poluente o que significa que sua produção e utilização não prejudica o meio ambiente (KYRIAKIDES, 2013).

A emissão de CO_2 não é considerada com um poluente, pois ele é absorvido no ciclo de crescimento da cana-de-açúcar. A quantidade de material particulado emitido durante a queima do bagaço da cana é composto basicamente de fuligem e cinza, que se torna problema somente se as fabricas estiverem localizadas perto da população, o que torna obrigatório o controle do material particulado (BORRERO, 2003).

Para o caso de médias e grandes unidades agrícolas, outra utilidade dos bagaços é a cobertura do solo ou alimentação de animais (TEIXEIRA, 2007; RODRIGUES, 2010).

No atual cenário mundial, a busca por energia sem comprometimento do meio ambiente é grande, a utilização da palha da cana-de-açúcar para produção de energia elétrica é de grande perspectiva de evolução, aproximadamente 1/3 do potencial energético da cana está em sua palha (KITAYAMA, 2003). Para cada tonelada de cana-de-açúcar o potencial energético se divide em: 1.700 MJ do etanol produzido, 2.100 MJ do bagaço e 2.150 MJ da palha (MOREIRA, 2000).

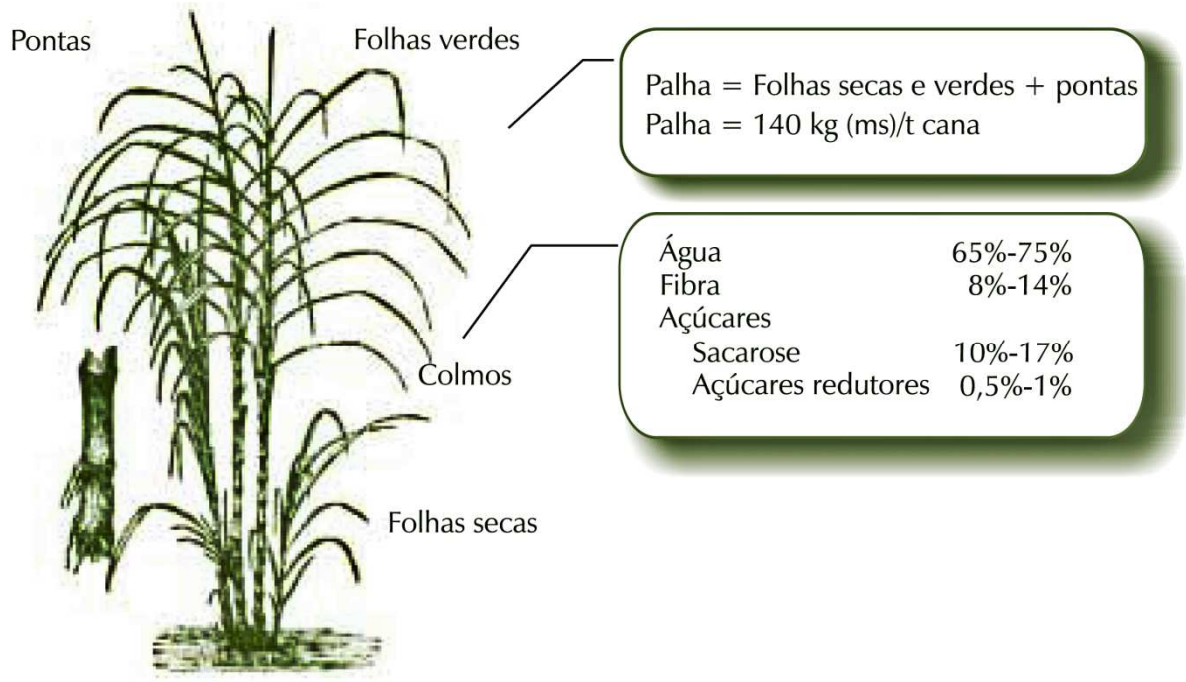
Figura 5 - Fluxograma da produção do etanol

Fonte: Seabra, 2008

A figura 6 explora as divisões da cana-de-açúcar e informa os componentes existentes em cada parte da planta.

É importante salientar que metade da palha seja mantida sobre o solo, para preservá-lo de erosão, reciclo de nutrientes e a manutenção de um nível mínimo de umidade no solo (ANDRADE, 2011).

Figura 6 - Descrição das partes da cana-de-açúcar



Fonte: Seabra, 2008

A utilização da cana-de-açúcar para fabricação do etanol como substituto de combustível fóssil, contribui com 18% de redução de CO_2 no Brasil, e este número pode aumentar com o desenvolvimento de tecnologia para utilização do bagaço e das folhas para geração de energia elétrica (MACEDO, 1992).

Para cada 100 Mt de cana adicionais, nos próximos anos, poderiam ser evitadas o equivalente de 12,6 Mt CO_2, com etanol, bagaço e com a energia elétrica equivalente (MACEDO, 2007).

Cerca de 70% da colheita da cana-de-açúcar, ainda é realizada pela queima prévia do canavial, procedimento que está sendo extinto por um acordo entre governo (Federal e Estado de São Paulo) e produtores (associados da ÚNICA), devido às restrições ambientais e problemas respiratórios humanos das populações locais, espera-se que até 2020 a colheita torna-se totalmente mecanizada (GHELER-COSTA, 2013).

A figura 7 mostra trabalhadores colhendo as canas após a queima prévia das mesmas e a figura 8 mostra a facilidade da colheita através da mecanização.

Figura 7 - Corte da cana-de-açúcar manual

Fonte: Embrapa

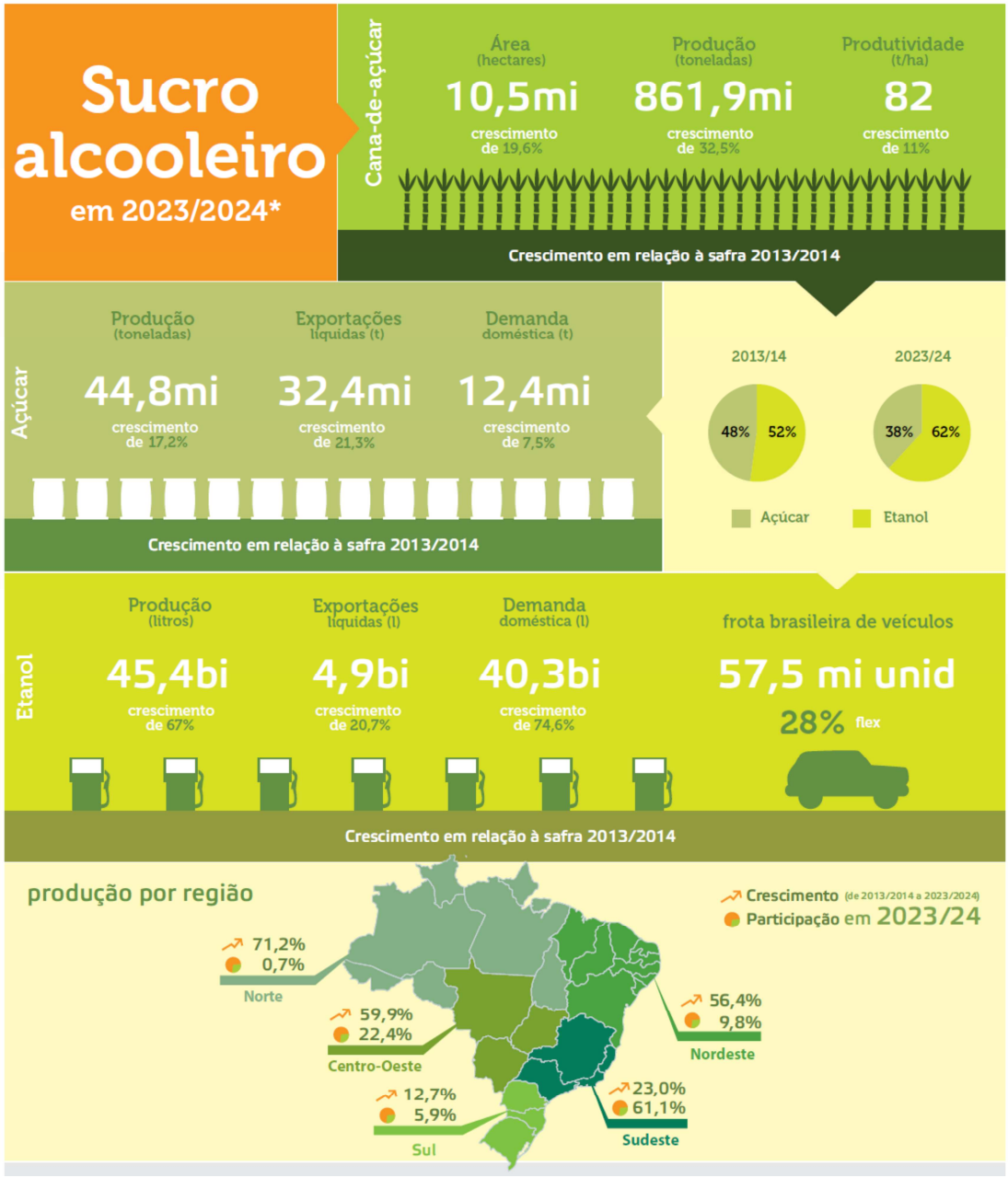
Figura 8 - Corte da cana-de-açúcar mecanizada

Fonte: Embrapa

A figura 9 apresenta o cenário atual do setor sucro alcooleiro e sua perspectiva para 2013/2024. A necessidade de crescimento na demanda é apresentada tanto para o açúcar como para o etanol. A importância do Brasil diante da necessidade mundial também tem uma importância considerável, o aumento das exportações tem uma previsão de crescimento de 20,7% para o etanol e de 21,3% para o açúcar, além do crescimento interno que também atinge as duas dimensões.

Um ponto importante entre o cenário atual (2013/2014) e sua projeção (2023/2024), é a redução comparativa da produção do açúcar e o aumento da produção do etanol, isto está ligado com o aumento da frota de veículos que utilizam o etanol como combustível e o emprego no mesmo no setor energético.

Figura 9 - Setor sucro alcooleiro - Perspectiva 2023/2024



Fonte: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (2013)

2.4 Motor-gerador

Motor-gerador é a denominação dada a um conjunto formado por um motor a combustão interna e um gerador de energia elétrica. O gerador acoplado mecanicamente ao motor transforma a energia mecânica em energia elétrica (VALENTE, 2007). Os motores de

combustão interna são destinados a transformar a energia química contida em um combustível em energia mecânica aproveitável (HEYWOOD, 1988).

Um dos principais motores que utiliza a gasolina como combustível para geração de energia é o ciclo Otto. Sua aplicação é geralmente em regime estacionário, onde a energia primaria proveniente de combustível fóssil, é transformada em energia mecânica e transferida ao gerador elétrico através de acoplamento por eixo, correia ou polias (VALENTE, 2007).

Majoritariamente os motores ciclo Otto são movidos a gasolina, no Brasil, esse tipo de motor também utiliza o etanol para produzir trabalho, seja ele misturado a gasolina, no caso álcool anidro ou puro, álcool hidratado.

Um requisito importante no desempenho de um conjunto motor-gerador é a rotação do gerador. O motor térmico tem a função de prover a energia mecânica necessária para ser convertida em energia elétrica no gerador, sendo assim, a energia elétrica se manifesta sob a forma de onda senoidal com frequência constante, que devido a isto, o motor térmico deve funcionar com rotação constante. A velocidade de rotação do motor é dada pela equação 1.

$$n = \frac{120f}{n_p} \tag{1}$$

n: velocidade de rotação do motor (rpm)
f: frequência (Hz)
n_p: número de polos do gerador elétrico.

Uma forma de avaliar a diferença de desempenho dos combustíveis é com base no consumo especifico, pois relaciona a quantidade de combustível consumido por unidade de potencia produzida pelo motor (SILVEIRA, 2012). Com os valores da massa de combustível consumido, potencia medida e tempo, calcula-se o consumo específico de combustível, com o auxilio da equação 2.

$$SFC = \frac{\dot{m}_F}{P_b} \tag{2}$$

SFC: consumo específico de combustível (kg/J);

$\dot{m}_F$: taxa de escoamento de massa de combustível para o motor (kg/s);

P_b: potência produzida.

Basicamente os gases poluentes emitidos da queima de combustíveis fósseis em motores de combustão interna são dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), água (H_2O), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos não queimados (SANTOS, 2008). Os gases poluentes são gerados pela não oxidação de todo combustível admitido pela câmera de combustão. A quantidade emitida depende da temperatura de trabalho, composição do combustível, estado do motor, tipo do óleo lubrificante e rotação de trabalho (SILVEIRA, 2012).

2.5 Propriedades gasolina/etanol

A gasolina é a mistura de hidrocarbonetos, proveniente da destilação do petróleo, diferente do Etanol (C_2H_5OH) que é uma substância pura e mais corrosiva que a gasolina. A tabela 1 apresenta as principais propriedades da gasolina e do etanol.

Tabela 1- Propriedades da gasolina e do etanol

Parâmetro	**Unidade**	**Gasolina**	**Etanol**
Poder calorífico inferior	kJ/kg	43.500	28.225
	kJ/litro	32.180	22.350
Densidade	kg/litro	0,72 - 0,78	0,792
Massa Específica	kg/m³	750	809,3
Octanagem RON (Research Octane Number)		90 - 100	102 - 130
Octanagem MON (Motor Octane Number)		80 – 92	89 - 96
Calor latente de vaporização	kJ/kg	330 – 400	842 – 930
Relação ar/combustível estequiométrica		14,5	9
Pressão de vapor	kPa	40 – 65	15 – 17
Temperatura de ignição	grau °C	220	420
Solubilidade em água	% em volume	~ 0	100

Fonte: API (1998) e GOLDEMBERG E MACEDO[4] (1994 apud BNDES e CGEE (Org) 2008)

Uma característica distinta do etanol em comparação a gasolina é a quantidade apreciável de átomos de oxigênio, podendo ser considerado um combustível oxidado. A ligação polar do grupo da hidroxila (OH-) torna o etanol uma molécula polar, unindo com a pequena cadeia de carbono (2 átomos) e a ausência total de ligações CC, torna o etanol um combustível diferenciado com relação a misturas hidrocarbonetos que compõe a gasolina padrão (BIELACZYC, 2013).

[4] API Alcohols and ethers, a technical assessment of their application as fuel and fuel components. Washington: American Petroleum Institute, 1998, GOLDEMBERG, J.; MACEDO, I. C. The Brazilian Alcohol Program-An overview. Energy for Sustainable Development, v. 1, 1994 apud BNDES e CGEE (Org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar:** energia para o desenvolvimento sustentável. RJ: Bndes, 2008. 316 p.

A vantagem do etanol é ter um valor maior de octano e um calor de vaporização superior a gasolina, promovendo uma maior produção do motor devido a maior compressão e melhor utilização da relação ar/combustível (KYRIAKIDES, 2013).

O etanol é utilizado como um combustível alternativo ou aditivo eficaz da gasolina, devido ao seu elevado nível de octano e seu conceito de auto-sustentação independente do combustível fóssil (MASUM, 2013).

A desvantagem do etanol é o poder calorifico inferior menor do que a gasolina, elevando o consumo volumétrico e diminuindo o ponto de ebulição aumentando assim, as emissões evaporativas. Outra desvantagem é o custo da produção ser maior do que a gasolina, devido a energia necessária no processo de destilação (KYRIAKIDES, 2013).

Estudos anteriores mostram aumento consistente no valor de acetaldeídos com o aumento do etanol (KARAVALAKIS, 2012; BIELACZYC, 2013; COSTAGLIOLA 2013). Entretanto, o acetaldeído proveniente do uso do etanol é menos agressivo à saúde humana e ao meio ambiente do que o formaldeído produzido pela combustão de gasolina (TEIXEIRA, 2008).

Uma revisão bibliográfica realizada por Masum (2013), concluiu que existe uma inconsistência em relação as emissões de NOx emitida pelos motores que utilizam etanol como combustível. Alguns autores relatam valores de NOx maiores com o aumento do etanol e outros menores. Uma das conclusões é que as propriedades físico-quimicas da mistura etanol/gasolina como o calor latente de vaporização, o teor de oxigênio e a velocidade da chama são itens básicos na formação do NOx em motores síncrono.

2.6 Populações sem energia

Durante anos, a falta de atratividade do mercado para as companhias de energia elétrica, junto com um modelo de gestão centrado nas concessionarias fornecedoras de energia elétrica, elevou muito o custo da ligação da energia à população de baixa renda, inviabilizando o acesso à luz elétrica a essa porcentagem da população, refletindo ao baixo índice de eletrificação rural do Brasil, principalmente nas regiões Norte e Nordeste (KURAHASSI, 2001).

Entre os anos de 1980 e 1990, menos de 2% da população rural brasileira teve suas necessidades de energia elétrica atendidas, resultando em 67% das propriedades na escuridão

em 1997 (RIBEIRO, 2003). A ganância em lucrar pelas concessionarias de energia elétrica unida pela vontade do Estado em transferir sua responsabilidade social, levou ao cenário do mundo rural sem energia elétrica, pois as características principais dessa população são: pobreza, pouco consumo, dá prejuízo, não reclama e não tem representatividade comparada a população urbana.

Em 2003, foi criado o programa Luz Para Todos, do governo federal brasileiro, com o objetivo de levar acesso à energia elétrica gratuitamente para 10 milhões de pessoas do meio rural até o ano de 2008, meta alcançada em maio de 2009, porém no censo do IBGE de 2010, foi apontado que quase 3 milhões de pessoas ainda vivem sem energia elétrica.

Um levantamento realizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) junto com as companhias de distribuição de energia elétrica no país, mostrou que a quantidade de residências sem energia elétrica é de aproximadamente 1 milhão. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2.749.243 brasileiros não se beneficiam da energia elétrica. Segundo o IBGE a população que mais sofre com a falta de energia é a rural; cerca de 2.352.949 pessoas vivem sem energia no campo, sendo que a região norte, apenas 61,5% dos domicílios tem energia elétrica (COPEN, 2011)[5].

Em 2012 a Assembleia Geral das Nações Unidas declarou o Ano Internacional de Energia Sustentável para Todos, estabelecendo três objetivos globais a serem alcançados até 2030: acesso universal aos serviços de energia moderna, duplicação da taxa global de melhorias em eficiência energética e duplicação da quota de energia renovável no setor de energia global. Cerca de 70 países adotaram a iniciativa de Energia Sustentável para Todos (SE4ALL), segundo o qual, em relatório próprio, 1,2 bilhões de pessoas não tem acesso à energia elétrica e 2,8 bilhões dependem da lenha ou de outra fonte de biomassa para combustível doméstico, sendo que estes tipos de combustíveis sólidos poluem o ambiente e trazem grande prejuízo para a qualidade de vida terrestre. (ORG, 2013)

Outro dado relevante do relatório da SE4ALL é que a maioria das pessoas sem energia elétrica vive em 20 países em desenvolvimento da Ásia e da África Subsaariana, que se localiza ao sul do deserto do Saara, ou seja, os países que não fazem parte do norte da África, e que cerca de 80% vivem em meios rurais. O relatório indica, ainda, que o Brasil é o sétimo maior consumidor de energia do mundo, e que está entre os 20 países de alto impacto, responsáveis por 80% do consumo de energia, que terão a responsabilidade de duplicar a parcela de fontes renováveis e melhorar a eficiência energética.

.

[5] **COPEN: PERSPECTIVA SEMANAL.** São Paulo: COPEN - Companhia Paulista de Energia, v. 6, n. 336, nov. 2011.

2.7 Aspectos sociais, econômicos e ambientais

Em uma análise ambiental, um ponto que preocupa é o avanço da cana-de-açúcar sobre áreas de vegetação nativa, os benefícios gerados na expansão das lavouras, ampliação e a instalação de novas usinas, geram benefícios econômicos em diversas áreas, porém não anula a preocupação com a expansão sem planejamento.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na resolução nº 1 de 23/01/86, no artigo 1º, define impacto ambiental como:

> "(...) qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente (...) resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afete: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições sanitárias e estéticas do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais".

A análise do uso do etanol como substituto do combustível fóssil para redução das emissões de gases que provocam o efeito estufa é ambientalmente positivo, a relação entre a energia renovável produzida e a energia fóssil consumida na produção de etanol é de 8,3 a 10,2, isto é, a cada unidade de energia fóssil consumida no ciclo de produção do etanol, são obtidas de volta entre 8,3 a 10,2 unidades de energia renovável (MACEDO, 2004).

Outro fator positivo na produção do etanol é a utilização do bagaço da cana-de-açúcar para geração de energia. A queima do bagaço comparado a outros combustíveis fósseis é mais limpa, pois a liberação de compostos com bases de enxofre como SO_2 ou SO_3 é praticamente nula (ROSSETTO, 2004).

Aproximadamente 12 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar são geradas anualmente e 95% deste total é convertido em vapor, queimado nas próprias caldeiras, trazendo o beneficio de independência de energia elétrica (ROSSETTO, 2004).

A substituição da gasolina pelo etanol e a utilização do bagaço da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica, reduz os níveis de emissão do CO_2 na atmosfera. Um litro de etanol hidratado substitui 0,8 litro de gasolina e 1 litro de etanol anidro substitui 1,04 litro de gasolina. A redução final das emissões corresponde a 9,13 milhões de toneladas/ano de carbono, ou seja, 33,4 milhões de toneladas/ano de CO_2 (MACEDO, 1997).

Uma desvantagem na produção do etanol é a queima da cana antes da colheita para facilitar o corte da mesma e a limpeza do terreno. Isto reduz a mão-de-obra e o custo de produção, mas aumenta os problemas de saúde da população e contribui para o aumento da

temperatura terrestre, devido à liberação de carbono entre os gases provenientes da queima. Há uma estimativa para 2020 do fim da queima da palha da cana no Brasil.

2.8 Informações sobre experimentos de outros autores utilizando misturas de gasolina-etanol

Há um vasto estudo sobre a redução de gases de efeito estufa, consumo e eficiência para os combustíveis disponíveis e utilizados no mercado, como a gasolina e o etanol hidratado. Outros combustíveis como substitutos dos comercializados estão em constante análise para se encontrar um combustível alternativo que polua menos e produza mais.

Segundo a análise de Melo (2012), utilizando um motor flex ciclo Otto, o consumo de combustível aumentou com o aumento de etanol na mistura elevando quantidade de emissão de CO_2, quando comparado a gasolina. As emissões de CO diminuíram com a adição de etanol devido ao maior teor de oxigênio, contribuindo com a oxidação de CO_2. As emissões de NO_x não apresentaram um comportamento definido, o resultado variou com a velocidade de rotação do motor. Foram realizados 4 ensaios e esperou-se a estabilização do motor para coleta dos dados.

A pesquisa de Bielaczyc (2013), utilizou um veiculo de passageiros europeu sem modificações no projeto com um motor síncrono e gasolina como combustível original, o veículo foi testado em cima de um dinamômetro de bancada. Foram realizados 4 testes para cada amostra de combustível (E5 a E50). O ensaio colocou o automóvel nas condições de direção urbana (UDC), direção em estradas fora da área urbana (EUDC) e nas duas condições (UDC + EUDC).

Das análises dos gases o autor concluiu que as emissões de hidrocarbonetos mostram resultados modestos com adição de etanol. O CO apresentou uma redução maior, mas pouco significativa, para as duas emissões a redução foi de 18% para E50 em comparação com E5. O NOx também teve uma pequena variação de uma mistura para outra.

Segundo o estudo de Kyriakides (2013), analisando um motor Otto estacionário automotivo de 997 cc, a gasolina, da marca Toyota VVTi, sem conversor catalítico e sem modificação de projeto, foi introduzido aditivos nos combustíveis. A análise foi realizada nas misturas E0, E40 e Eh40 (60% gasolina e 40% de etanol misturado com 10% de água).

Das análises dos gases o autor concluiu que houve uma grande redução quando queimou E40h, devido à queima mais lenta dentro do cilindro e uma menor temperatura de pico durante a queima do processo. Notou-se também um maior consumo de combustível devido ao poder calorifico do etanol ser menor, para os outros gases, não houve alterações significativas (KYRIAKIDES, 2013).

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os procedimentos experimentais abrangem todos os materiais utilizados nos ensaios como o motor-gerador, os combustíveis, quadro de cargas, o analisador de gases, os termômetros entre outros e a metodologia utilizada para execução dos experimentos.

3.1 Motor-gerador

No desenvolvimento do experimento, foi utilizado um motor-gerador da marca Buffalo, modelo BFG 1200 como ilustrado na figura 10, composto de um gerador elétrico 1,2kW/115 V acoplado a um motor de combustão interna tipo Otto, movido à gasolina com potência de 2,8 cv (2060 W).

Através do sistema de geração de energia, apresentado na figura 10, foi conectado um cabo elétrico nos terminais do gerador (plug azul da figura 10) e ligado no quadro de cargas. Após acionar o motor, a chave de liga/desliga do gerador era acionado (botão vermelho da figura 10) e inicia-se a geração da corrente elétrica, a dissipação da potência elétrica produzida e após estabilizar o funcionamento, todas as medidas elétricas foram registradas.

Figura 10 - Motor Buffalo modelo BFG 1200

Fonte: Autor

Na tabela 2 constam as especificações técnicas do motor-gerador fornecido pelo fabricante.

Tabela 2 - Especificações técnicas do motor-gerador utilizado

Motor		**Gerador**		**Grupo**	
Tipo	Motor Buffalo / 4 tempos	Potência Máxima CA	1,2 kW	Capacidade do Tanque	5,5 l
Modelo Motor	BFG 1200	Potência Nominal CA	1,0 kW	Autonomia (50% carga)	6 horas
Cilindrada	87 cm^3	Tensão de saída	115V /230V	Nível de ruído a 7m de distância	67 dB
Diâmetro do cilindro	38 mm	Corrente nominal CA	8,7A / 4,3A	Voltímetro	Sim
Curso do Pistão	54 mm	Tomadas	1 x 115V/230V	Indicador de nível de combustível	Não
Potencia nominal	2,8 CV	Tipo / Fases	Monofásico	Protetor de sobrecarga	Sim
Rotação	3600 RPM	Fator de Potencia	Cos $\phi = 1$	Alerta de nível de óleo	Não
Taxa de compressão	8,0:1	Frequência	60 Hz	Estrutura	Aço Tubular
Combustível	gasolina	Regulador de tensão	Capacitor	Dimensões (L x C x A)	378 x 470 x 400mm
Sistema de partida	Manual retrátil			Peso	24 kg

Fonte: Fabricante Buffalo

3.2 Características da gasolina e do etanol utilizado no ensaio

Para a realização dos experimentos, foi utilizado combustível do distribuidor Ipiranga. Suas características físico-químicas estão descritas na tabela 03.

Os combustíveis (gasolina/etanol) foram medidos com proveta graduada em escala de 0,05 ml e misturados na porção de 100 ml para cada ensaio realizado.

Tabela 3 - Características dos combustíveis utilizado

	Gasolina Original	**Etanol**
Composição	Gasolina : 75 a 80 %	Este produto é uma substância pura
	Etanol : 20 a 25 %	
Estado físico	Produto líquido e transparente a temperatura ambiente, isento de material	Produto líquido e transparente a temperatura ambiente, isento de material em suspensão.
Cor	De incolor a alaranjada	Incolor
Odor	Forte e característico	Característico.
Ph	Teste não efetuado para esse produto	6,0 a 8,0
Temperaturas específicas ou faixas de temperatura nas quais ocorrem mudanças de estado físico	65 ºC (10 % evaporado , máx)	Faixa de Destilação : 78 – 79 ºC @ 760 mm Hg
	80 ºC (50 % evaporado , máx.)	Ponto de Ebulição : 78 ºC
	190 ºC (90 % evaporado , máx.)	Ponto de Fusão : - 118 ºC
	220 ºC (PFE , máx.)	ignição : > 400 ºC
Ponto de fulgor	< 0 ºC (Vaso Aberto)	15,8 ºC (Vaso aberto)
Limites de explosividade:	Inferior: 1,4 %	Inferior: 3,3 %
	Superior: 7,6 %	Superior: 19,0 %
Pressão de Vapor	69 kPa @ 37,8 ºC (máximo)	44 mm Hg @ 20 ºC
Densidade	0,72 – 0,76 @ 20/4 ºC	0,8093 @ 20/4 ºC
Solubilidade	Em água : Desprezível	Em água : Totalmente solúvel
	Solventes Orgânicos : Solúvel	Solventes Orgânicos : Solúvel.
Viscosidade	-	1,20 cP @ 20 ºC
Taxa de evaporação	> 1 (Acetato de Butila =1)	-
Hidrocarbonetos Saturados	32 - 52 % v/v	-
Hidrocarbonetos Olefínicos	30 % v – Valor máx	-
Hidrocarbonetos Aromáticos	45 % v – Valor máx	-
Benzeno	< 1,0 % v/v	-
Álcoois	-	92,6 – 93,8 % p/p

Fonte: Ipiranga Produtos de Petróleo S.A.

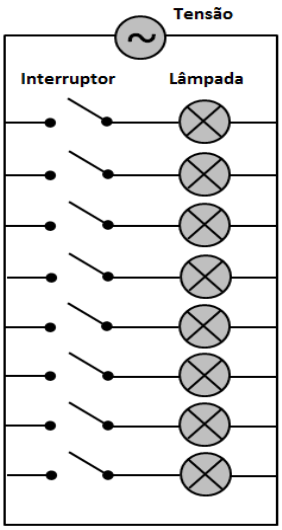
3.3 Materiais utilizados para construir o quadro de cargas resistivas

A Figura 11 representa o desenho esquemático do quadro de cargas utilizado no ensaio, composto de oito lâmpadas incandescentes de 100 W cada, com seus respectivos interruptores formando a carga resistiva necessária para os ensaios e para acionar o gerador. Em todos os

ensaios as 8 lâmpadas foram acionadas antes de se iniciar a medição, para que o motor começasse a operar sempre na mesma condição de cargas constantes de operação.

Foi montado um quadro de madeira, com bocais para alocação de lâmpadas incandescentes para simulação da carga resistiva aplicada ao conjunto motor-gerador. Foram ligadas oito lâmpadas de 100 W cada, sendo que todos os bocais foram acoplados a um interruptor individual.

Figura 11: Desenho Esquemático do Quadro de Cargas



Fonte: Autor

3.4 Medição da temperatura ambiente

A temperatura ambiente foi registrada com um termômetro digital, figura 12, marca Instrutherm, modelo TE-400. O termômetro era fixado em cima da bancada de ensaio. Estes dados foram registrados pelo fato dos ensaios terem sido realizados de março a julho de 2013.

O registro da temperatura foi necessário para averiguar se o motor teria um comportamento diferente com a diferença de temperatura ocorrida durante o período de ensaio, por estar utilizando o etanol em grande quantidade. Este fato não foi relevante para alterar o comportamento do motor.

Figura 12 - Termômetro digital

Fonte: Fabricante Instrutherm

3.5 Medição da temperatura dos gases de exaustão

Para a determinação das temperaturas de saída dos gases de exaustão foi utilizado o termômetro digital portátil, apresentado na figura 13, com sensor termopar tipo K, da marca Instrutherm, modelo TH 1000. O equipamento foi fixado na saída de escape do motor-gerador, onde os gases eram emitidos.

Figura 13 - Termômetro digital para altas temperaturas

Fonte: Fabricante Instrutherm

3.6 Medição da rotação do motor

Para a leitura da rotação do motor, foi utilizado um tacômetro digital infravermelho da marca Homis, modelo H019-031, como apresentado na figura 14. Foi colocado um refletor no rotor do motor-gerador, para medição da rotação, pois este modelo possui interface com computador e o armazenamento dos dados foi feito por um programa específico do equipamento.

Figura 14 - Tacômetro digital

Fonte: Fabricante Homis

3.7 Medição da corrente e tensão

Os registros de corrente e tensão foram realizados com o uso de um alicate wattímetro digital da marca Minipa, modelo ET-4091, apresentado na figura 15, gerenciado por software próprio para leitura de dados de potência, corrente e tensão. Em conjunto com o alicate wattímetro foi colocado um multímetro de marca Instrutherm, modelo VA-760 para averiguação externa das mesmas medidas realizadas pelo wattímetro.

As aferições de potência, corrente e tensão são necessárias para verificar se a capacidade elétrica fornecida pelo conjunto motor-gerador são suficientes para utilização em cargas elétricas com tensão determinada.

Figura 15 - Alicate wattímetro

Fonte: Fabricante Minipa

3.8 Analisador de gases

Para quantificar os gases emitidos pelo motor-gerador nos ensaios, foi utilizado um analisador portátil de gases de combustão fabricado pela Chemist 300, modelo AS0 630 AE, conforme figura 16.

Figura 16 - Analisador de gases

Fonte: Fabricante Chemist

A tabela 4 apresenta os dados do analisador sobre os gases medidos no ensaio, a temperatura dos gases de exaustão e o excesso de ar presente na combustão, o seu range de leitura, tipo de sensor utilizado, resolução e limite de erro.

Tabela 4 - Dados do analisador de gases de combustão

Medição	Sensor	Range	Resolução	Limite de erro
O_2	Eletroquímico	0 a 25% vol.	0,1% vol.	± 0,2% vol.
NO	Eletroquímico	0 a 400 ppm	1 ppm	± 5 pmm para 0 a 100 ppm ± 5% para 100 a 1000 ppm ± 10% para 1000 a 4000 ppm
NO_x	Calculado	0 a 12000 ppm	1 ppm	
CO_2	Calculado	0 a 99,9% vol.	0,1% vol.	
Temp. Gás	Termopar tipo K	810,0 a 99,9 °C	0,1 °C	± 2 °C para 810 a 200°C ± 1% acima de 200 °C
Excesso de Ar	Calculado	1,00 a 23,00	0,01	

Fonte: Fabricante Ecil (Chemist)

A amostragem e análise das emissões gasosas emitidas pelo motor-gerador, assim como analise dos gases, foi realizada pelo o analisador Chemist 300, cuja a sonda era ligada no equipamento e inserida em um orifício no final do escapamento. A aquisição dos dados era obtida através do software próprio do equipamento, instalado no computador.

3.9 Metodologia da pesquisa

Os ensaios foram realizados no campus da UNESP Guaratinguetá, em diferentes condições de tempo e temperatura.

Para cada ensaio, foram utilizados 100 mL de combustível para acionamento do motor, as informações de potência, corrente, tensão, rotação, fator de potência e tempo de acionamento. Eles foram registrados e monitorados até o consumo total do combustível. Foram realizadas cinco experimentos para cada mistura.

Segundo Watizlawick[6] (2012 apud OLANYK, 2013), um experimento deve ser configurado para ser elementar, mas consistente com os objetivos traçados. O delineamento experimental desde trabalho considerou a geração de energia elétrica em pequenos gerados elétricos acionados a motor de combustão interna movido com diferentes misturas de combustíveis.

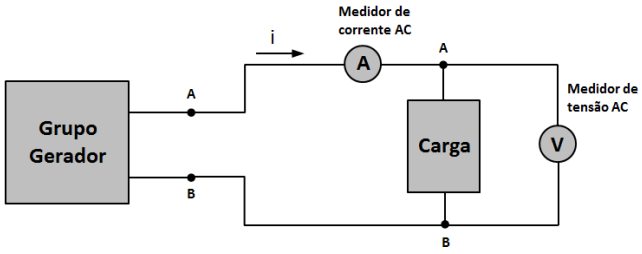
[6] WATIZLAWICK, L. F. **Notas de aula curso de estatística e experimentação agrícola**. Universidade Estadual Centro Oeste, Guarapuava, 2012 apud OLANYK, L.Z. **Avaliação das emissões gasosas de um motor monocilindro ciclo Otto utilizando diferentes misturas de gasolina com etanol e adulterante.** 130 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Centro-oeste, Guarapuava, 2013.

Os números de repetições quanto aos tratamentos foram definidos em função da revisão bibliográfica estudada (WEST, 2008). Além disso, o estudo incorporou a análise utilizando o coeficiente de variância como ferramenta da estatística, que verifica se existe homogeneidade entre os dados adquiridos durante o ensaio.

3.10 Montagem do experimento

A Figura 17 representa o desenho elétrico do conjunto motor-gerador, quadro de cargas e os instrumentos utilizados para a leitura dos dados do ensaio.

Figura 17: Desenho esquemático do conjunto motor-gerador e quadro de cargas



Fonte: Autor

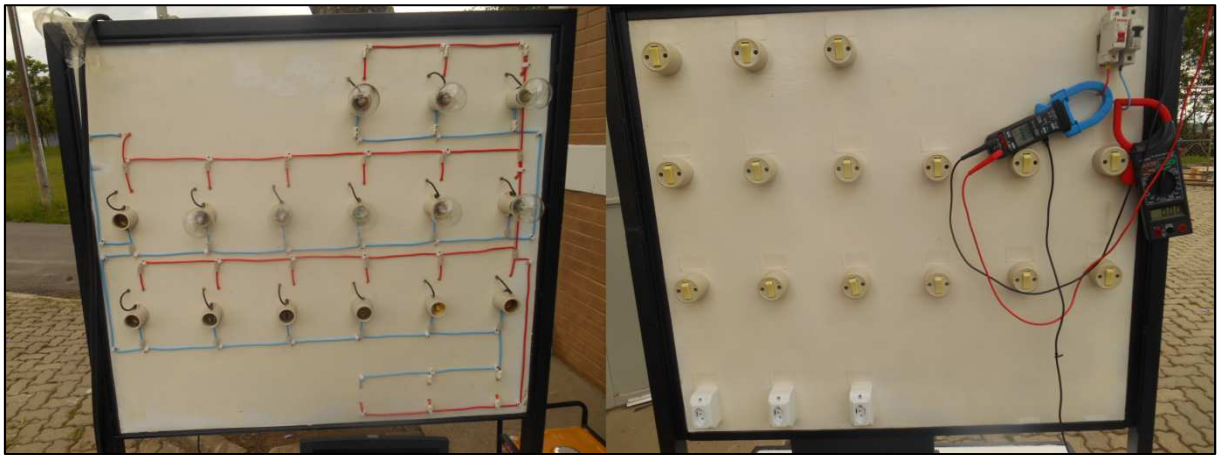
Foram utilizadas misturas de etanol hidratado com gasolina pura, ambos obtidos de fonte comercial. Partiu-se de 0% etanol, ou seja, gasolina pura, e procedeu-se com misturas acrescentando 5% de etanol a cada experimento de modo a alcançar a marca de 100% etanol. Desta forma, foram estudadas 21 amostras de mistura combustível: E0, E5, E10, E15, E20, E30, E35, E40, E45, E50, E55, E60, E65, E70, E75, E80, E85, E90, E95 e E100.

Para cada tipo de mistura combustível foram realizadas em média 500 aquisições durante o tempo de funcionamento do motor-gerador. A leitura começou a ser realizada quando o motor começou a produzir energia efetivamente, que leva em torno de 20 segundos, até o momento em que o motor começou a falhar, enquanto os 100 mL de combustível eram consumidos. Tomou-se como valor resultante a média dos resultados de todos os pontos obtidos para cada parâmetro elétrico monitorado. Este procedimento foi repetido cinco vezes para cada mistura a fim de reduzir os erros experimentais.

3.11 Carga resistiva instalada para simular a demanda de energia elétrica pelo motor-gerador

Para a simulação da carga elétrica aplicada ao motor-gerador foram utilizadas 8 lâmpadas incandescentes de 100W cada, acionadas todas individualmente pelos seus respectivos interruptores, conforme a figura 18. Todas as lâmpadas eram acionadas durante a realização do ensaio para todas as misturas de combustível, e assim permanecia, desde o acionamento do motor até seu desligamento após o consumo total de combustível.

Figura 18 - Quadro de cargas utilizado no ensaio



Fonte: Autor

3.12 Medição dos gases de exaustão

Para a analise dos gases de exaustão utilizou-se o analisador de gases de combustão Chemist. Com uma furadeira foi realizado um orifício de 1,2mm no final do escapamento, como mostrado na figura 19(b), com a intensão de minimizar ao máximo a influência do ar nos resultados e averiguar somente os gases presentes na reação exotérmica ocorrida na câmara de combustão do motor.

O analisador tem como especificação coleta de três dados por amostra. Os mesmos foram registrados com um, quatro e seis minutos de funcionamento do motor. A carga resistiva de 800W permaneceu ligada ao motor sendo, realizado o ensaio com todas as misturas de combustíveis, desde E0 até E100.

Foram determinadas as variações dos gases de exaustão do motor, medindo-se os óxidos nitrosos (NO_x), dióxido de carbono (CO_2), temperatura dos gases de exaustão e o excesso de ar (EA).

A figura 19 apresenta o analisador de gases e a montagem dele no motor-gerador durante o ensaio, a figura 19b, mostra a sonda do analisador introduzida no orifício do escapamento do motor.

Figura 19 - Montagem do ensaio para analise de gases.

(a) analisador de gases (b) sonda do analisador introduzida no orifício do escapamento

(a) (b)

Fonte: Autor

3.13 Obtenção da gasolina pura

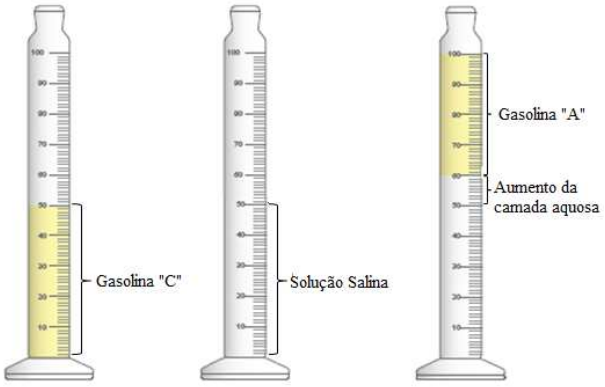
Para obter a gasolina pura, foi realizado o seguinte procedimento, preparou-se uma solução salina, na proporção de 100 g/L. Em uma proveta colocou-se 50% da solução salina mais 50% da gasolina C, adquirida no posto de gasolina, que foi então colocada em um funil de separação e agitada várias vezes até ser posta em repouso, por aproximadamente 3 minutos. Formou-se uma solução heterogênea, bifásica; a gasolina, por ser menos densa, fica na parte superior e na parte inferior fica a solução salina (água + sal) com o álcool anidro extraído da gasolina.

Ao abrir o funil deixa-se escoar esta solução que é descartada em lugar apropriado. Este procedimento de “lavagem” da gasolina é realizado três vezes com a finalidade de extrair todo álcool e toda água da gasolina, com o objetivo de se obter gasolina isenta de etanol.

Esta separação ocorre pelo fato da água ser uma substância polar e a gasolina apolar, formando a mistura heterogênea. O álcool, por ter polaridade reduzida em função do comprimento de sua cadeia carbônica, dissolve inicialmente na gasolina, que é muito apolar, formando uma única fase, mas quando se mistura água na gasolina C, em função da polaridade, o álcool tem mais afinidade com a água do que com a gasolina, formando então a solução de álcool e água. A adição de sal de cozinha (NaCl) se dá com a função de acentuar o caráter polar da água e assim forçar a extração do álcool da gasolina para a água (WANG, 2010) . Isso é chamado de efeito “salt-out” (HEY, 2005).

A gasolina utilizada no experimento continha 18% de etanol. A figura 20, representa o experimento realizado no laboratório, onde a figura (a) é a gasolina obtida no posto de gasolina, e a figura (b) é a solução salina (água + sal de cozinha). A figura (c) é a separação dos dois produtos, onde na parte superior é a gasolina tipo A, e na parte inferior o etanol com a solução salina.

Figura 20 – Representação do experimento realizado em laboratório



(a) (b) (c)

Fonte: Autor

3.14 Estatística – Coeficiente de Variação

Para uma melhor comparação das 21 misturas de combustíveis, utilizou-se da estatística para analisar os dados e qualificar os devidos experimentos referentes aos ensaios. Geralmente, a variação dos dados experimentais é expressa por quatro formas de dispersão, o erro-padrão da média, a variância (S^2) ou desvio padrão (S) e o coeficiente de variação (CV), sendo o último é a medida estatística mais utilizada pelos pesquisadores na avaliação da precisão dos experimentos (AMARAL, 1997).

O CV permite comparações entre variáveis de natureza distintas e fornece um esboço da precisão dos dados. O CV é a relação do desvio padrão (S) expresso em porcentagem da média (m).

$$C.V. = \frac{100S}{m} \tag{3}$$

Segundo Gomes (2009), quanto menor o CV, mais homogêneo são os dados e valores. A tabela 5 demonstra a classificação dos coeficientes de variação (GOMES, 2009).

Tabela 5 - Nível do coeficiente de variação

Nível	Coeficiente de Variação
Baixos	inferiores a 10%
Médios	entre 10% e 20%
Altos	entre 20% e 30%
Muito Altos	acima de 30%

Fonte: Gomes (2009)

A classificação do coeficiente de variação é inversamente proporcional ao nível de precisão do experimento. Quanto maior o coeficiente de variação menor a precisão experimental, ou seja, quanto maior o coeficiente de variação menor a precisão do ensaio. Assim, com coeficiente de variação baixo, obtém-se alta precisão do ensaio. Com CV médio obtém-se média precisão e com CV alto, baixa precisão e CV muito alto, muito baixa precisão (CRUZ, 2012)

O coeficiente de variação, é formado numa estimativa do erro experimental em relação à média geral do ensaio. Quanto menor a estimativa do CV maior será a precisão do ensaio e

quanto maior a precisão, maior a qualidade experimental e menores diferenças entre estimativas de médias (CARGNELUTTI FILHO, 2007).

Gomes (1991) observa que o número de repetições está diretamente ligado aos valores de CV. Quanto maior o número de repetições maior será a precisão do ensaio.

4 RESULTADOS

4.1 Dados obtidos

Os valores apresentados nas tabelas 6 são a média de todos os 500 pontos colhidos nos ensaios por amostra, tendo sido aplicados o mesmo procedimento, considerando misturas desde E0 (gasolina pura) até E100 (etanol puro) e suas misturas de gasolina/etanol desde 5% etanol (E5) até 95% de etanol na mistura (E95).

No apêndice 1 estão as médias por amostra registradas durante os ensaios, estes valores são relativos desde o momento em que o sistema motor-gerador entra em regime de funcionamento até o momento em que o motor começa a falhar e a potência de saída diminui.

No apêndice 2, consta um exemplo dos valores registrados do sistema motor-gerador desde o momento em que ele começa a falhar até o momento do desligamento. Os valores são para mistura E25, relativo ao combustível vendido no posto de gasolina.

Tabela 6 - Dados do ensaio do motor-gerador

ETANOL	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
E0	620,75	0,96	112,19	6,05	529
E5	620,67	0,94	112,13	6,03	566
E10	621,35	0,94	112,52	6,08	521
E15	619,40	0,96	112,16	6,06	541
E20	620,56	0,96	112,60	5,86	551
E25	617,59	0,97	111,67	6,23	565
E30	614,29	0,97	111,63	5,88	548
E35	619,21	0,97	110,93	5,98	574
E40	623,10	0,98	112,29	5,73	546
E45	622,24	0,98	112,24	5,74	585
E50	615,76	0,98	111,62	5,79	508
E55	615,31	0,97	112,46	5,96	538
E60	616,85	0,97	111,77	6,18	534
E65	606,74	0,97	110,57	5,80	497
E70	603,03	0,96	111,29	5,96	508
E75	602,25	0,95	111,47	5,98	511
E80	604,59	0,92	111,86	5,94	496
E85	610,80	0,94	111,29	5,59	494
E90	605,80	0,93	110,94	5,65	463
E95	606,97	0,93	111,03	6,13	499
E100	606,29	0,93	110,79	6,10	464

4.2 Dados da média, desvio padrão e coeficiente de variação da potência elétrica

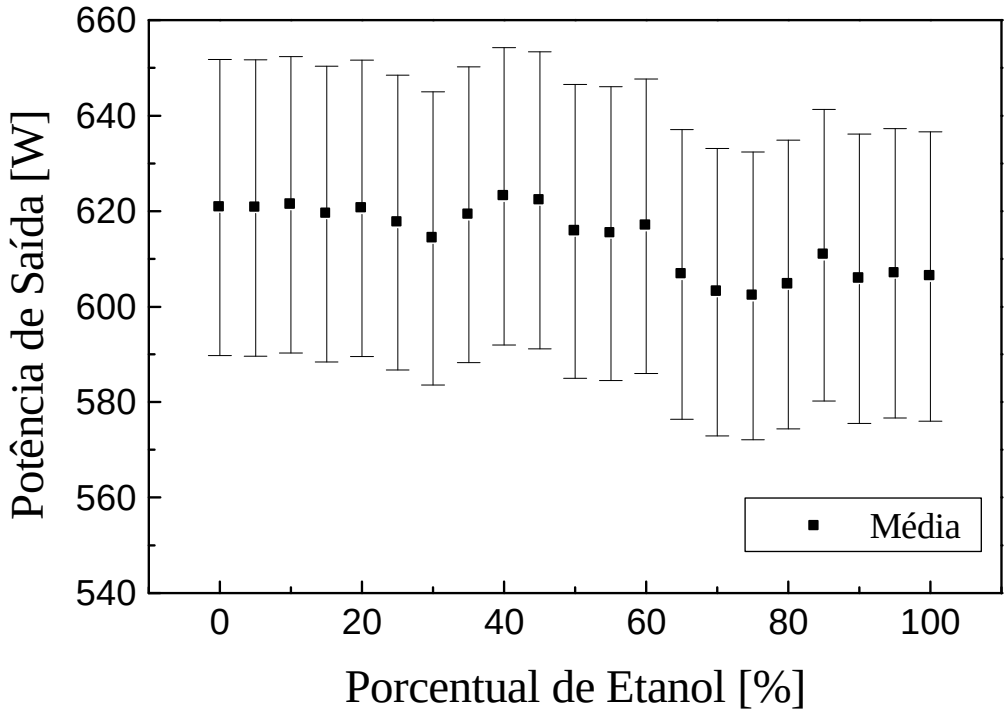
A tabela 7 demonstra a média dos valores de potência colhidos durante os ensaios. Considerou-se o limite mínimo de potência o valor de 450W, calculou-se o desvio padrão e o coeficiente de variação utilizando a equação 3 e assumiu-se como verdadeira a classificação do coeficiente de variação segundo Gomes (2009).

Tabela 7 - Média da potência

Etanol	Média [W]	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Classificação do CV
E0	620,75	14,84	2,39	baixo
E5	620,67	5,65	0,91	baixo
E10	621,35	8,24	1,33	baixo
E15	619,40	10,52	1,70	baixo
E20	620,56	7,25	1,17	baixo
E25	619,62	10,95	1,77	baixo
E30	614,29	6,91	1,12	baixo
E35	619,21	5,02	0,81	baixo
E40	623,10	14,50	2,33	baixo
E45	622,24	8,29	1,33	baixo
E50	615,76	11,73	1,90	baixo
E55	615,31	20,12	3,27	baixo
E60	616,85	15,80	2,56	baixo
E65	606,74	17,30	2,85	baixo
E70	603,03	10,60	1,76	baixo
E75	602,25	19,54	3,24	baixo
E80	604,59	37,93	6,27	baixo
E85	610,80	16,61	2,72	baixo
E90	605,80	14,64	2,42	baixo
E95	606,97	14,79	2,44	baixo
E100	606,29	13,29	2,19	baixo

Uma comparação gráfica dos valores medidos da potência para as misturas e para a gasolina pura, do ensaio com as 8 lâmpadas está representada na figura 21.

Figura 21 – Avaliação do comportamento da potência elétrica com o aumento do percentual de etanol na gasolina



De acordo com o gráfico apresentado na figura 21 observou-se que a potência manteve-se de quase constante para todas as misturas de etanol. Porém se comportou em dois segmentos um de E0 até E60 e outro do ponto da mistura de E65 a E100 com um valor menor, mas irrelevante diante das proporções de geração de energia.

A potência gerada pela gasolina tipo C, vendida no posto de gasolina, é adicionada de 25% de etanol em atendimento à Portaria ANP no 57 de 20/10/2011 (BRASIL, 2011) estabelecida pela Agência Nacional do Petróleo.

Com 25% de etanol, o motor-gerador apresentou uma potência de 617,6 W. Com E60 essa potência praticamente não se alterou, apresentando um resultado de 616,9 W e com E85 o motor gerou 610,8 W, ou seja, somente 2% a menos do que utilizando gasolina tipo C (E25).

A barra de erro foi construída a partir da curva da média das 5 amostras estabelecidas (Amostra 1 (Am1), Amostra 2 (Am2), Amostra 3 (Am3), Amostra 4 (Am4), Amostra 5 (Am5). Considerando um erro de $\pm$ 5%.

Com E100 o motor funcionou normalmente, produziu uma média de potência de 606 W e apresentou um valor dentro da média das outras misturas.

4.3 Dados da média, desvio padrão e coeficiente de variação da tensão elétrica

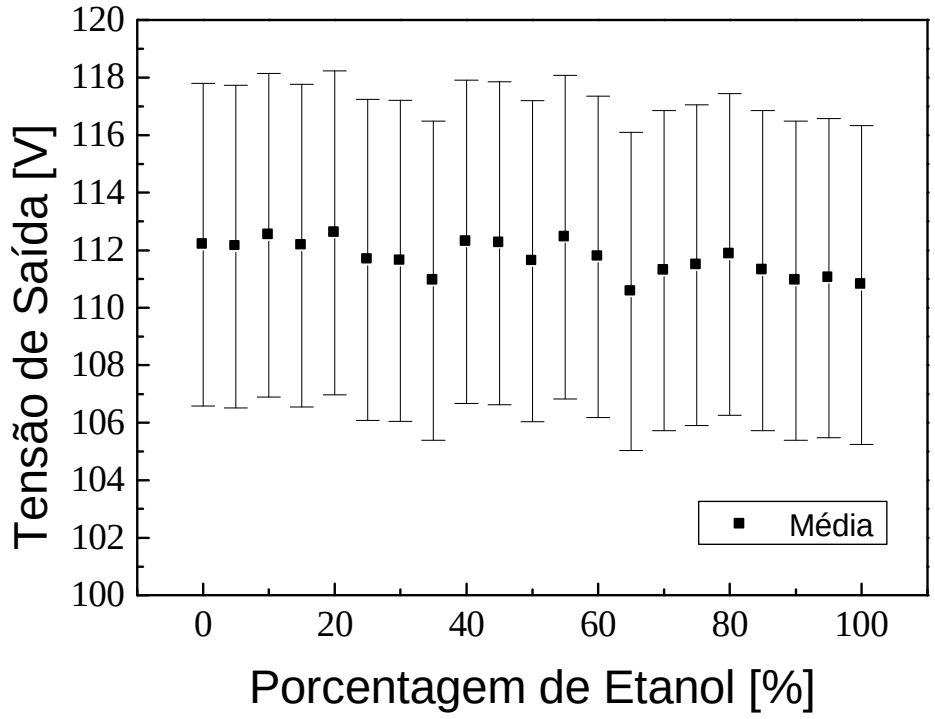
A tabela 8 mostra a média dos valores de tensão colhidos durante os ensaios. Calculou-se o desvio padrão e o coeficiente de variação utilizando a equação 3 e assumiu-se como verdadeiro a classificação do coeficiente de variação segundo Gomes (2009).

Tabela 8 - Média da tensão

Etanol	Média [V]	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Classificação do CV
E0	112,19	1,16	1,03	baixo
E5	112,13	0,51	0,46	baixo
E10	112,52	1,09	0,97	baixo
E15	112,16	1,14	1,01	baixo
E20	112,60	1,26	1,12	baixo
E25	111,67	0,75	0,67	baixo
E30	111,63	0,48	0,43	baixo
E35	110,93	2,52	2,27	baixo
E40	112,29	1,60	1,42	baixo
E45	112,24	1,20	1,07	baixo
E50	111,62	1,59	1,42	baixo
E55	112,44	1,82	1,62	baixo
E60	111,77	1,44	1,29	baixo
E65	110,57	1,76	1,59	baixo
E70	111,29	1,14	1,03	baixo
E75	111,47	1,75	1,57	baixo
E80	111,86	3,04	2,71	baixo
E85	111,29	1,97	1,77	baixo
E90	110,94	1,37	1,23	baixo
E95	111,03	1,02	0,92	baixo
E100	110,79	1,46	1,32	baixo

A tensão gerada pelo sistema motor-gerador é um fator de grande importância para se ter uma fonte de energia de qualidade. Segundo a resolução nº 505, de 26 de novembro de 2001 da ANEEL, a tensão elétrica não pode ser superior a 110% e nem inferior a 90% da tensão nominal de operação. Este requisito foi atendido pelo grupo motor-gerador ensaiado, onde a tensão selecionada para ser gerada foi de 115V. A figura 22 representa o comportamento da tensão gerada pelo motor .

Figura 22 - Avaliação do comportamento da tensão elétrica com o aumento do percentual de etanol na gasolina



A figura 22 mostra que a tensão máxima gerada foi de 112,60 V (E20) e a tensão mínima que foi de 110,56 V (E65). A faixa de tensão gerada foi de 110,56 o que é maior do mínimo de 103,5 V, cumprindo a resolução da ANAEEL.

4.4 Dados da média, desvio padrão e coeficiente de variação da corrente elétrica

A tabela 9 apresenta a média dos valores de corrente colhidos durante os ensaios. Calculou-se o desvio padrão e o coeficiente de variação utilizando a equação 3 e assumiu-se como verdadeiro a classificação do coeficiente de variação segundo Pimentel Gomes.

Tabela 9 - Média da corrente

Etanol	Média [A]	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Classificação do CV
E0	6,05	0,60	9,97	baixo
E5	6,03	0,37	6,07	baixo
E10	6,08	0,33	5,49	baixo
E15	6,06	0,46	7,63	baixo
E20	5,86	0,17	2,89	baixo
E25	5,79	0,13	2,24	baixo
E30	5,88	0,42	7,23	baixo
E35	5,98	0,32	5,39	baixo
E40	5,73	0,17	2,94	baixo
E45	5,74	0,11	1,97	baixo
E50	5,79	0,21	3,68	baixo
E55	5,96	0,48	7,98	baixo
E60	5,83	0,19	3,29	baixo
E65	5,80	0,19	3,32	baixo
E70	5,96	0,58	9,70	baixo
E75	5,98	0,70	11,74	médio
E80	5,94	0,37	6,18	baixo
E85	5,59	0,38	6,74	baixo
E90	5,65	0,47	8,31	baixo
E95	6,13	0,27	4,39	baixo
E100	6,10	0,53	8,67	baixo

4.5 Dados da temperatura dos gases de exaustão

A tabela 10 apresenta os valores de temperatura dos gases de exaustão registrados pelo analisador de gases com o motor funcionado com a carga resistiva. Os dados foram registrados com um minuto, quatro minutos e seis minutos de funcionamento do motor.

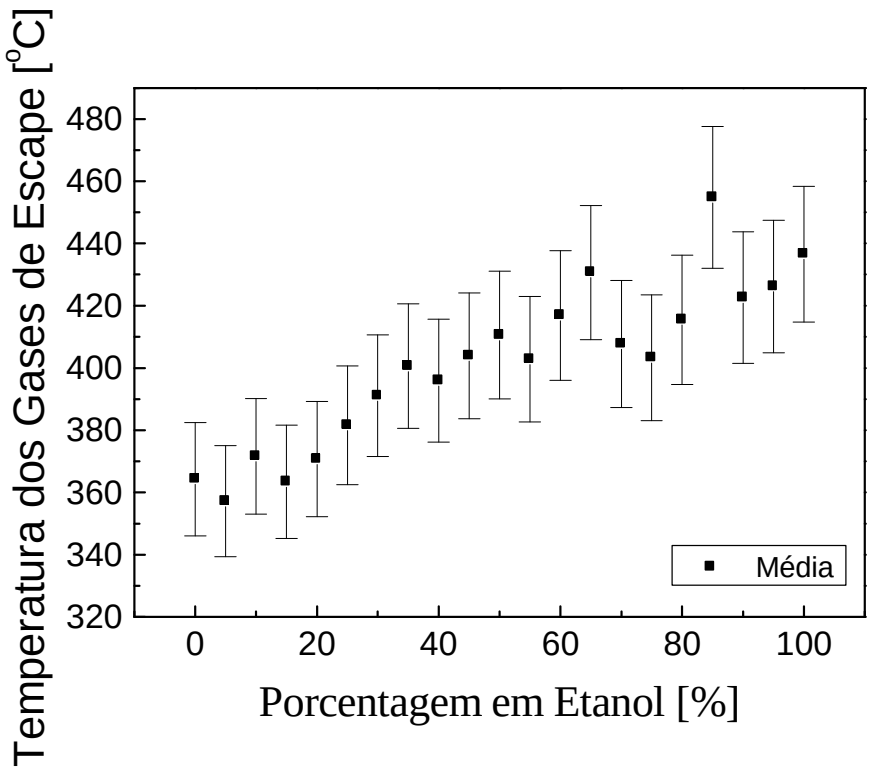
Tabela 10 – Dados da temperatura dos gases de exaustão

Etanol	1’	4’	6’
E0	346,2	368,1	378,6
E5	323,4	371,8	376,3
E10	360,2	372,8	381,9
E15	335,1	378,7	376,4
E20	330,7	387,6	393,7
E25	367,9	387,4	389,4
E30	377,6	395,9	399,8
E35	385,2	407,2	409,4
E40	370,2	411,0	406,4
E45	393,8	407,7	410,2
E50	391,3	420,5	420,0
E55	396,1	407,5	404,7
E60	406,4	421,9	422,4
E65	402,4	462,1	427,5
E70	387,2	416,6	419,4
E75	420,3	372,9	416,6
E80	382,3	432,0	432,3
E85	405,5	477,3	481,7
E90	402,7	433,6	431,4
E95	395,9	441,6	441,2
E100	417,5	445,0	447,4

A figura 23 apresenta a variação da temperatura de gases de exaustão, onde há um aumento no valor do mesma com o aumento da porcentagem de etanol. O volume de gases resultante da mistura é menor com o aumento do etanol, apesar do valor da entalpia de combustão da gasolina ser superior ao do etanol. (HEYWOOD, 1988; SANTOS, 2008).

No gráfico apresentando na figura 23 pode-se observar que houve um aumento linear da temperatura de exaustão até a mistura E50, no intervalo de E50 até E85, a temperatura de comportou de forma inconstante e após E85 a temperatura volta a aumentar de forma linear.

Figura 23 - Avaliação do comportamento da temperatura dos gases de escape com o aumento do percentual de etanol na gasolina



4.6 Dados dos gases de exaustão

As tabelas 11 e 12 apresentam as porcentagens dos gases de exaustão (NO_x e CO_2) registradas pelo analisador de gases com o motor funcionado com a carga resistiva. Os dados foram obtidos com um minuto, quatro minutos e seis minutos de funcionamento do motor.

Outro item a ser observado nas tabelas 11 e 12 é o comportamento do motor após entrar em regime de funcionamento. As curvas de 4 minutos e 6 minutos praticamente se sobrepõe, indicando que após entrar em regime o motor emite a mesma quantidade de NO_x e CO_2.

Tabela 11 - Valores de NO_x

Etanol	1’	4’	6’
E0	111,0	123,0	130,0
E5	140,0	138,0	141,0
E10	125,0	135,0	140,0
E15	135,0	142,0	140,0
E20	175,0	181,0	178,0
E25	193,0	212,0	211,0
E30	263,0	256,0	256,0
E35	370,0	371,0	362,0
E40	393,0	344,0	302,0
E45	330,0	328,0	352,0
E50	398,0	401,0	405,0
E55	314,0	315,0	309,0
E60	353,0	397,0	398,0
E65	370,0	401,0	400,0
E70	341,0	358,0	349,0
E75	355,0	314,0	345,0
E80	254,0	272,0	282,0
E85	311,0	334,0	333,0
E90	153,0	215,0	233,0
E95	140,0	123,0	117,0
E100	322,0	194,0	178,0

Tabela 12 - Dados do CO_2

Etanol	1’	4’	6’
E0	12,4	12,9	13,1
E5	12,3	13,1	13,2
E10	12,7	13,1	13,2
E15	12,3	13,0	12,9
E20	12,3	13,1	13,1
E25	12,7	13,1	13,1
E30	12,4	12,8	12,8
E35	12,3	12,8	12,8
E40	11,6	12,8	12,9
E45	12,3	12,8	12,8
E50	12,1	12,7	12,7
E55	12,5	12,9	12,9
E60	12,4	12,7	12,6
E65	11,9	12,6	12,1
E70	12,1	12,5	12,5
E75	12,5	11,8	12,5
E80	11,4	12,0	12,1
E85	10,7	11,1	11,1

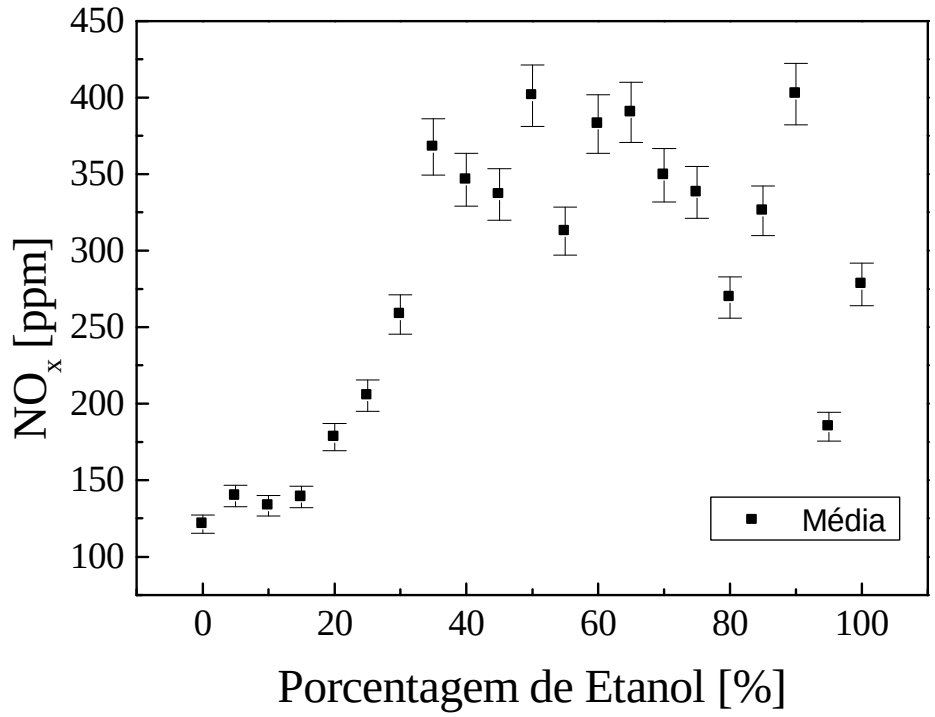
E90	10,9	11,6	11,6
E95	10,8	11,1	11,2
E100	11,7	11,4	11,4

Segundo Heywood (1988), o fato da temperatura de chama aumentar com o aumento do etanol, há também o aumento na taxa de formação de óxido nítrico (NO), como ilustrado pela figura 24. A formação de NO_x é a dissociação e a combinação de N_2 e O_2, encontrados na atmosfera e não no combustível e provocadas pelas elevadas temperaturas e pressões na câmara de combustão (VILANOVA, 2007).

A maior formação de NO_x para o etanol é devido também a maior velocidade de chama do etanol em conjunto com o maior tempo de ignição, favorecendo uma maior pressão e portanto maior temperatura na câmara de combustão (COSTA, 2010; OLANYK, 2013).

O gráfico da figura 24 apresentou um comportamento não linear durante o aumento do etanol na gasolina. De E0 a E35 houve um aumento linear, em E40 houve uma pequena redução e após este ponto o valor de NO_x variou de forma irregular. É possível avaliar que houve um aumento geral se comparado de E0 a E100.

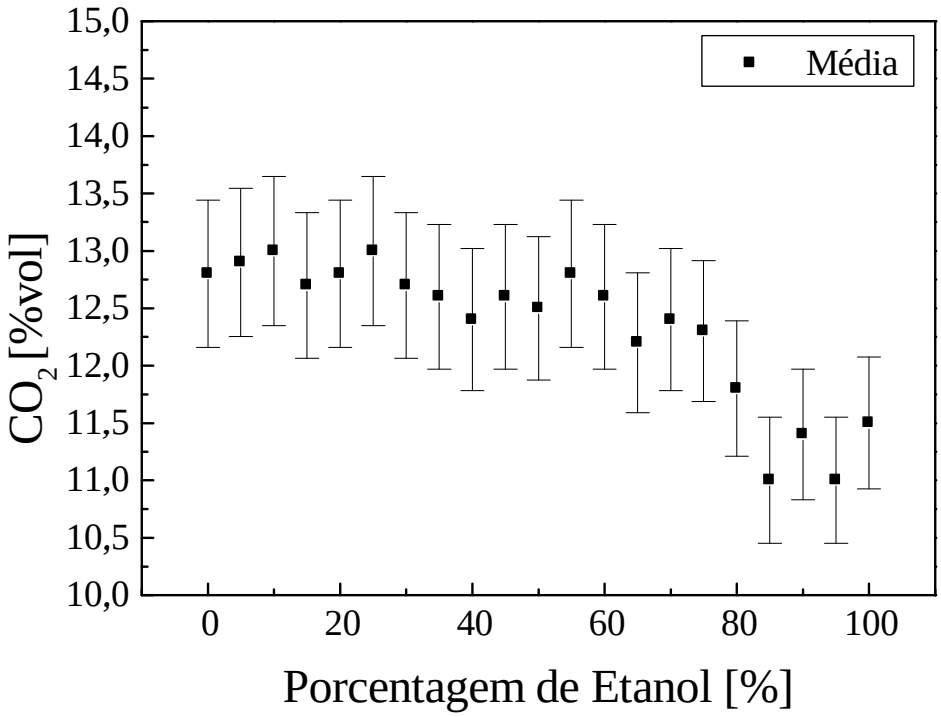
Figura 24 - Avaliação do comportamento do NO_x com o aumento do percentual de etanol na gasolina



. O NO_x aumentou com o aumento da taxa de etanol, segundo Schifter (2011), porém o mesmo analisou somente as misturas E0 a E20. A análise de Bielaczyz (2013), o resultado de NO_x praticamente não se alterou com o aumento de etanol, houve uma pequena diminuição na condição UDC (urban driving cycle) e um pequeno aumento na situação EUDC (Extra-urban driving cycle).

A figura 25 apresenta a emissão de CO_2, onde nota-se a redução da emissão com a adição gradual de etanol (KARAVALAKIS, 2012). Quando o motor-gerador funcionou com 100% de gasolina, a quantidade de CO_2 emitida era de 12,8% em vol. Após a inserção do etanol, esta quantidade variou para 11,0% vol. para a mistura de E85, com o menor ponto de CO_2 emitido pelo motor. Uma redução absoluta de 1,8% e uma redução relativa de 14%.

Figura 25 - Avaliação do comportamento do CO_2 com o aumento do percentual de etanol na gasolina



Analisando a tabela 12, observa-se com 1 minuto de funcionamento a emissão de CO_2 é menor. Para 4 minutos (Min4) e 6 minutos (Min6) os valores da emissão de CO_2 ficam constante.

4.7 Dados do excesso de ar da combustão

A tabela 13 apresenta os valores de excesso de ar expelido pelo motor-gerador, com a carga resistiva. Todos os dados foram gravados nos tempos um, quatro e seis minutos após o motor ser acionado e estabilizada a rotação.

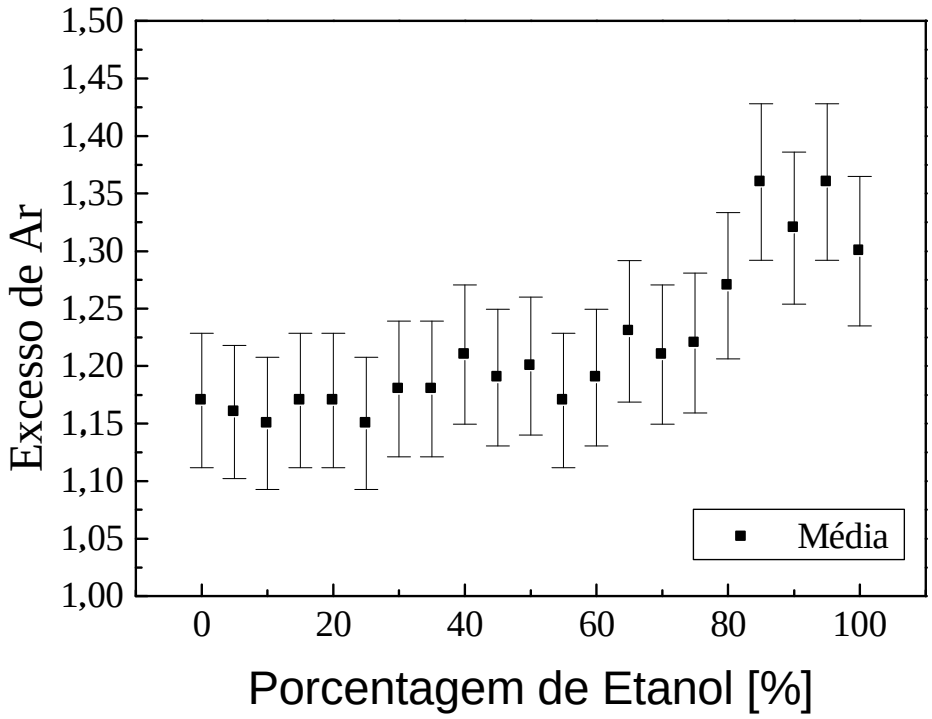
Tabela 13 - Excesso de ar presente na combustão

Etanol	1’	4’	6’
E0	1,20	1,16	1,14
E5	1,22	1,14	1,13
E10	1,18	1,14	1,13
E15	1,21	1,15	1,16
E20	1,22	1,14	1,14
E25	1,18	1,14	1,14
E30	1,20	1,17	1,16
E35	1,21	1,16	1,16
E40	1,29	1,17	1,16
E45	1,22	1,17	1,17
E50	1,23	1,18	1,18
E55	1,20	1,16	1,16
E60	1,20	1,18	1,18
E65	1,26	1,19	1,24
E70	1,24	1,20	1,20
E75	1,20	1,27	1,20
E80	1,32	1,25	1,24
E85	1,40	1,34	1,34
E90	1,37	1,29	1,29
E95	1,39	1,34	1,34
E100	1,28	1,31	1,32

A figura 26 ilustra o excesso de ar (EA) da combustão do motor-gerador. O etanol apresenta uma tolerância à combustão com excesso de ar de modo que, quanto maior a porcentagem de etanol, maior a quantidade de excesso de ar. Isto possibilita uma queima mais completa, com menor emissão de CO (GUARIEIRO, 2011). A menor complexidade molecular do etanol possibilita uma combustão com pequena formação de partículas de carbono, o que resulta em emissão desprezível de material particulado (TEIXEIRA, 2008).

O gráfico apresentado na figura 26 ilustra um aumento linear da quantidade de excesso de ar emitido pelo motor, confirmando a teoria de quanto maior a quantidade de etanol, maior a quantidade de excesso de ar (GUARIEIRO, 2011).

Figura 26 - Avaliação do comportamento do excesso de ar com o aumento do percentual de etanol na gasolina



4.8 Dados da eficiência em PCI

A tabela 14 apresenta os valores da eficiência em PCI do motor-gerador, com a carga resistiva. Todos os dados foram gravados nos tempos um, quatro e seis minutos após o motor ser acionado e estabilizada a rotação.

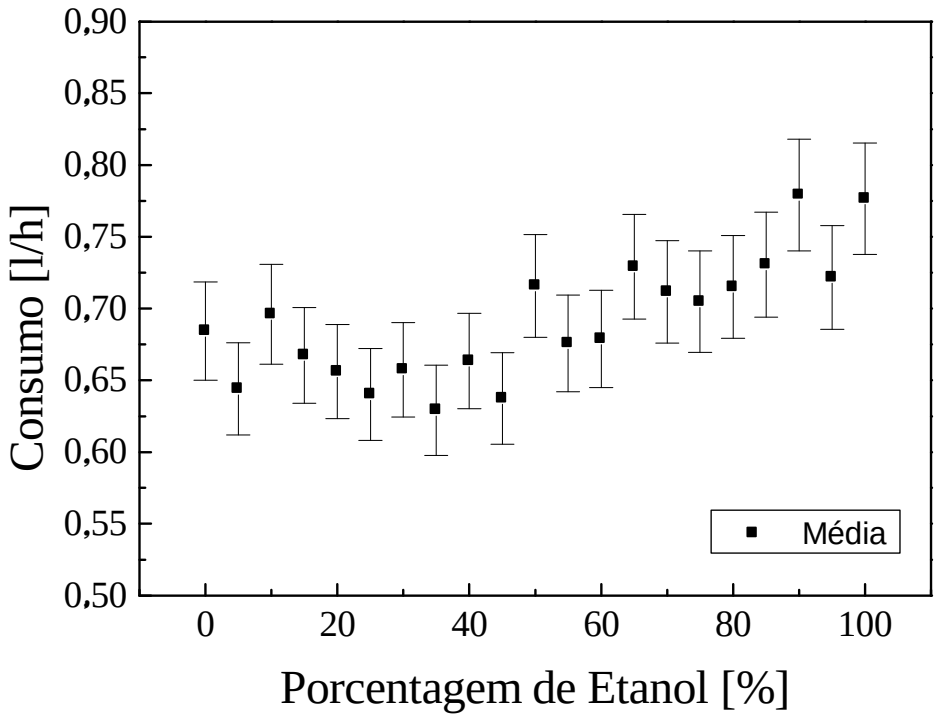
Tabela 14 - Eficiência em PCI

Etanol	1'	4'	6'
E0	85,4	84,9	84,6
E5	86,4	85,0	85,0
E10	85,2	85,1	84,8
E15	86,0	84,7	84,7
E20	86,1	84,5	84,2
E25	84,9	84,3	84,2
E30	84,1	83,7	83,6
E35	83,6	83,2	83,1
E40	83,3	82,9	83,3
E45	83,1	83,0	82,9
E50	83,0	82,3	82,4
E55	82,2	82,0	82,2
E60	81,6	81,2	81,1
E65	81,0	79,1	80,1
E70	82,1	81,2	81,0
E75	81,0	82,4	81,2
E80	81,4	79,8	79,9
E85	79,2	76,0	75,8
E90	79,6	79,0	79,2
E95	80,0	78,1	78,2
E100	80,3	78,4	78,2

Outro comportamento de importância a ser analisado é o consumo do grupo motor-gerador ilustrado na figura 27, o qual também não apresentou grande distorção com o aumento do etanol.

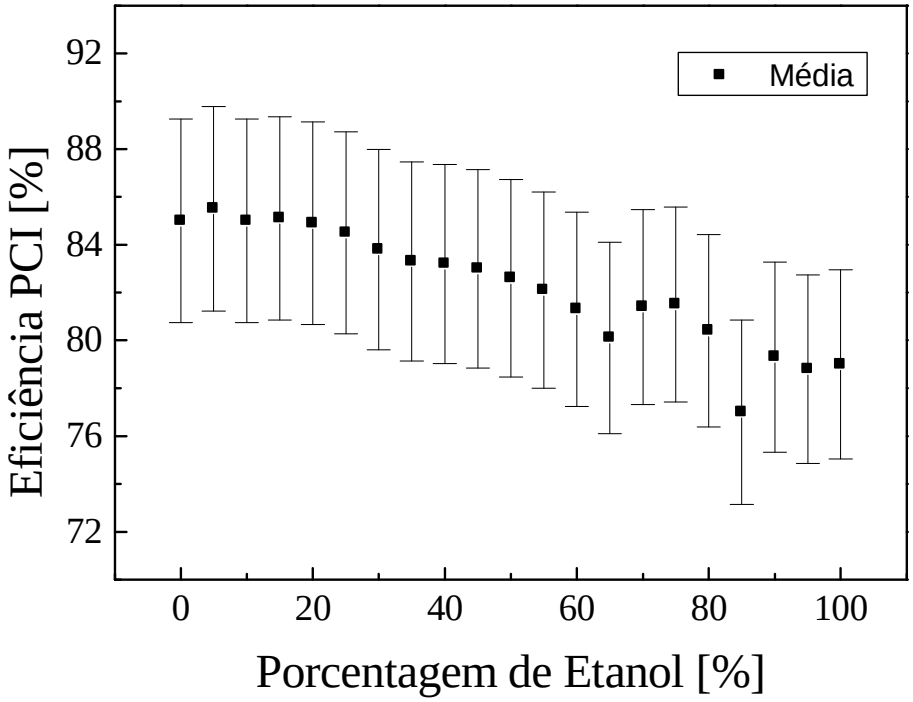
O motor teve um consumo específico de 0,63 l/h utilizando gasolina tipo C e com 85% de etanol o consumo aumentou para 0,73 l/h. Este aumento de consumo é esperado pelo fato do etanol possuir menor poder calorífico inferior (PCI = 36.800 kJ/kg) quando comparado à gasolina (PCI = 43.000 kJ/kg) (BALKI, 2014). Isso significa que, para liberar a mesma quantidade de energia que a gasolina, o etanol necessita de uma maior quantidade de massa, o que resulta em um consumo específico maior de combustível, como ilustrado pelo gráfico da figura 27. Com o aumento de etanol na mistura há uma redução linear na eficiência em PCI do motor (CANAKCI, 2013, COSTAGLIOLA, 2013).

Figura 27 - Avaliação do comportamento do consumo específico com o aumento do percentual de etanol na gasolina



O mesmo resultado foi encontrado no trabalho de Melo (2012), onde houve um maior consumo de combustível com o aumento do etanol na gasolina.

Figura 28 - Avaliação do comportamento da eficiência em PCI com o aumento do percentual de etanol na gasolina



4.9 Aplicação da utilização do sistema motor-gerador

Como informação final, a energia elétrica produzida pelo motor-gerador utilizado neste trabalho é capaz de alimentar as necessidades básicas de uma casa composta de dois quartos, uma sala, uma cozinha e um banheiro. Estima-se, neste caso, um consumo de 100 W para iluminação, de 200 W para a geladeira, de 100 W para uma televisão, totalizando assim, uma potência de 600 W, portanto inferior à fornecida pelo sistema gerador. Um fator importante na escolha do motor-gerador é a corrente de partida dos equipamentos ligados ao motor. Esta corrente comporta-se normalmente como um pico de partida elevado, que ao longo do tempo e vai reduzindo até chegar a corrente nominal. A corrente de partida pode chegar a um valor muito maior que a nominal, tornando-se um problema para o custo da instalação elétrica como para a qualidade e eficiência energética.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com base nos ensaios realizados pode-se concluir que o sistema motor-gerador funciona adequadamente com grandes porcentagens de etanol. Não houve necessidade de modificações físicas no motor. A alteração que foi o objetivo do trabalho, foi a alteração da composição do combustível original determinado pelo fabricante, a gasolina tipo C. A mistura não apresentou fase aquosa em nenhuma porcentagem de etanol utilizada.

Para as análises realizadas os coeficientes de variância não ultrapassaram 10%. O maior valor encontrado foi para a composição de E80 (6,27% para a potência e 2,71% para a tensão), o que significa que os resultados são homogêneos.

Após a realização do ensaio, concluiu-se que este trabalho é economicamente viável, pois é um projeto de baixo custo. Um sistema composto de motor-gerador necessita de um investimento inicial de R$950,00. Trata-se de um conjunto de fácil manuseio, custo relativamente baixo e fácil transporte. O combustível da mistura na sua maior parte é o etanol.

Além desses benefícios, outro fator de grande importância é a redução na quantidade de gases de efeito estufa provenientes da queima de combustíveis fósseis. Foi constatado em ensaios com o motor-gerador, que a quantidade emitida de CO_2, um dos principais gases que causam o aquecimento global, diminui com o aumento do etanol na mistura de combustível.

O etanol apresenta o balanço de carbono praticamente igual a zero, uma vez que as plantações de cana-de-açúcar absorvem o gás carbônico no processo da fotossíntese, ao contrário da gasolina, por se tratar de combustível fóssil promove grande emissão de gases de efeito para atmosfera.

Um exemplo de proporção para o combustível é de E85, pois é um ponto com alto índice de etanol que apresentou um valor adequado de potência com o mesmo consumo de combustível. Para se obter essa relação de E85 na mistura é necessário acrescentar quatro litros de etanol em um litro de gasolina tipo C adquirida em posto de combustível.

Como uma das principais contribuições desde trabalho pode-se apontar a redução de emissões globais do efeito estufa e a oportunidade viável da população rural ter acesso a energia elétrica. O motor-gerador alimentado, pelo etanol produzido na própria propriedade, aumentando a qualidade de vida, o acesso as informações através de rádio e televisão, computadores podendo se aperfeiçoar para buscar novos horizonte e crescer como profissional.

Como sugestão para trabalhos futuros propõe-se:

1. Análise do material do tanque de combustível e outras peças fabricadas para a utilização da gasolina, tempo de reparo para a manutenção e vida útil;
2. Alteração de algumas peças como válvulas mais apropriadas para utilização do etanol;
3. Análise de combustível com um teor maior de água no etanol hidratado, como utilizado no trabalho de Kyriakides (2013), onde o foco era um motor automotivo;

REFERÊNCIAS

AMARAL, A.M.; MUNIZ, J.A.; SOUZA, M. Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão na experimentação com citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 32, n. 12, p.1221-1225, dez. 1997.

ANDRADE, N.S.F.; FILHO, M.V.M.; TORRES, G.T.P.; JÚNIOR, J.M. Impacto técnico e econômico das perdas de solo e nutrientes por erosão no cultivo da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 31, n. 3, p.539-550, jun. 2011.

BALKI, M.K.; SAYIN, C.; CANAKCIC, M. The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine. **Fuel,** ., v. 115, n. , p.901-906, jan. 2014.

BIELACZYC, P.; Woodburn, J.; Klimkiewicz D.; Pajdowski P.; Szczotka A. An examination of the effect of ethanol–gasoline blends' physicochemical properties on emissions from a light-duty spark ignition engine. **Fuel Processing Technology,** v. 107, p.50-63, mar. 2013.

BNDES e CGEE (Org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar:** energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Bndes, 2008. 316 p.

BORRERO, M.A.V.; PEREIRA, J.T.V.; MIRANDA, E.e.. An environmental management method for sugar cane alcohol production in Brazil. **Biomass And Bioenergy,** v. 25, n. 3, p.287-299, set. 2003.

BUFFALO MOTORES E ACOPLADORES. **Motogerados.** Disponível em: <http://www.buffalo.com.br/>. Acesso em: 16 dez. 2013.

CANAKCI, M. Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine. **Renewable Energy,** v. 52, p.111-117, abr. 2013.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 42, n. 1, p.17-24, jan. 2007.

CHEMIST. **Analisador de gases.** Disponível em: <http://www.ecil.com.br>. Acesso em: 16 dez. 2013.

COSTA, R.C.; SODRÉ, J.R.. Hydrous ethanol vs. gasoline-ethanol blend: Engine performance and emissions. **Fuel,** v. 89, n. 2, p.287-293, fev. 2010.

COSTAGLIOLA, M.A. Combustion efficiency and engine out emissions of a S.I. engine fueled with alcohol/gasoline blends. **Applied Energy,** v. 111, p.1162-1171, nov. 2013.

CRUZ, E.A.; MOREIRA, G.R.; PAULA M.O; OLIVEIRA, A.C.M. Coeficiente de variação como medida de precisão em experimentos com tomate em ambiente protegido. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 8, n. 14, p.220-230, dez. 2012.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Outlook Fiesp 2023:** projeções para o agronegócio brasileiro. São Paulo: Fiesp, 2013. 115 p..

GUARIEIRO, L.L.N.; VASCONCELLOS, P.C.; SOLCI, M.C. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química,** Niterói, v. 3, n. 5, p.434-445, nov. 11.

GHELER-COSTA, C.; Sabino-Santos, G.J., Amorim, L.S.; Rosalino, L.M.; Figueiredo, L.T.M.; Verdade, L.M. The effect of pre-harvest fire on the small mammal assemblage in sugarcane fields. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 171, p.85-89, maio 2013.

HEY, M.J.; JACKSON, D.P.; YAN, H. The salting-out effect and phase separation in aqueous solutions of electrolytes and poly(ethylene glycol). **Polymer**, v. 26, n. 8, p.2567-2572, 29 mar. 2005.

HEYWOOD, J.B. **Internal combustion engine fundamentals.** Singapore: Mcgraw Hill Book Co., 1988. p.567.

HOMIS. **Tacômetro digital.** Disponível em: <http://www.homis.com.br/>. Acesso em: 16 dez. 2013.

IEA - International Energy Agency. **Technology Roadmap:** Biofuels for Transport. Paris: Iea, 2011. 56 p.

INSTRUTHERM. **Termômetro digital.** Disponível em: <http://www.instrutherm.com.br/instrutherm/>. Acesso em: 16 dez. 2013.

KARAVALAKIS, G. Impacts of ethanol fuel level on emissions of regulated and unregulated pollutants from a fleet of gasoline light-duty vehicles. **Fuel,** v. 93, p.549-558, mar. 2012.

KITAYAMA, O. **Situação da cogeração:** as possibilidades de cogeração com biomassa da cana. Rio de Janeiro: BNDES, 2003.

KYRIAKIDES, A.; Dimas, V.; Lymperopoulou, E.; Karonis, D.; Lois, E. Evaluation of gasoline–ethanol–water ternary mixtures used as a fuel for an Otto engine. **Fuel**, v. 108, n. , p.208-215, jun. 2013.

KURAHASSI, L.F. **A eletrificação rural em São Paulo - custos e padrões.** 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Departamento de Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MACEDO, I.C. The sugar cane agroindustry - its contribution to reduce CO_2 emissions in Brazil. **Biomass and bioenergy,** Piracicaba, v. 3, n. 2, p.77-80, jul. 1992.

MACEDO, I.C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil. **Biomass and bioenergy,** Piracicaba, v. 14, n. 1, p.77-81, ago. 1997.

MACEDO, I.C.; CARVALHO, E.P. **A energia da cana-de-açúcar – doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade.** São Paulo: UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, 2007. 232 p.

MACEDO, I.C.; NOGUEIRA, L.A.H. **Avaliação da expansão da produção de etanol no Brasil.** Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2004.

MANZATTO, C.V. ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M.; ZARONI, M.J.; PEREIRA, S.E.M. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar:** expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 58 p.

MASUM, B.M. Effect of ethanol–gasoline blend on NOx emission in SI engine. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** v. 24, p.209-222, set. 2013.

MELO, T.C.C.; Machado, G.B.; Belchior C.R.P.; Colaço M.J.; Barros J.E.M.; Oliveira E.J.; Oliveira, D.G. Hydrous ethanol–gasoline blends: combustion and emission investigations on a Flex-Fuel engine. **Fuel,** ., v. 97, n. 1, p.796-804, jul. 2012.

MINIPA. **Alicate wattímetro.** Disponível em: <http://www.minipa.com.br>. Acesso em: 16 dez. 2013.

MOREIRA, J.R. Sugarcane for energy - recent results and progress in Brazil. **Energy for sustainable development,** São Paulo, v. 3, n. 4, p.43-54, out. 2000.

MME, Ministério de Minas e Energia, 2011, Rio de Janeiro. **Balanço energético nacional.** Rio de Janeiro: EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2012. 282 p.

OLANYK, L.Z. **Avaliação das emissões gasosas de um motor monocilindro ciclo Otto utilizando diferentes misturas de gasolina com etanol e adulterante.** 130 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Centro-oeste, Guarapuava, 2013.

ORG, World Bank. **Ano internacional de energia sustentável para todos:** resumo executivo.

GOMES, Frederico Pimentel. **Curso de estatística experimental.** 15. ed. Piracicaba: Fealq, 2009. 451 p.

GOMES, F.P. **O índice de variação, um substituto vantajoso do coeficiente de variação.** Piracicaba: Ipef, 1991. 5 f. (Circular técnica, 178).

RIBEIRO, F.S.; Pazzini, L.H.A.; Pelegrini, M.A.; Kurahassi, L.F.; Galvão, L.C.R. Programa "Luz da Terra"**:** modelo de eletrificação rural participativo. In: in proceedings of the 3. encontro de energia no meio rural, 2003, Campinas.

RODRIGUES, L.D. **Cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis:** impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação. 2010. 64 f. Especialização (Especialista em Análise Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

ROSSETTO, R. A cultura da cana, da degradação à conservação. **Visão Agrícola,** Piracicaba, v. 1, n. 1, p.80-85, 2004.

SANTOS, A.C.; PEIXOTO, R.A. Effect of the addition of ethanol into gasoline in the emission of greenhouse gases. **Science & Engineering Journal,** Uberlândia, v. 17, n. 1, p.33-41, dez. 2008.

SANTOS, D.S. Produção de etanol de segunda geração por *zymomonas mobilis* naturalmente ocorrente e recombinante, empregando biomassa lignocelulósica. 2012. 234 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SEABRA, J.E.A. **Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil.** 2008. 298 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SCHIFTER, I.; Diaz L.; Rodriguez, R.; Gómez, J.P.; Gonzalez, U. Combustion and emissions behavior for ethanol–gasoline blends in a single cylinder engine. **Fuel,** ., v. 90, n. 12, p.3586-3592, dez. 2011.

SILVEIRA, V.F. **Avaliação da injeção de gás HHO em um gerador a gasolina para fins de energização rural.** 2012. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

SOUSA, E.L.L.; MACEDO, I.C. (Org.). **Etanol e bioeletricidade:** a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.

TEIXEIRA, F.A.; PIRES, A.V.; NASCIMENTO, P.V.N. Bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de bovinos. **Redvet: Revista Electrónica de Veterinaria,** Málaga, v. 8, n. 6, p.1695-7504, mar. 2007.

TEIXEIRA, E.C.; FELTES, S.; SANTANA, E.R.R. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p.244-248, 2008.

VALENTE, O.S.. **Desempenho e emissões de um motor-gerador de energia elétrica operando com biodiesel.** 2007. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

VILANOVA, L.C. Efeitos da adição de etanol hidratado no combustível e do sistema de formação da mistura no desempenho e nas emissões de um motor bicombustível

brasileiro. 2007. 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

WANG, Y.; Han, J.; Xu, X.; Hu, S.; Yan, Y. Partition behavior and partition mechanism of antibiotics in ethanol/2-propanol–ammonium sulfate aqueous two-phase systems. **Separation And Purification Technology,** ., v. 75, n. 3, p.352-357, 20 nov. 2010.

WEST, B. KNOLL, K.; CLARK, W.; GRAVES, R.; ORBAN, J.; PRZESMITZKI, S.; THEISS, T. Effects of Intermediate Ethanol Blends on Legacy Vehicles and Small Non-Road Engines. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 2008. 136p.

APÊNDICE A1

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E0

A tabela 15, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E0 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E0 foi de 29 °C e a média da rotação do motor foi de 3543 rpm.

Tabela 15 - Médias para a solução E0

Amostra	Potência [W]	Fator de Potencia	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	611,05	0,99	111,62	5,63	478
2	623,71	0,90	112,74	7,06	515
3	604,68	0,98	110,52	5,66	591
4	620,77	0,96	112,50	6,16	507
5	643,55	0,96	113,56	5,76	553

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E5

A tabela 16, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E5 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E5 foi de 27 °C e a média da rotação do motor foi de 3576 rpm.

Tabela 16 - Médias para a solução E5

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	622,20	0,99	111,47	5,60	648
2	623,25	0,87	112,82	6,56	466
3	611,47	0,92	112,42	6,19	583
4	619,94	0,96	111,99	5,83	552
5	626,47	0,97	111,95	5,98	579

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E10

A tabela 17, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E10 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E10 foi de 29 °C e a média da rotação do motor foi de 3571 rpm.

.

Tabela 17 - Médias para a solução E10

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	615,02	0,95	111,33	6,25	479
2	630,92	0,89	113,60	6,14	476
3	611,38	0,97	111,74	6,52	555
4	621,72	0,93	113,72	5,80	516
5	627,70	0,98	112,19	5,70	576

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E15

A tabela 18, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E15 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E15 foi de 28 °C e a média da rotação do motor foi de 3576 rpm.

Tabela 18 - Médias para a solução E15

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	613,71	0,99	111,00	5,63	553
2	631,17	0,90	113,69	6,46	494
3	609,38	0,97	111,28	6,62	566
4	612,33	0,95	112,95	5,95	515
5	630,40	0,97	111,86	5,63	579

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E20

A tabela 19, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E20 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E20 foi de 27 °C e a média da rotação do motor foi de 3580 rpm.

Tabela 19 - Médias para a solução E20

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	614,03	0,99	111,07	5,63	571
2	624,12	0,88	113,76	6,02	488
3	612,25	0,97	112,14	5,95	560
4	629,53	0,97	114,06	5,96	543
5	622,86	0,97	111,98	5,73	583

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E25

A tabela 20, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E25 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E25 foi de 28 °C e a média da rotação do motor foi de 3574 rpm.

Tabela 20 - Médias para a solução E25

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	609,67	0,98	111,10	5,69	504
2	637,97	0,99	112,93	5,66	627
3	605,51	0,96	111,24	8,04	568
4	614,40	0,95	111,28	5,98	542
5	620,40	0,96	111,78	5,78	585

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E30

A tabela 21, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E30 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E30 foi de 28 °C e a média da rotação do motor foi de 3589 rpm.

Tabela 21 - Médias para a solução E30

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	606,77	0,99	111,53	5,58	516
2	617,11	0,99	111,45	5,71	544
3	608,29	0,97	111,37	5,81	564
4	623,72	0,98	112,48	5,67	556
5	615,55	0,95	111,32	6,62	561

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E35

A tabela 22, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E35 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E35 foi de 28 °C e a média da rotação do motor foi de 3457 rpm.

Tabela 22 - Médias para a solução E35

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	611,70	0,99	111,10	5,64	580
2	624,69	0,99	111,08	5,67	603
3	618,64	0,96	106,78	6,36	544
4	622,83	0,98	112,25	6,00	540
5	618,20	0,92	113,46	6,23	601

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E40

A tabela 23, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E40 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E40 foi de 27 °C e a média da rotação do motor foi de 3565 rpm.

Tabela 23 - Médias para a solução E40

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	611,60	0,99	110,52	5,56	561
2	623,48	0,99	111,24	5,67	594
3	612,17	0,97	112,44	5,61	565
4	620,95	0,97	112,56	5,93	532
5	647,27	0,96	114,71	5,89	477

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E45

A tabela 24, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E45 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E45 foi de 27 °C e a média da rotação do motor foi de 3469 rpm.

Tabela 24 - Médias para a solução E45

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	615,07	0,99	110,95	5,61	424
2	621,90	0,99	111,39	5,65	574
3	613,67	0,97	111,88	5,75	571
4	627,01	0,99	113,25	5,88	766
5	633,53	0,96	113,74	5,80	589

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E50

A tabela 25, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E50 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E50 foi de 27 °C e a média da rotação do motor foi de 3501 rpm.

Tabela 25 - Medidas para a solução E50

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	608,44	0,99	110,51	5,60	537
2	609,36	0,98	109,63	5,56	475
3	610,32	0,96	112,06	5,84	547
4	614,33	0,98	112,17	5,88	424
5	636,35	0,97	113,72	6,08	559

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E55

A tabela 26, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E55 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E55 foi de 27 °C e a média da rotação do motor foi de 3542 rpm.

Tabela 26 - Médias para a solução E55

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	592,93	0,97	113,09	5,36	629
2	613,85	0,98	110,52	5,68	495
3	604,50	0,96	111,39	12,18	543
4	618,50	0,98	111,95	5,91	544
5	646,76	0,96	115,23	44,69	477

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E60

A tabela 27, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E60 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E60 foi de 27 °C e a média da rotação do motor foi de 3537 rpm.

Tabela 27 - Médias para a solução E60

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	627,20	0,98	112,82	5,71	598
2	608,93	0,98	110,31	5,60	469
3	594,83	0,96	110,35	7,56	523
4	617,94	0,97	111,85	6,10	520
5	635,36	0,97	113,51	5,91	559

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E65

A tabela 28, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E65 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E65 foi de 28 °C e a média da rotação do motor foi de 3375 rpm.

Tabela 28 - Médias para a solução E65

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	617,73	0,98	111,47	5,78	488
2	593,44	0,98	109,31	5,62	428
3	590,53	0,97	108,44	5,60	504
4	600,76	0,98	110,71	6,01	526
5	631,26	0,97	112,89	5,97	539

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E70

A tabela 29, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E70 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E70 foi de 29 °C e a média da rotação do motor foi de 3522 rpm.

Tabela 29 - Médias para a solução E70

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	598,09	0,97	109,76	5,64	452
2	598,48	0,97	112,96	5,41	557
3	590,71	0,90	111,04	5,64	534
4	616,62	0,98	111,43	6,29	496
5	611,26	0,96	111,25	6,81	503

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E75

A tabela 30, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E75 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E75 foi de 29 °C e a média da rotação do motor foi de 3421 rpm.

Tabela 30 - Médias para a solução E75

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	593,94	0,94	113,18	4,95	517
2	598,16	0,97	112,60	6,86	518
3	576,00	0,90	108,64	5,87	495
4	619,86	0,98	111,55	6,32	489
5	623,29	0,97	111,41	5,92	537

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E80

A tabela 31, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E80 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E80 foi de 29°C e a média da rotação do motor foi de 3125 rpm.

Tabela 31 - Médias para a solução E80

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	568,23	0,89	112,50	5,61	496
2	636,59	0,94	112,46	6,46	503
3	560,93	0,88	106,83	5,64	473
4	615,38	0,94	58,99	59,23	500
5	641,81	0,94	115,11	6,18	508

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E85

A tabela 32, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E85 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E85 foi de 26 °C e a média da rotação do motor foi de 3563 rpm.

Tabela 32 - Médias para a solução E85

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	610,77	0,91	111,60	4,99	473
2	606,54	0,98	109,36	5,59	473
3	591,89	0,92	109,48	5,66	500
4	607,26	0,94	111,89	5,72	510
5	637,56	0,95	114,12	6,02	511

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E90

A tabela 33, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E90 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E90 foi de 26 °C e a média da rotação do motor foi de 3602 rpm.

Tabela 33 - Médias para a solução E90

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	620,88	0,91	112,25	4,92	438
2	599,96	0,96	109,74	6,20	472
3	583,57	0,91	109,24	5,55	478
4	609,37	0,95	111,46	5,82	457
5	615,22	0,93	112,02	5,77	468

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E95

A tabela 34, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E95 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E95 foi de 26 °C e a média da rotação do motor foi de 3590 rpm.

Tabela 34 - Médias para a solução E95

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	617,16	0,91	112,14	6,27	491
2	601,13	0,97	109,74	6,20	472
3	585,76	0,90	110,17	6,25	512
4	606,88	0,94	111,45	5,65	514
5	623,90	0,95	111,65	6,27	508

Dados de potência, tensão e corrente para a solução E100

A tabela 35, descreve os resultados das médias dos 500 pontos das 5 amostras realizadas para a solução de E100 de potência, fator de potência, tensão, corrente e tempo de funcionamento do motor.

A média da temperatura ambiente na realização do ensaio para a concentração de E100 foi de 26 °C e a média da rotação do motor foi de 3580 rpm.

Tabela 35 - Médias para a solução E100

Amostra	Potência [W]	Fator de Potência	Tensão [V]	Corrente [A]	Tempo [s]
1	611,37	0,89	111,68	6,28	453
2	587,22	0,97	108,40	5,51	465
3	600,20	0,92	110,47	6,90	478
4	610,07	0,96	111,37	5,82	483
5	622,60	0,91	112,05	5,97	441

APÊNDICE A2

Comportamento do motor segundos antes de desligar (E25)

O gráfico da figura 29 ilustra o comportamento da potência do motor-gerador com combustível E25 (gasolina comprada no posto) 20 segundos antes do desligamento por falta de combustível. Estes dados foram descartados, porque a potência estava abaixo do mínimo estabelecido pelo projeto (450W).

Observa-se pelo gráfico que o motor-gerador utiliza todo o combustível para trabalhar com a potencia estabelecida, o ponto de 0s, foi o ultimo valor utilizado como dado útil para este trabalho.

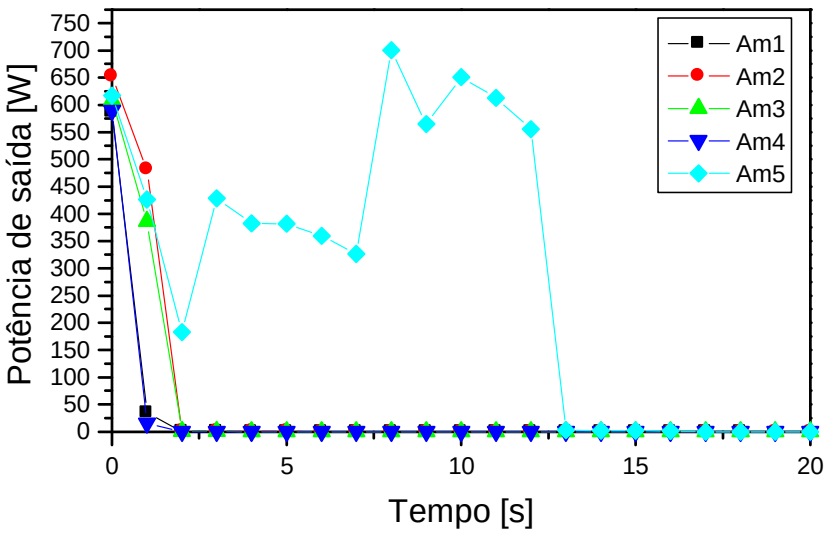



Figura 29- Avaliação do comportamento da potência 20 segundos antes do desligamento do motor-gerador