

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS MEDIANEIRA  
ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS**

**LARISSA SCHMOELLER BRANDT**

**ANÁLISE DE RENDIMENTO PARA GRUPOS  
MOTOGERADORES MOVIDOS A BIOGÁS DE FABRICAÇÃO  
NACIONAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MEDIANEIRA**

**2019**

**LARISSA SCHMOELLER BRANDT**

**ANÁLISE DE RENDIMENTO PARA GRUPOS  
MOTOGERADORES MOVIDOS A BIOGÁS DE FABRICAÇÃO  
NACIONAL**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Eyng

**MEDIANEIRA**

**2019**



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ANÁLISE DE RENDIMENTO PARA GRUPOS MOTOGERADORES MOVIDOS A BIOGÁS DE FABRICAÇÃO NACIONAL**

por

**LARISSA SCHMOELLER**

Esta Monografia foi apresentada em 03 de maio de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Eduardo Eyng  
Prof.(a) Orientador(a)

---

Felippe Martins Damaceno  
Membro titular

---

Marcos Gabriel Traqueta  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás que além de disponibilizar os dados e a base de conhecimento para o desenvolvimento do trabalho, também investiu nos colaboradores para a capacitação profissional e realização da pós-graduação.

## RESUMO

SCHMOELLER, Larissa. **Análise do Rendimento Para Grupos Motogeradores Movidos a Biogás de Fabricação Nacional**. 2019. 25. Monografia (Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

O rendimento de um Grupo Motogerador (GMG) refere-se à capacidade do equipamento realizar a conversão da energia química contida no combustível para energia elétrica. Esse fator é imprescindível tanto para a definição de qual máquina será utilizada em um projeto, bem como influenciará diretamente em estudos de viabilidade técnica e econômica de empreendimentos de biogás. Assim, o objetivo deste artigo foi oferecer informações para a avaliação de eficiência e comparação entre unidades geradoras a biogás. As unidades geradoras disponíveis no mercado, considerando 4 fornecedores nacionais, foram avaliadas e comparadas às informações contidas na literatura sobre conversão de biogás em energia elétrica, da mesma forma as informações de eficiência energética são contrastadas com os acompanhamentos realizados nas unidades de demonstração, de forma que sejam evidenciados parâmetros de eficiência de conversão compatíveis com a realizada. Quando se utiliza biogás para gerar energia elétrica é fundamental conhecer as propriedades combustíveis do gás e o seu desempenho como combustível. O GMG, é o equipamento que converte a energia química, a qual apresenta-se na forma de energia de combustão, em primeiramente energia mecânica (no motor) e essa energia mecânica é então convertida em energia elétrica pelo gerador. Desta forma, a eficiência com que essas energias são convertidas é um fator importante na escolha de um GMG e na viabilidade dos projetos. Existem diversas marcas de GMG especializados em motores alimentados a biogás e que utilizam de motores originalmente alimentados por outros combustíveis como Diesel, gás natural, gasolina, entre outros. Com este artigo foi possível verificar que com relação ao rendimento monitorado nas unidades de demonstração os valores obtidos ficaram bem abaixo dos valores de catálogos, isso pode ser justificado pelo fato dos equipamentos estarem todos conectados em Geração Distribuída e não estarem operando em carga máxima, corroborando com as referências bibliográficas.

**Palavras-chave:** rendimento, grupo motogerador, biogás; energia.

## ABSTRACT

SCHMOELLER, Larissa. **Analysis Of Yield For Generators Groups Using Biogás Of National Manufacturing**. 2019. 25. Monografia (Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

**ABSTRACT:** The performance of a Motor Generator Group (GMG) refers to the ability of the equipment make the conversion of the energy contained in the fuel to electric energy. This factor is essential for the definition of which machine will be used in a project, as well as directly influence in studies of the technical and economic viability of biogas projects. In this article we present the analysis of the performance of different Group Motorists of domestic manufacturers, comparing them with measured results of yield in three case studies. When using biogas to generate electricity, it is essential to know the combustible properties of the gas and its performance as a fuel. The Generating Motor Group (GMG) is the equipment that converts the chemical energy, which is presented in the form of combustion energy, in first mechanical energy (in the motor) and that mechanical energy is then converted into electric energy by the generator. In this way, the efficiency with which these energies are converted is an important factor in the choice of a GMG and in the viability of the projects. There are several brands of GMG that specialize in biogas fueled engines and that use engines originally fueled by other fuels such as diesel, natural gas, gasoline, among others. The objective of this article is to provide information for the evaluation of efficiency and comparison between generating units to biogas. The generating units available in the market, considering 4 national suppliers, were evaluated and compared to the information contained in the literature on the conversion of biogas to electric energy, in the same way, the energy efficiency information is contrasted with the monitoring carried out in the demonstration units. that conversion efficiency parameters compatible with the realized one are evidenced.

**Keywords:** yield, generator group, biogas; energy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Composição do biogás - Fazenda Star Milk.....	18
Figura 2: Composição do biogás - Granja São Pedro.....	19
Figura 3: Composição do biogás - Cerâmica Stein .....	19

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Rendimento dos GMGs das Unidade de Demonstração.....	20
Tabela 2: Cálculo da eficiência dos GMGs de 03 fabricantes nacionais.....	21
Tabela 3: Comparativo entre os GMGs.....	22
Tabela 4: Referência de vazão, potência e rendimento para conversão do biogás em energia elétrica em GD e GI.....	23
Tabela 5: Comparativo dos resultados .....	14



## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>16</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>17</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>18</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>19</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>20</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1 EFICIÊNCIA.....	14
2.2 EFICIÊNCIA GLOBAL DE UMA TERMOELÉTRICA.....	15
2.3 CONCENITOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	15
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>17</b>
3.1 FAZENADA IGUAÇU – STAR MILK.....	17
3.2 GRANJA SÃO PEDRO - COLOMBARI .....	18
3.3 CERÂMICA STEIN .....	19
<b>4 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>20</b>
4.1 EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DAS UNIDADES DE DEMONSTRAÇÃO .....	20
4.2 CÁLCULO DE EFICIÊNCIA PARA DIFERENTES GMGS DISPONÍVEIS NO MERCADO .....	20
4.3 MÉDIA DE RENDIMENTO PARA UNIDADES GERADORES.....	22
<b>5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>13</b>
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	<b>13</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Considera-se que quando se utiliza biogás para gerar energia elétrica é fundamental conhecer as propriedades do gás e o seu desempenho como combustível. O grupo motogerador (GMG), é o equipamento que converte a energia química do biogás, a qual apresenta-se primeiramente na forma de energia de combustão e é transformada em energia mecânica (no motor), onde essa energia mecânica é então convertida em energia elétrica pelo gerador. As unidades geradoras disponíveis no mercado nacional são de ciclo Otto ou “Ottolizadas”, provenientes de conversões e/ou adaptações especializadas. Isto porque os motores de combustão interna são máquinas térmicas definidas por Brunetti (2012) como: dispositivos que transformam o calor em trabalho e são assim classificados, pois o fluido ativo (combustível) participa diretamente da combustão e algumas das adaptações realizadas no motor para a utilização do biogás como combustível, ocorrem na regulação do carburador (corpo de injeção), onde o ajuste a ser realizado para a combustão de uma mistura de ar e combustível, preconiza uma mistura mais pobre.

Segundo Çengel e Boles (2008), as eficiências térmicas para motores de ciclo Diesel variam entre 35 e 40% e os motores de ciclo Otto ou ignição por centelha variam de 25% até 30%. Tratando-se de motores alimentados a biogás, os mais comumente encontrados no mercado são os motores com ciclo Diesel convertidos para o ciclo Otto, pelo processo conhecido como “Ottolização”. Segundo Marques (2012), os motogeradores disponíveis no mercado, que utilizam biogás como combustível, apresentam potências que variam de 10 kW a 1600 kW, sendo que o objetivo deste artigo é realizar uma avaliação comparativa entre os rendimentos apresentados nos catálogos dos fabricantes e os rendimentos reais de diferentes grupos motogeradores. Com isso este artigo auxiliará projetistas e investidores na tomada de decisão para a escolha do GMG que apresente a melhor viabilidade técnica e econômica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

No desenvolvimento do artigo serão apresentados os principais conceitos necessários ao entendimento do cálculo de eficiência ou rendimento dos grupos motogeradores. De forma a ficar claro os comparativos e resultados que serão apresentados nos tópicos seguintes.

### 2.1 EFICIÊNCIA

De forma clara e simples o conceito de eficiência é definido por Çengel e Boles (2008) como o resultado desejado dividido pelo fornecimento necessário de energia, ou seja, no caso da geração de energia elétrica com motores a combustão, a eficiência é a quantidade de energia elétrica gerada pela quantidade de energia contida no combustível necessária para produzir àquela quantidade de energia elétrica. Para os cálculos de eficiência da conversão de biogás em energia elétrica, Marques (2012) apresenta a Equação (1) para determinar o desempenho do conjunto motogerador, ou seja, para calcular quão eficiente é a transformação, utilizando como fonte primária o biogás.

$\eta = \frac{P_e}{P_{CI} \cdot Ch} \quad (1)$	(1)
--	-----

Onde:

$\eta$ : Eficiência do Sistema Motor Gerador;

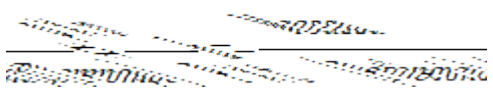
$P_e$ : Potência Ativa (kW);

$Ch$ : Consumo de Combustível (Nm<sup>3</sup>/h);

$P_{CI}$ : Poder Calorífico Inferior do Biogás (kWh/Nm<sup>3</sup>).

Independentemente do método empregado para o cálculo da eficiência, a medição da vazão de biogás e consequente do consumo de combustível, é necessária para que se conheça a eficiência com que o motor opera. De posse dos valores de massa de combustível consumido, potência medida e tempo, pode-se calcular o consumo específico de combustível na unidade desejada. No geral, a curva de consumo específico do motor apresenta pontos mais favoráveis, de menor valor, com carga em torno de 80% da potência nominal e onde são medidos os valores de torque mais elevados. (PEREIRA, 2006).

Assim, o consumo específico de combustível pode ser calculado com a equação (2):

	(2)
--	-----

Onde:

$b$  = Consumo específico de combustível;

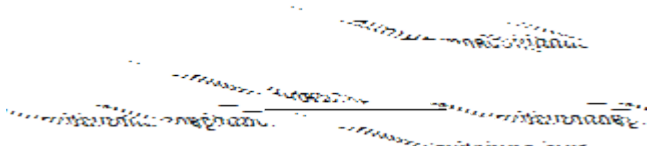
$\rho$  = Densidade do combustível;

$v$  = Volume de combustível consumido;

$P$  = Potência do motor;

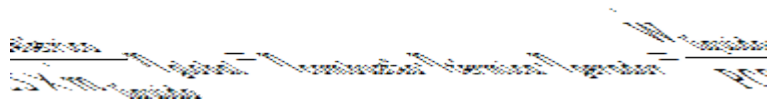
$t$  = Intervalo de tempo

“A eficiência global de um conjunto turbina-gerador (motogerador) é o produto entre a eficiência da turbina e a eficiência do gerador, e representa a fração da potência mecânica do fluido convertida em energia elétrica” (ÇENGEL e BOLES, 2008). Conceito apresenta-se indicado na equação (3).

	(3)
---	-----

## 2.2 EFICIÊNCIA GLOBAL DE UMA TERMOELÉTRICA

Para definir a eficiência térmica de uma usina, em geral utiliza-se a razão entre o trabalho líquido produzido no eixo e o calor fornecido ao fluido de trabalho. Já os efeitos de outra natureza são incorporados pela eficiência global que é dada pela razão entre a potência elétrica produzida e a taxa com a qual energia do combustível é suprida. Sendo esse conceito exposto na equação (4):

	(4)
--	-----

## 2.3 CONCEITOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A Geração Isolada (GI) é definida pela operação sem conexão com a rede elétrica, abastecendo uma carga ou cargas específicas de uma mesma unidade consumidora. A GI pode ser classificada como geração dedicada, emergencial, atendimento de demandas programadas e pode ser realizada através de transferência manual, automáticas aberta, temporizada, transição fechada ou By-pass. Caso exista a possibilidade de se injetar energia elétrica da central geradora para a rede de distribuição, caracteriza-se a Geração Distribuída (GD).

A geração distribuída (GD), é caracterizada pela ANEEL (2016) como: instalações de geradores de pequeno porte a partir de fontes renováveis ou combustíveis fósseis, localizadas próximo aos centros de consumo de energia e capazes de atender a demanda local, injetando o excedente na rede elétrica a qual está conectada.

A potência elétrica é definida por Rotondo Junior (2019), como a capacidade de um equipamento produzir trabalho em uma unidade de tempo, sendo que essa potência é composta pela potência ativa e potência reativa. A potência ativa é o que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz, movimento, etc, sendo medida em kW. Já a potência reativa é a potência usada apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas, medida em kVAr.

Assim, enquanto a potência ativa é consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa. Com isso, a razão entre a potência ativa e a potência aparente é chamada de fator de potência.

A potência aparente é a soma vetorial das potências ativa e reativa, ou seja, é a potência total absorvida pela instalação, conforme mostrada na equação (5).

$kVA = \sqrt{kW^2 + kVar^2}$	(5)
------------------------------	-----

### 3. METODOLOGIA

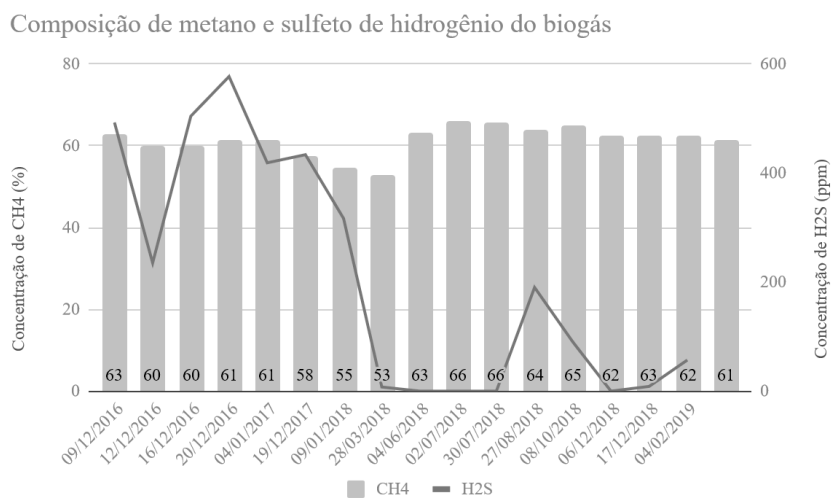
Para atingir o objetivo principal deste artigo que é realizar uma avaliação comparativa entre os rendimentos apresentados nos catálogos dos fabricantes e os rendimentos reais de diferentes grupos motogeradores, com isso auxiliará projetistas e investidores na tomada de decisão para a escolha do GMG que apresente a melhor viabilidade técnica e econômica, foram considerados os catálogos e informações técnicas de 03 (três) fornecedores nacionais, as informações identificadas na literatura, resultados de acompanhamentos 03 (três) diferentes de unidades de demonstração, cada qual com características operacionais distintas, entretanto, possuem como objetivo final o mesmo, a produção de energia elétrica utilizando o biogás como combustível.

Para a avaliação das informações sobre rendimento e fatores de conversão, os dados foram convertidos à uma mesma base de resultados, conforme metodologia da NBR 15.213 - Gás natural e outros combustíveis gasosos - Cálculo do poder calorífico, densidade absoluta, densidade relativa e índice de Wobbe a partir da composição e Nota Técnica 002/2018: Características Técnicas Do Biogás – CIBiogás (2018).

As três unidades avaliadas, que são apresentadas nos tópicos seguintes, possuem diferentes características técnicas, como modelo de biodigestor, tipo de substrato utilizado e potência e fabricantes de grupos motogeradores. Os dados avaliados foram obtidos por meio do monitoramento em visitas in loco e remotamente via o software Ernex®.

#### 3.1 FAZENADA IGUAÇU – STAR MILK

A Fazenda Iguaçu está localizada em Céu Azul e tem como principal atividade econômica a bovinocultura de leite com 550 animais. Possui biodigestor e geração de energia elétrica com biogás desde 2009. O GMG é de 330 kVA, classificado como minigeração, opera em GD desde fevereiro de 2017. Apresenta uma produção de biogás em média de 1.440 m<sup>3</sup>/dia e em média 38 MWh por mês de energia elétrica. A composição média de metano no gás é de 61 %, já a composição de sulfeto de hidrogênio é em média 208 ppm, conforme os dados de monitoramento do CIBiogás apresentados na Figura 1.

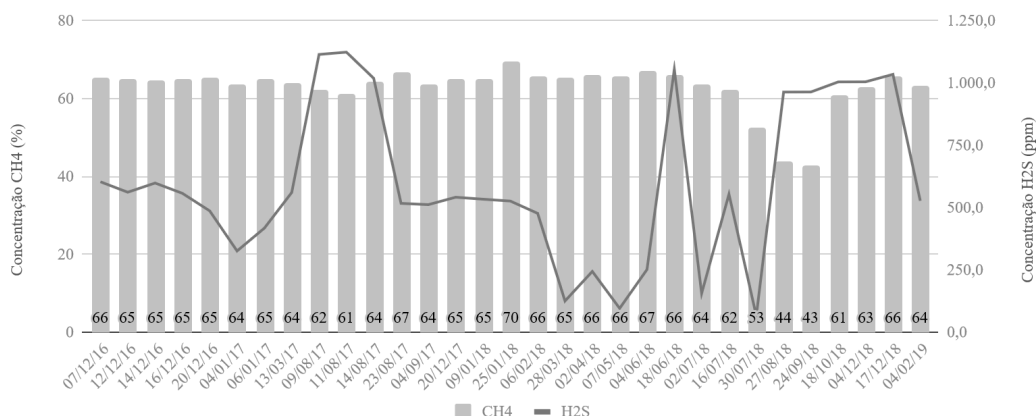


**Figura 1: Composição do biogás - Fazenda Star Milk**  
**Fonte: CIBiogás (2019)**

### 3.2 GRANJA SÃO PEDRO - COLOMBARI

A Granja São Pedro está localizada em São Miguel do Iguazu – Pr, tem como principal atividade econômica a suinocultura de terminação e bovinocultura de corte com aproximadamente 5.000 animais. Possui biodigestor desde 2005 e geração de energia elétrica com biogás desde 2006, essa unidade foi pioneira na geração de energia elétrica em Geração Distribuída (GD). O GMG é de 100 kVA, fabricante nacional, classificado como microgeração. Apresenta uma produção de biogás em média de 770 m<sup>3</sup>/dia e em média 32 MWh por mês de energia elétrica. A composição média de metano no gás é de 63 %, já a composição de sulfeto de hidrogênio é em média 598,3 ppm, conforme os dados de monitoramento do CIBiogás apresentados na Figura 2.

Composição de metano e sulfeto de hidrogênio do biogás

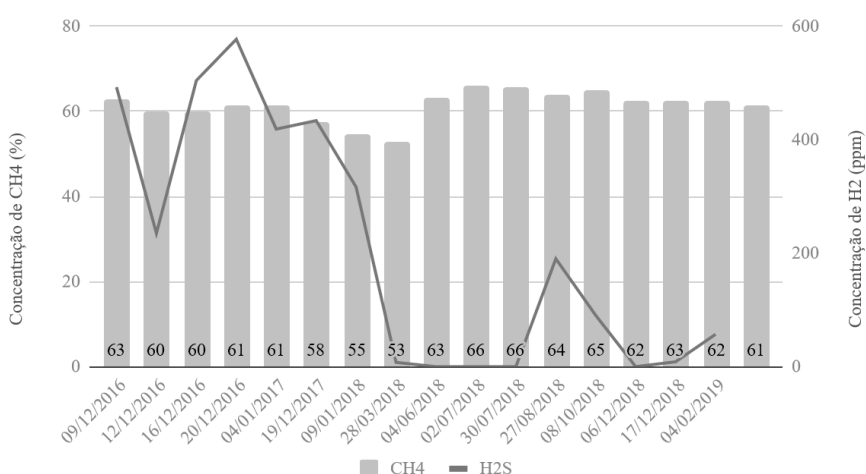


**Figura 2: Composição do biogás - Granja São Pedro**  
**Fonte: CIBiogás (2019)**

### 3.3 CERÂMICA STEIN

Unidade de produção de produtos cerâmicos e terminação de suínos, possui biodigestor e geração de energia elétrica com biogás desde 2013. O GMG instalado é de 115 kVA da Biogás Motores, classificado como microgeração e operando de forma isolada. Apresenta uma produção de biogás em média de 850 m<sup>3</sup>/dia e em média 24 MWh por mês de energia elétrica. A composição média de metano no gás é de 58 %, já a composição de sulfeto de hidrogênio é em média 539 ppm, conforme os dados de monitoramento do CIBiogás apresentados na Figura 3.

Composição de metano e sulfeto de hidrogênio do biogás



**Figura 3: Composição do biogás - Cerâmica Stein**  
**Fonte: CIBiogás (2019)**



## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DAS UNIDADES DE DEMONSTRAÇÃO

Para a avaliação e validação das eficiências dos Grupos Motogeradores apresentados pelos fornecedores, foi determinado o rendimento dos GMGs instalados e monitorados nas unidades de demonstração apresentadas no tópico anterior.

Os dados são referentes a monitoramentos realizados pelo CIBiogás, no período entre 2016 a 2019. A avaliação dentro de um período maior do que um mês é fundamental para a avaliação global dos rendimentos dos GMGs, uma vez que diversos fatores englobam o resultado, como variações na qualidade do biogás, diferentes eficiências e consequente produção de biogás, trabalho do gerador em diferentes faixas operacionais. Isso significa que o rendimento apresentado na Tabela 1: Rendimento dos GMGs das Unidade de Demonstração, representam a realidade operacional, levando em conta parâmetros médios da operação diária.

**Tabela 1: Rendimento dos GMGs das Unidade de Demonstração**

Unidade de Demonstração	Qualidade do Biogás					Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) 20°C	Poder calorífico (kJ/m <sup>3</sup> ) 20°C	Consumo médio de biogás (m <sup>3</sup> /h)	Potência média gerada (kW)	Rendimento
	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	H2S (ppm)	H2 (ppm)					
Fazenda Star Milk	61,4	37,8	0,7	208,3	730,1	1,1	20.560,30	80,0	85,5	<b>18,7%</b>
Granja São Pedro	62,9	35,6	1,3	598,3	1376,2	1,1	21.010,10	50,0	52,6	<b>18,0%</b>
Cerâmica Stein	57,6	41,3	0,9	539,1	1478,4	1,2	19.303,50	50,0	52,8	<b>19,7%</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

### 4.2 CÁLCULO DE EFICIÊNCIA PARA DIFERENTES GMGS DISPONÍVEIS NO MERCADO

Conforme descrito na metodologia, para a avaliação dos GMGs, os dados técnicos dos equipamentos foram colocados em uma mesma base de dados, considerando-se uma qualidade padronizada para o biogás, ou seja, 60% de metano para o cálculo do poder calorífico e densidade. A Tabela 2, resume os cálculos realizados sobre os dados obtidos.

Tabela 2: Cálculo da eficiência dos GMGs de 03 fabricantes nacionais

Fabricante 1						
Potência (kVA)	Consumo (Nm <sup>3</sup> /h)	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Consumo Biogás (kg/s)	Potência Ativa (kW)	PCI Biogás (kJ/Kg)	Eficiência (%)
80	29	1,2039	0,0097	44,8	20900	22,10
120	40	1,2039	0,0134	67,2	20900	24,04
330	82	1,2039	0,0274	184,8	20900	32,24
420	100	1,2039	0,0334	235	20900	33,62
Fabricante 2						
Potência (kVA)	Consumo (Nm <sup>3</sup> /h)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Consumo Biogás (kg/s)	Potência Ativa(kW)	PCI Biogás (kJ/kg)	Eficiência (%)
60	18,8	1,2039	0,0063	35	20900	26,62
100	34,2	1,2039	0,0114	64	20900	26,77
150	44,5	1,2039	0,0149	96	20900	30,89
200	59,9	1,2039	0,0200	115	20900	27,49
300	82,1	1,2039	0,0274	170	20900	29,63
400	118,0	1,2039	0,0395	250	20900	30,32
500	145,4	1,2039	0,0486	290	20900	28,55
600	179,6	1,2039	0,0600	384	20900	30,60
Fabricante 4						
Potência (kVA)	Consumo (Nm <sup>3</sup> /h)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Consumo Biogás (kg/s)	Potência Ativa(kW)	PCI Biogás (kJ/kg)	Eficiência (%)
30	13	1,2039	0,0043	20	20900	22,01
50	25	1,2039	0,0084	32	20900	18,31
80	41	1,2039	0,0137	55	20900	19,19
120	56	1,2039	0,0187	77	20900	19,67
250	100	1,2039	0,0334	160	20900	22,89
330	108	1,2039	0,0361	211	20900	27,95

Fonte: Catálogos de fabricantes.

O método de instalação, condições ambientais, regime e qualidade da operação, além de estado de conservação das instalações, devem resultar em variações dos valores de vazão e potência.

Tabela 3: Comparativo entre os GMGs

Potência (kVA)	Fabricante 1	Potência Ativa F1 (kW)	FP 1	Fabricante 2	Potência Ativa F2 (kW)	FP2	Fabricante 3	Potência Ativa F3 (kW)	FP 3
30	-	-	-	-	-	-	22,01	20	0,67
50	-	-	-	-	-	-	18,31	32	0,64
60	-	-	-	26,62	35	0,58	-		-
80	22,10	44,8	0,56	-	-	-	19,19	55	0,69
100	-	-	-	26,77	64	0,64	-		-
120	24,04	67,2	0,56	-	-	-	19,67	77	0,64
150	-	-	-	30,89	96	0,64	-		-
200	-	-	-	27,49	115	0,58	-		-
250	-	-	-	-	-	-	22,89	160	0,64
300	-	-	-	29,63	170	0,57	-		-
330	32,24	184,8	0,56	-	-	-	27,95	211	0,64
400	-	-	-	30,32	250	0,63	-		-
420	33,62	235	0,56	-	-	-	-		-
500	-	-	-	28,55	290	0,58	-		-
600	-	-	-	30,60	384	0,64	-		-

1 FP = Fator de Potência

Fonte: Adaptado pela autora.

#### 4.3 MÉDIA DE RENDIMENTO PARA UNIDADES GERADORES

A combinação, entre as informações fornecidas pelos fabricantes sobre rendimento na conversão do biogás em energia elétrica, em contraste as avaliações em campo para máquinas instaladas nas unidades de demonstração, e, as informações existentes na literatura, fornece um panorama geral dos rendimentos e fatores de conversão para unidades geradoras de fabricação nacional. Pode-se identificar a média de rendimento para geradores estipulada por faixa de potência e vazão, de maneira que possa ser identificada a eficiência em cada faixa, considerando variáveis de operação para geração distribuída em paralelismo permanente, e geração isolada do sistema de distribuição.

Para a geração distribuída considera-se operação sobre o ponto ótimo, utilizando 80% da potência máxima (Pereira, 2006), com o objetivo de evitar aquecimento excessivo das máquinas geradoras e consequente desgaste prematuro de peças, degradação do óleo e outros consumíveis. Para a geração isolada, visto a

variação da demanda das cargas e potência da máquina, considera-se a operação à 50%, de forma a linearizar a variação de cargas.

Neste contexto, a Tabela 4 apresenta referências para vazão de biogás em relação à potência máxima das máquinas e regime de operação. São considerados ainda a eficiência da câmara de combustão, variações de qualidade do biogás e eficiência, tempo de operação para aquecimento, parada e resfriamento, tempo para sincronismo e perdas de sincronismo e ainda testes de rotina, assim, podem ocorrer divergências entre os valores tabelados e casos reais específicos. Dessa forma, a Tabela 4 pode ser utilizada como referência para projetos a serem implantados e estudos de viabilidade técnica e financeira. Sem representar a realidade de um único projeto e sim uma média real de unidades monitoradas até o momento.

**Tabela 4: Referência de vazão, potência e rendimento para conversão do biogás em energia elétrica em GD e GI**

Vazão de Biogás (m³/h)	Potência Ativa (kW)	Rendimento (%)		Fator de Conversão (kWh/m³ biogás)	
		GD (80% de P)	GI (50% de P)	GD (80% de P)	GI (50% de P)
13	20	17,61%	11,01%	1,23	0,77
25	32	14,65%	9,16%	1,02	0,64
19	35	21,30%	13,31%	1,49	0,93
35	49,9	16,32%	10,20%	1,14	0,71
34	64	21,42%	13,39%	1,50	0,94
48	72,1	17,19%	10,75%	1,20	0,75
44	96	24,71%	15,45%	1,73	1,08
60	115	21,99%	13,75%	1,54	0,96
100	160	18,31%	11,45%	1,28	0,80
82	170	23,71%	14,82%	1,66	1,04
95	197,9	23,84%	14,90%	1,67	1,04
118	250	24,25%	15,16%	1,70	1,06
100	235	26,90%	16,81%	1,88	1,18
145	290	22,84%	14,27%	1,60	1,00
180	384	24,48%	15,30%	1,71	1,07

Fonte: Elaborado pela autora.

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O Guia do Biogás (FNR, 2013) diz que: “a eficiência de usinas de cogeração operadas com motores a gás do ciclo Otto é de 34% a 42%. Com o aumento da potência elétrica, aumenta a eficiência do motor, seja ele com ignição a compressão ou do ciclo Otto”. Segundo Pinto (2006), os motores adaptados para metano, sofrem redução de potência da ordem de 10% em relação ao combustível original. Então, pela afirmação anterior, pode-se dizer que a eficiência do motor alimentado por biogás fica em torno de 24 a 34%.

Na literatura pode-se encontrar alguns exemplos e experimentos com análise da eficiência de conversão do biogás em energia elétrica. Um experimento testando a eficiência de grupos geradores de energia elétrica adaptados para biogás com potência de 104 kVA realizado por Souza et al. (2013) calculou-se uma eficiência de 17,29% com 50% de carga e em carga total a eficiência subiu para 22,21%.

Com objetivo de diminuir as emissões de óxidos de nitrogênio, estes motores são operados como motores de mistura pobre com excesso de ar. O Guia Prático do Biogás (FNR, 2013) indica que na operação deve-se ter uma mistura pobre, assim, uma quantidade menor de combustível é convertida no motor, o que tem como consequência a queda do seu desempenho, compensada pela ação de turbocompressores. Motores a gás do ciclo Otto geralmente exigem um teor de metano mínimo de 45% no biogás.

Na Tabela 5, são apresentados os resultados obtidos nas análises, sendo que é possível verificar que com relação ao rendimento monitorado nas unidades de demonstração os valores obtidos ficaram bem abaixo dos valores de catálogos, isso pode ser justificado pelo fato dos equipamentos estarem todos conectados em GD, conforme também pode ser visualizado na tabela, onde a diferença já se apresentou menor. Além disso, os motores não estão operando em carga máxima, o que corrobora com a afirmação de Souza et al. (2013).

**Tabela 5: Comparativo dos resultados**

Unidade de Demonstração	Rendimento real	Rendimento médio fornecedores	Eficiência GD
Fazenda Star Milk	<b>18,7%</b>	30,10%	23,71%
Granja São Pedro	<b>18,0%</b>	26,80%	17,19%
Cerâmica Stein	<b>19,7%</b>	26,80%	17,19%

**Fonte: Elaborado pela autora.**

A eficiência elétrica, a capacidade de geração e as emissões de gases de uma usina de termoelétrica pode ser influenciada por vários fatores, como, os componentes do motor (pistões, válvulas, velas e o óleo do motor), os filtros de ar e a qualidade do gás injetado. Para garantir a qualidade de desempenho no processo de geração de energia elétrica é importante seguir as manutenções preventivas recomendadas pelo fabricante. Também, os ajustes dos parâmetros da usina têm influência sobre eficiência e nos poluentes emitidos.

Outro fator que deve ser levado em consideração na instalação do grupo motogerador é o fator de potência desses equipamentos. Como apresentado na Tabela 3, cada fabricante possui um valor distinto desse fator, com isso a quantidade de energia útil gerada por grupo irá alterar. Para os equipamentos com fator de potência menores, resultará em uma maior potência reativa gerada e conseqüentemente uma menor potência ativa, ou seja, terá uma menor potência útil gerada causado uma diminuição na eficiência desse sistema.

#### 4. CONCLUSÃO

Neste artigo foi possível visualizar de forma prática as variações entre os rendimentos dos grupos motogeradores e a magnitude do impacto destas variações nos projetos de biogás, desde a definição e dimensionamento dos equipamentos até a viabilidade técnica e econômica, sendo que pode ser um fator determinante na implantação ou não do projeto.

Verificou-se que as eficiências apresentadas nas bibliografias tradicionais para motores de combustão podem não ser atendidas em determinadas condições operacionais, como em casos que o equipamento não esteja operando em carga máxima. Foi realizado a fundamentação teórica referente aos principais conceitos referentes aos rendimentos, em que foi entendido que independentemente do método empregado para o cálculo da eficiência, a medição da vazão de biogás e consequente do consumo de combustível, é necessária para que se conheça a eficiência com que o motor opera.

Para a avaliação e validação das eficiências dos Grupos Motogeradores apresentados pelos fornecedores, foi determinado o rendimento dos GMGs instalados e monitorados em 03 (três) unidades de demonstração, com dados referentes a monitoramentos realizados pelo CIBiogás, no período entre 2016 a 2019. A avaliação dentro de um período maior foi fundamental para a avaliação global dos rendimentos dos GMGs, uma vez que diversos fatores englobam o resultado, como variações na qualidade do biogás, diferentes eficiências e consequente produção de biogás, trabalho do gerador em diferentes faixas operacionais.

A combinação, entre as informações fornecidas pelos fabricantes sobre rendimento na conversão do biogás em energia elétrica, em contraste as avaliações em campo para máquinas instaladas nas unidades de demonstração, e, as informações existentes na literatura, fornece um panorama geral dos rendimentos e fatores de conversão para unidades geradoras de fabricação nacional. Assim, foi possível identificar a média de rendimento para geradores estipulada por faixa de potência e vazão, de maneira que possa ser identificada a eficiência em cada faixa, considerando variáveis de operação para geração distribuída em paralelismo permanente, e geração isolada do sistema de distribuição.

## REFERÊNCIAS

ALEMANHA. MINISTÉRIO DA NUTRIÇÃO AGRICULTURA E DEFESA DO CONSUMIDOR DA ALEMANHA (BMELV). (Ed.). **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização**. 5. ed. Gülzow-prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe E. V. (fnr), 2013

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Cadernos Temáticos ANEEL: Micro e Minigeração Distribuída**. Brasília: 2016, 2ª ed.

BRENNEISEN, Paulo Job. **DESEMPENHO DE MOTOGERADOR DE CICLO DIESEL OPERANDO COM GÁS DE GASEIFICAÇÃO/DIESEL OU BIOGÁS/DIESEL**. 2013. 41 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Cascavel, 2013.

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2012. v. 1

NBR15213. Gás Natural – **NBR 15213 – Cálculo de propriedades físico- químicas a partir da composição Devido**. , 2008. ABNT.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A.. **Termodinâmica**. 5. ed. São Paulo: Mcgraw-hill, 2008. 850 p.

LEMONS, Marcus Vinicius Dias. **USO EFICIENTE DE BIOGÁS DE ESGOTO EM MOTORES GERADORES**. 2013. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MARQUES, Cleber Aimoni. **MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA PROPRIEDADE RURAL UTILIZANDO BIOGÁS COMO FONTE PRIMÁRIA DE ENERGIA ELÉTRICA**. 2012. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Cascavel, 2012.

MITZLAFF, K. VON. **Engines for biogas**. Eschborn: GTZ, 1988.



PEREIRA, José Claudio. **Apostila Técnica sobre grupos geradores a Diesel**. 2006. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/apost.html>>. Acesso em: 19 out. 2015

PINTO, R.O. **Avaliação da digestão anaeróbia na liestabilização de resíduos sólidos orgânicos, lodos de tanques sépticos, dejetos suínos e lixiviado**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. 101p.

ROTONDO JUNIOR, Salvador. **MANUAL DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA**. 2019. Disponível em: <<http://www.engeletrica.com.br/novo-site/fatordepotencia-manual-fatordepotencia.html>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

SOUZA, Rodrigo Gomide de. **DESEMPENHO DO CONJUNTO MOTOGERADOR ADAPTADO A BIOGÁS**. 2006. 40 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

SOUZA, S. N. M. DE et al. **Electric energy micro-production in a rural property using biogas as primary source**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 28, p.48 385–391, dez. 2013.