



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas–ICEA
Departamento de Engenharia Elétrica



Trabalho de Conclusão de Curso

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E DAS PERDAS ELÉTRICAS NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA À BIOGÁS EM UMA SUINOCULTURA

José Luiz Oliveira Rocha

João Monlevade, MG
2019

José Luiz Oliveira Rocha

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E DAS PERDAS
ELÉTRICAS NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA À BIOGÁS EM
UMA SUINOCULTURA**

Trabalho de Conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Ouro Preto como parte dos requisitos
para obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Elétrica pelo Instituto de
Ciências Exatas e Aplicadas da
Universidade Federal de Ouro Preto.
Orientador: Prof. FELIPE EDUARDO
MOREIRA COTA

João Monlevade
2019

R672e Rocha, José Luiz Oliveira.
Estudo da viabilidade econômica e das perdas elétricas na geração distribuída a biogás em uma suinocultura. [manuscrito] / José Luiz Oliveira Rocha. - 2019.

69f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. MSc. Felipe Eduardo Moreira Cota.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Biogás. 2. Geração distribuída de energia elétrica. 3. Suínos. I. Cota, Felipe Eduardo Moreira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 621.31

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

ANEXO I - ATA DE DEFESA

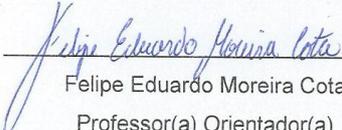
Aos 11 dias do mês de Julho de 2019, às 15:30 horas, no bloco A deste instituto, foi realizada a defesa de monografia pelo (a) formando (a) José Luiz Oliveira Rocha, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Felipe Eduardo Moreira Cota, Fernando Bento Silva e Welbert Alves Rodrigues.

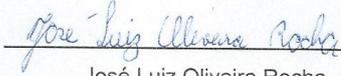
O (a) candidato (a) apresentou a monografia intitulada: **ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E DAS PERDAS ELÉTRICAS NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA À BIOGÁS EM UMA SUINOCULTURA**. A comissão examinadora deliberou, por unanimidade, pela aprovação do(a) candidato(a), com a nota média 9,5, de acordo com a tabela 1. Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo (a) formando(a).

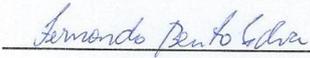
Tabela 1 – Notas de avaliação da banca examinadora

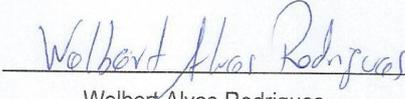
Banca Examinadora	Nota
Prof. Felipe Eduardo Moreira Cota	9,5
Prof. Fernando Bento Silva	9,5
Prof. Welbert Alves Rodrigues	9,5
Média	9,5

João Monlevade, 11 de Julho de 2019.


Felipe Eduardo Moreira Cota
Professor(a) Orientador(a)


José Luiz Oliveira Rocha
Aluno(a)


Fernando Bento Silva
Professor(a) Convidado(a)


Welbert Alves Rodrigues
Professor(a) Convidado(a)

Resumo

Este trabalho tem como tema principal a geração distribuída de energia a partir do Biogás. Este documento apresenta um desenvolvimento teórico e prático a partir da análise de uma propriedade Rural de Produção de Suínos, onde há geração de energia utilizando o biogás. Serão apresentados a planta geradora de energia que utiliza a fonte sustentável em estudo e o processo de controle e sincronismo da mesma. Ao final, implementações no Software ANAREDE mostraram os benefícios e melhorias na rede local da propriedade em estudo, com a implantação desta fonte de geração distribuída.

Palavra Chave: Biogás. Geração Distribuída. Sincronismo. Controle.

ABSTRACT

This work has as its main theme the distributed generation of energy from Biogas. This document presents a theoretical and practical development from the analysis of a Rural Pork Production property where there is energy generation using biogas. It will be presented the energy generating plant that uses the sustainable source under study and the process of control and synchronism of the same. In the end, implementations in the ANAREDE Software showed the benefits and improvements in the local network of the property in study, with the implantation of this source of distributed generation.

Key word: Biogas. Distributed generation. Synchronism. Control.

Agradecimento

Primeiro quero agradecer a Deus por mais está conquista, por me ter criado e inspirado a minha Fé.

Aos meus dois grandes exemplos de vida, minha mãe Dulcilene e meu pai José Benjamim, que sempre estiveram do meu lado para me ajudar em tudo. A eles o meu eterno agradecimento, respeito e amor. Minha irmã Vitória, por todos os momentos que me fez rir muito. Minha querida namorada Maria Carla, por estar do meu lado mesmo distante, me trazendo paz e carinho. A meus pilares de sabedoria e maturidade, meus queridos avós, Abel, Geraldo, Maria Célia e a eterna Vó Adélia, que sempre me ensinaram muito com suas vidas dedicadas a família e ao próximo. A todos os meus parentes e amigos que sempre estiveram prontos a me ajudar. Ao professor e orientador, Felipe Cota, pelo incentivo e selo em me orientar nessa tarefa. Enfim, a todos que de uma forma ou de outra, ajudaram-se a chegar até aqui. A todos o meu muito obrigado!

Lista de Ilustrações

Figura 01: Exemplificação da reação de armadura (adaptado da referência [11])	17
Figura 02: Exemplificação do gerador trifásico (adaptado da referência [11])	18
Figura 03: Sinal gerado em um gerador trifásico (adaptado da referência [11])	18
Figura 04: Retificação Rotativa (adaptado da referência [10])	20
Figura 05: Sistemas interligado Nacional (adaptado da referência [13])	22
Figura 06: Potência instalada em MW até 23/05/2017 (adaptado da referência [1])	24
Figura 07: Numero de instalações por fonte geradora (adaptado da referência [1])	25
Figura 08: Geração distribuída a Biogás [01][28]	26
Figura 09: Panorama da GD no Brasil até 2018 (adaptado da referência [22])	26
Figura 10: Alterações na resolução (adaptado da referência [22])	29
Figura 11: Comparação entre o CH ₄ e CO ₂ (adaptado da referência [16])	30
Figura 12: Exemplificação de um biodigestor (adaptado da referência [02])	31
Figura 13: Exemplo do controle de Fator de Potência (adaptado da referência [12])	35
Figura 14: Dados da geração a biogás (adaptado da referência [16])	35
Figura 15: Dados da geração a biogás (adaptado da referência [16])	36
Figura 16: O SMCP (adaptado da referência [18])	38
Figura 17: Motogerador da propriedade	41
Figura 18: Painel de controle da propriedade	41
Figura 19: Tensão de Linha-linha AB do gerador e da rede	42
Figura 20: Tensão de Linha-linha BC do gerador e da rede	43
Figura 21: Tensão de Linha-linha AC do gerador e da rede	43

Figura 22: Velocidade no eixo do motor	44
Figura 23: Potencia ativa e reativa do gerador	44
Figura 24: Fator de potência do Gerador	45
Figura 25: Potência Injeta e Consumida na planta em estudo	47
Figura 26: Potência Injeta e Consumida na planta em estudo	48
Figura 27: Sistema Total simulado sem geração própria	57
Figura 28: Circuito inicial sem geração própria	58
Figura 29: Sistema isolado com geração própria	60
Figura 30: Sistema com geração distribuída	62
Figura 31: Comparação dos níveis de tensão nas barras	64

Lista de tabelas

Tabela 01: Custo de Disponibilidade (adaptado da referência [22])	27
Tabela 02: Dados da capacidade de produção de biogás para dejetos de alguns animais (adaptado da referência [21])	32
Tabela 03: Dados comparativos entre a capacidade de 1m ³ de biogás com qualidade energética de 6148.98 Kcal, comparado a outros combustíveis e energias (Adaptado da referência [15])	32
Tabela 04: Circuitos da propriedade em análise	39
Tabela 05: Carga do Circuito I	40
Tabela 06: Consumo e potência injetada na rede em 2018	46
Tabela 07: Potência consumida no circuito I e II no último ano	48
Tabela 08: Gastos para Implantação do projeto	49
Tabela 09: Gastos com manutenção da planta anual	50
Tabela 10: Calculo de VP e VP _a	51
Tabela 11: Resultado do <i>Payback</i> para a situação 01	52
Tabela 12: Resultado do <i>Payback</i> para a situação 02	53
Tabela 13: Resultado do <i>Payback</i> para a situação 03	54
Tabela 14: Dados do ANAREDE após a primeira simulação	58
Tabela 15: Dados do ANAREDE após a segunda simulação	60
Tabela 16: Dados do ANAREDE após a terceira simulação	63

Lista de abreviações

f.m.m: Força magnetomotriz.

f.e.m: Força eletromotriz.

SIN: Sistema Interligado nacional.

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico.

SMCP: Sistema de monitoramento, controle e proteção.

CEMIG: Companhia Energética de Minas Gerais

p.u: Por unidades

VP: Valor Próprio

VPA: Valor Próprio Acumulado

rpm: Rotações por minuto

GD: Geração distribuída

Sumário

Resumo	5
ABSTRACT	6
Agradecimento.....	7
Lista de Ilustrações	8
Lista de tabelas	10
Lista de abreviações.....	11
1.0- Introdução.....	14
1.1- Motivação e Justificativa	14
1.2- Objetivo	15
1.3- Organização do Trabalho	15
1.4- Metodologia	16
2.0- Revisão Bibliográfica	17
2.1- Máquinas Síncronas: Alternadores Elétricos	17
2.2- Gerador CC: O Dínamo	18
2.3- Sistema de Excitação de um Gerador Síncrono	19
2.4- Retificação Rotativa.....	20
2.5- O Sistema Interligado Nacional	21
2.6- Geração distribuída no Brasil	23
2.7- Resolução Normativa nº482/2012	24
2.8- Resolução Normativa nº 687/2015	25
2.9- Custo de Disponibilidade	27
2.10- Futuras alterações nas normas de Geração Distribuída de Energia	27
3.0- Produção de Biogás	30
3.1- O Biogás	30
3.2- O biodigestor.....	31
4.0- A Planta de Geração de eletricidade usando o biogás	33
4.1- Controle de velocidade	33
4.2- Controle da Mistura de Ar e Biogás	34
4.3- Controle da Tensão Gerada.....	34
4.4- O Controle do Fator de Potência.....	34
4.5- A geração distribuída de energia a partir do Biogás	35
4.6- O Painel de Controle.....	37
5.0- Caso Prático: Fazenda com criação de Suínos	39

5.1-	A planta de geração distribuída da Propriedade	40
5.2-	Dados coletados no Gerador e na Rede.	42
5.3-	Potencial de produção de Biogás e energia.....	45
5.4-	Dados de geração e consumo.....	46
6.0-	Análise econômica.....	49
6.1-	Gasto para Implantação e manutenção do Caso Prático.....	49
6.2-	Análise do <i>Payback</i>	50
6.3-	Análise financeira do caso prático para diversas situações	52
7.3.1-	Situação 01	52
7.3.2-	Situação 02	53
7.3.3-	Situação 03	54
6.4-	Conclusões a respeito na análise financeira	54
7.0-	Simulações e resultados.....	56
7.1-	Primeira Simulação: Circuito I sem geração própria.	56
7.2-	Simulação 02: Circuito I isolado com geração própria.....	59
7.3-	Simulação 03: Circuito I com geração distribuída.....	62
8.0-	Análise das vantagens e desvantagens da geração distribuída a biogás	65
8.1-	Características Positivas.....	65
8.2-	Características Negativas.....	65
9.0-	Conclusão do projeto	67
	Referencias	69

1.0- Introdução

Este trabalho apresenta um estudo voltado a geração distribuída de energia a biogás. Nele será destacado metodologias de controle e proteção de uma planta geradora e análise dos índices de produção da mesma. Inicialmente, será explanado os motivos que levaram a este trabalho, um referencial teórico das principais máquinas presentes em uma planta de geração á biogás, seu controle e análises de uma planta física e análise econômica.

1.1- Motivação e Justificativa

A geração distribuída no Brasil vem crescendo continuamente nos últimos anos. Desde a aprovação da resolução normativa N° 482, de 17 de abril de 2012, onde a ANEEL estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia. Pequenas unidades geradoras, muitas vezes presentes em residências, indústrias e em zonas rurais apresentaram, segundo a ANEEL em maio de 2017, a potência instalada em torno de 114,7 MW.

Tem-se nesse cenário as gerações fotovoltaica, biogás, biomassa, eólica, hídrica e cogeração qualificada. A campeã de produção é a geração fotovoltaica, mas há um crescente interesse por parte dos pecuaristas em investir na geração de energia a biogás, extraído de dejetos de animais, esgoto e aterros sanitários. O gás produzido nestes sistemas deve ser queimado para diminuir o índice de emissão de metano para atmosfera.

O processo de geração distribuída a biogás, representa uma parcela pequena da geração distribuída no Brasil. Entretanto, devido à alta produção de biogás (principalmente entre as atividades agrícolas e pecuárias) e a necessidade de queima do gás metano, a geração de energia pelo gás CH₄ está se tornando uma maneira viável e econômica de se gerar energia.

Segunda a ANEEL, em junho de 2019 estavam em atividade 146 usinas de geração distribuída a biogás no Brasil. Esse conjunto tem capacidade instalada de produzir cerca de 21,23 MW de energia para o sistema elétrico nacional. Um valor pequeno comparado a todo sistema distribuído, que já passou de 1 GW, e muito menor comparado a todo sistema nacional.

Existem alguns fatores que desaceleram o desenvolvimento de tecnologias ligadas a geração distribuída a biogás. Mas o principal fato é a existência de poucos estudos nesta área

que busque viabilizar maior eficiência dos geradores. O principal obstáculo operacional está no sincronismo do gerador com a rede, para que se possa compartilhar o excedente.

Desta forma, foi feito um estudo prático em uma propriedade Rural no município de Rio Casca – MG, que apresenta registro de Geração distribuída junto a ANEEL. A planta em questão, possui um gerador a biogás que funciona 24 horas por dia e pode fornecer para a rede um excedente de até 75kW. A proposta é realizar um estudo de eficiência do gerador, mostrando através de análises quantitativas e de simulações, quais as interferências causadas no cenário local.

1.2- Objetivo

Este trabalho propõem o estudo das pequenas gerações distribuídas com geradores a biogás, apresentando os principais aspectos, monitoramento de geradores e a influência de certos equipamentos no desenvolvimento e eficiência desta máquina.

Objetivos específicos:

- Características dos geradores a biogás (Técnicas);
- Estudo normativo da mini e micro geração distribuída no Brasil (ANEEL);
- As características de implantação do sistema;
- Análise financeira para implantação do sistema;
- Apresentação de simulações com o Software ANAREDE;
- Mostrar na pratica o funcionamento de um sistema de geradores a biogás acoplados a rede.

1.3- Organização do Trabalho

A princípio este trabalho está relatando uma revisão bibliográfica, onde estão sendo apresentados importantes temas relacionados a máquinas de geração e controle de geração. Essa parte é de fundamental relevância para o trabalho porque no decorrer do texto várias citações do referencial teórico serão mencionadas.

Assim, o restante do trabalho foi dividido em quatro parte, que tratam dos seguintes assuntos:

- Sistema Interligado Nacional e Geração Distribuída;
- A Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás;
- A Planta Prática em estudo;
- Análise financeira;
- Simulações.

Ao final será feita uma conclusão das vantagens desse processo de produção elétrica e proposta de futuras melhorias.

1.4- Metodologia

Para realizar esse trabalho, foi preciso antes de tudo um estudo teórico aprofundado na área de geração a biogás e geração distribuída. A seguir, com a possibilidade de estudo em uma planta real de geração com estas características, um estudo de campo foi realizado em uma propriedade particular. De posse dos resultados da análise e características da instalação do local, foram realizadas simulações no software ANAREDE, que possibilitaria uma perspectiva de vantagens na planta. Ao final é apresentada uma conclusão preliminar dos assuntos e simulações abordados.

2.0- Revisão Bibliográfica

2.1- Máquinas Síncronas: Alternadores Elétricos

Uma máquina síncrona, sob condições de regime permanente, nada mais é do que uma máquina CA que trabalha a uma velocidade proporcional à frequência da corrente de armadura. É conhecido que a máquina síncrona pode trabalhar como motor ou gerador, dependendo da posição do campo do rotor em relação ao campo do estator. Se o campo do rotor ficar à frente da onda de f.m.m do entreferro, então trata-se de um gerador síncrono ou também chamado alternador elétrico [5].

Os alternadores apresentam o enrolamento de campo ou rotor da máquina, que é responsável pelo campo magnético principal do gerador. Também apresentam o enrolamento de armadura que é responsável pela tensão induzida, pois o enrolamento de campo ao ser excitado por uma corrente contínua, possibilita que o campo magnético criado no rotor passe por entre as bobinas da armadura e assim surja uma tensão induzida. Mas, para que isso tudo produza energia é preciso que haja movimento no eixo da máquina. Para isso, é necessário que a máquina motriz imprima potência mecânica no gerador [6] e [7]. A figura 01 pode exemplificar esse tipo de máquina.

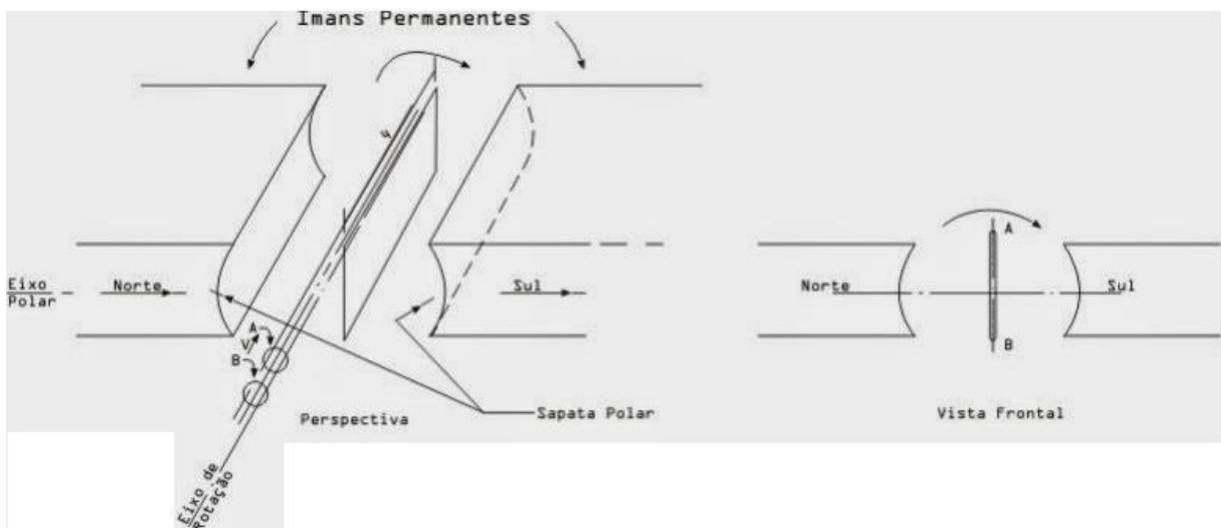


Figura 01: Exemplificação da reação de armadura (adaptado da referência [11])

Os geradores síncronos apresentam uma relação de sincronismo com a rotação mecânica do rotor e a frequência da tensão induzida no estator. Essa relação pode ser vista na equação abaixo [6]:

$$f_e = \left(\frac{p\acute{o}los}{2}\right) \frac{n}{60} Hz \quad (01)$$

A tensão induzida nos terminais do estator está relacionada com o fluxo Φ do rotor da máquina, a velocidade de rotação e o número de polos da máquina. É um funcionamento eletromecânico onde o rotor torna-se um eletroímã, excitado por uma fonte CC e a tensão induzida é maior quanto maior a densidade magnética B. Temos assim a reação de armadura, onde o campo magnético da armadura associa-se com o campo do rotor. O campo rotativo sofre uma distorção que modifica a forma da onda de saída da tenção[7][8].

Desta forma, a referência [7] afirma que: “... o pico da tensão gerada ocorre nos polos do imã. Para um gerador trifásico temos 03 grupos de bobinas distintas posicionadas 120° uma das outras, formando três ondas de tensão distintas”, como pode ser visto na figura 02 e 03.

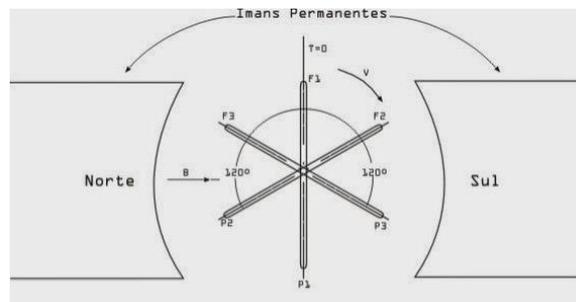


Figura 02: Exemplificação do gerador trifásico (adaptado da referência [11])

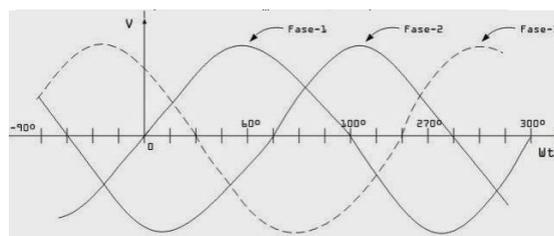


Figura 03: Sinal gerado em um gerador trifásico (adaptado da referência [11])

2.2- Gerador CC: O Dínamo

Um Gerador de corrente contínua ou também chamado de dínamo, converte a energia mecânica em energia elétrica. Assim, como nas máquinas síncronas, as máquinas de corrente contínua trabalhando como gerador precisam de uma máquina motriz que imprima potência mecânica no eixo do gerador. As partes principais de um dínamo são: a armadura, o comutador, as escovas e o enrolamento de campo [8].

Nas máquinas CC, a armadura também gira, diferentemente das máquinas síncronas onde elas ficam no estator (parte imóvel). Como gerador, a armadura da máquina irá transferir potência para a carga. A armadura fica no rotor da máquina [7] e[8].

A tensão induzida na armadura irá ter características alternadas, desta forma a existência do comutador transforma a tensão alternada em tensão contínua pulsante [8].

As escovas, que geralmente são de grafite, são conectores que ligam a parte móvel da armadura a carga externa. Na figura 04, é apresentado um gerador CA com retificação rotativa, sem escovas, que tem como saída uma tensão CC, como é o caso do gerador *Brushless*[10].

O funcionamento das máquinas de corrente contínua se dá pelo que é visto na lei de Faraday, onde ao movimentar um fio condutor dentro de um campo magnético, que corte o condutor de forma perpendicular, então surgirá entre as extremidades deste condutor uma f.e.m. A força mecânica, que gira o eixo do rotor, movimenta a armadura que apresenta uma relação com o campo magnético e produz corrente contínua para a carga [7].

O enrolamento de campo irá produzir o fluxo magnético, que combinado a reação de armadura, irá produzir a tensão de saída. Há dois tipos de bobinas para esse campo, o Campo-serie, com poucas espiras e condutor grosso e o Campo-shunt, com mais espiras e condutor mais fino[7] e [8].

2.3- Sistema de Excitação de um Gerador Síncrono

Como foi visto, para que a máquina síncrona gere energia elétrica, além do movimento mecânico, é preciso da aplicação de um fluxo magnético. Esse fluxo vem da excitação do campo do rotor por uma fonte CC. É baseado no fluxo e no movimento, que surgirá certa tensão induzida. A fonte CC aplicada aos terminais da bobina do rotor que é dado o nome de excitatriz. Além da tensão de saída, a excitatriz é responsável por parte do controle do fator de potência a magnitude da corrente gerada e do sincronismo da rotação e consequente frequência da tensão induzida [10] e [12].

Dessa maneira, é interessante que se tenha um olhar especial para essa parte das máquinas síncronas e principalmente no seu sistema de controle. A estabilidade da excitatriz também é responsável pela proteção da planta, para possíveis sobrecargas. Como já foi apresentado a fonte de excitação da máquina síncrona é CC, entretanto com o passar dos anos,

os alternadores foram aumentando sua capacidade de produção e em consequência disso necessitaram de uma maior fonte de excitação, exigindo maiores dínamos com mais anéis e escovas e a manutenção dessas máquinas ainda mais complexas [12].

Uma solução viável para eliminar os dínamos como excitatrizes era usar uma máquina CA para alimentar o rotor do gerador principal, que evita o uso de anéis e escovas. Isso tornou-se um sucesso e é amplamente utilizado nos dias de hoje. Esta máquina está geralmente acoplada ao eixo do gerador principal. Uma outra parte importante da excitatriz seria a retificação, pois assim é possível que surja a corrente contínua que alimenta o campo do rotor do gerador maior [10] e [12].

O sistema de retificação pode ser estático ou rotativo. Será dado ênfase maior na retificação rotativa, que será usada na planta do projeto base, deste trabalho e que é mostrado na figura 04.

2.4- Retificação Rotativa

A retificação Rotativa pode também ser chamada de “*brushless*” (do inglês, “sem escovas”), pois não apresenta escovas. Pode-se dizer que é um gerador síncrono virado do avesso (“*insite-out*”) que excita o rotor do gerador principal e também é excitado pela tensão gerada na máquina que ele excitou. O retificador da saída da armadura desse alternador, não é controlado, porém existe na armadura do gerador principal uma bobina auxiliar chamada de excitatriz-piloto que produz uma corrente contínua que pode ser controlada. Toda essa transformação pode ser feita sem o contato galvânico, ou seja, sem escovas e assim a manutenção é reduzida.

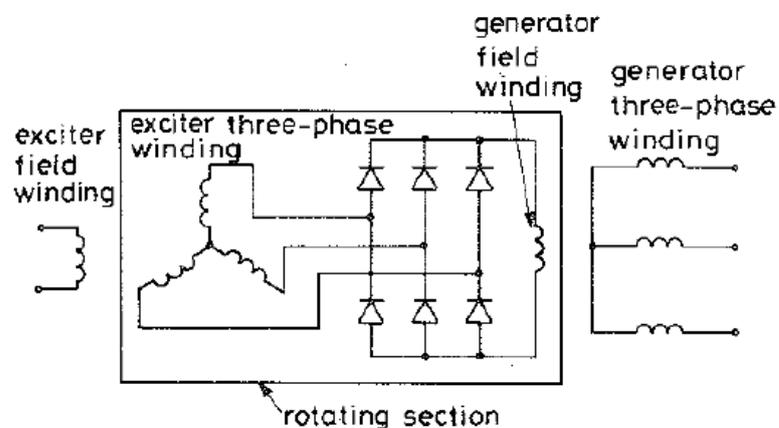


Figura 04: Retificação Rotativa (adaptado da referência [10])

2.5- O Sistema Interligado Nacional

O desenvolvimento energético brasileiro se deu basicamente em hidroelétricas. Isso porque o território nacional, em sua maioria, apresenta um grande potencial hídrico que foi altamente explorado com o passar dos anos. Entretanto, o Brasil tem diversas regiões climáticas e em certas épocas do ano, alguma parte do país pode não produzir o suficiente para suprir as necessidades daquela região (caso da seca, que abaixa o nível das barragens). Outras partes do país já podem apresentar no mesmo período um excedente de produção, assim em um Sistema Interligado o excesso de uma parte pode suprir a falta em outra. E desta maneira temos o Sistema Interligado Nacional (SIN) brasileiro, englobando mais de 98% da demanda energética nacional [13].

Para suprir a escassez de recursos hídricos para geração de energia em uma região, pode-se utilizar outras formas de energia, como a térmica e a nuclear. Todavia, o custo de produção destas fontes é maior comparado com as hidroelétricas. Para compensar a diferença de produção hidroelétrica entre regiões em certas ocasiões a solução encontrada foi interligar o sistema elétrico para que haja o compartilhamento energético entre todos o território nacional.

As outras fontes também são usadas, mas apenas quando o cenário nacional precisar delas. De forma geral, o sistema interligado busca a transferência de energia entre subsistemas, permitindo mais segurança e economia. O Brasil é constituído de quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e grande parte do Norte. Esses subsistemas interligam múltiplas usinas e depois se interligam entre si [13] como é apresentado na figura 05.



Figura 05: Sistemas interligado Nacional (adaptado da referência [13])

O órgão responsável por controlar e coordenar o SIN é o ONS. Ele tem a missão de controlar a demanda de carga do sistema e planejar ações de controle visando a segurança no processo de geração e transmissão. A ONS é fiscalizada pela ANEEL. Para termos uma ideia são cerca de 141.388 km de rede de distribuição, segundo dados do site da ONS.

Apesar da segurança que esse sistema permite, um ponto negativo é a quantidade de perdas em potência que ocorrem nas linhas de distribuição. E o quanto isso pode interferir na qualidade da energia em lugares muito distantes da fonte geradora, causando quedas de tensão e perdas de potência [17].

A geração distribuída pode limitar esses defeitos, pelo menos localmente, reduzindo a demanda de energia da unidade geradora e perdas que surgiriam na rede[17]. Nesse trabalho a ênfase será dada na geração distribuída pela fonte alternativa do biogás e as melhorias que ela pode causar na unidade geradora.

2.6- Geração distribuída no Brasil

Atualmente, muitas empresas de agronegócios e até mesmo o setor residencial estão investindo na geração de energia elétrica em suas próprias unidades, produzindo sua demanda energética e ainda enviando a rede local o excedente momentâneo de produção. A esse tipo de geração dá-se o nome de Geração Distribuída, segundo a ANEEL [1] “caracteriza-se pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis...”.

No passado, a demanda energética no Brasil era muito menor que a atual, a capacidade instalada era mais que suficiente. No princípio da produção elétrica brasileira, que se deu entre 1880 e 1900, a geração era inteiramente distribuída, as pequenas unidades geradoras atendiam a uma demanda local e não eram interligadas a um sistema nacional de barramentos. Já em 1961, os estudos para implantação de um sistema nacional integrado começaram e no ano de 1970, as usinas começaram a ser ligadas ao sistema interligado. Até chegar aos dias de hoje onde temos um Sistema Interligado Nacional (SIN) [14].

Até o ano de 2012, a geração distribuída de energia, por fontes renováveis ou de cogeração, não era regulamentada, e não era possível interligar pequenas fontes geradoras, particulares ao sistema nacional. Pequenas plantas de geração já existiam, para uso interno das unidades geradoras, entretanto, a demanda destas unidades era muito inferior à capacidade que elas poderiam gerar. Ou seja, havia uma grande perda de potencial energético e limitava o investidor a só usufruir das economias advindas da planta, no local de instalação. Assim, não havia um retorno tão rápido dos investimentos nas plantas de geração sustentáveis.

No caso da geração a biogás, grandes suinoculturas produziam em altas quantidade o gás, mas não viam viabilidade no projeto de implantação da planta geradora, pois os custos eram altos e os retornos lentos. É comum em uma unidade rural de grande porte dividir setores de energização, com transformadores separados e diferentes instalações. Então, seria viável que se uma planta distribuída estivesse ligada a uma instalação, o excedente fosse descontado em outra instalação da unidade. Isso tornou-se possível a partir de 2012 com a criação da resolução normativa nº482/2012. Desta forma, segundo [17], o consumidor deixa sua característica passiva para se tornar ativo perante o SIN.

2.7- Resolução Normativa nº482/2012

A resolução Normativa nº482/2012 da ANEEL, de 17 de abril de 2012, estabeleceu a aprovação para regulamentação do acesso de pequenas unidades geradoras ao sistema distribuído [19]. Em seu texto, a norma estabelece os parâmetros classificatórios das unidades, a compensação de energia e demais termos de segurança.

Assim, todo consumidor ativamente cadastrado no Ministério da Fazenda, seja por pessoa física ou jurídica, tem a permissão para conectar um sistema de geração de energia elétrica próprio, oriundo de fontes renováveis. Também relata o sistema de compensação da concessionária com a unidade de geração distribuída.

Nesta resolução, ficou assim classificado que para a micro geração a produção é inferior a 100 kW e para a mini geração a produção vai de 100kW a 1MW.

Segundo a referência [1], o grande salto dado pela geração distribuída ocorreu em 2016 e no decorrer do texto será mencionado este fato novamente, mas isso pode ser visto na figura 06.

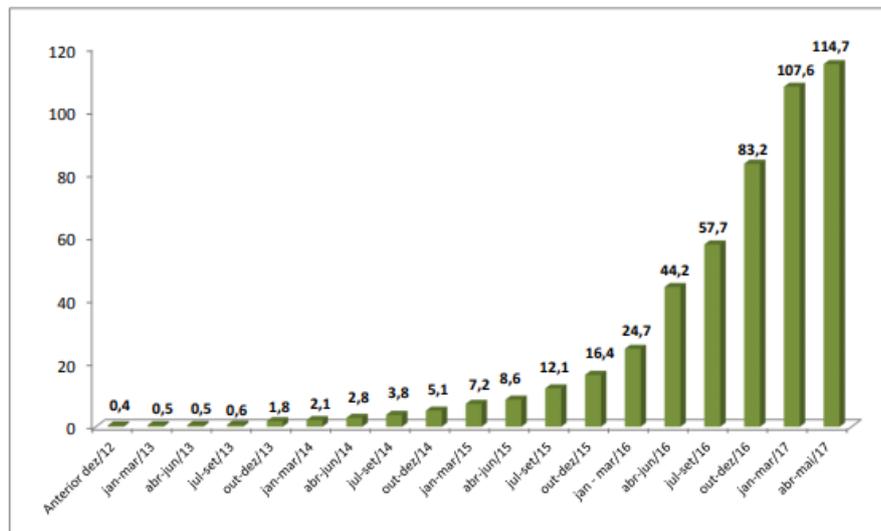


Figura 06: Potência instalada em MW até 23/05/2017 (adaptado da referência [1])

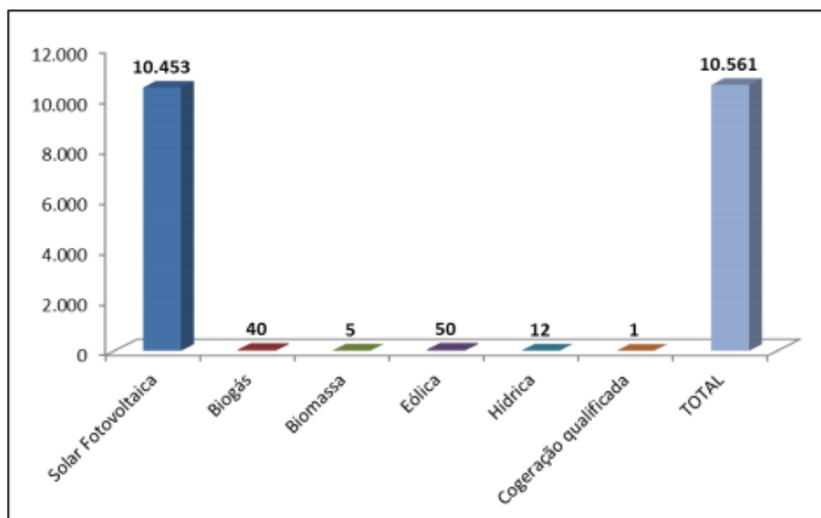


Figura 07: Numero de instalações por fonte geradora (adaptado da referência [1])

Como se pode ver o número de conexões a biogás em 2017 era muito pequeno. Talvez pelos altos custos de instalação ou por falta de regularização na produção de gás das unidades. Desta forma, esse trabalho vem incentivar a produção de energia a biogás, devido às características agropecuárias desse país e a alta produção de matéria orgânica e consequente metano.

Nas implantações praticas mostrar-se-á a interferência dessa tecnologia em um cenário rural de produção de suíno.

2.8- Resolução Normativa nº 687/2015

Uma nova resolução da ANEEL a de nº 687/2015, que entrou em vigor em março de 2016, reformulou a resolução normativa nº 482/2012, facilitando o processo de implantação da geração distribuída e seu retorno junto ao consumidor[20].

A partir de então, passou-se a considerar como micro geração distribuída as instalações geradoras de até 75kW e de mini geração distribuída as plantas com capacidade de geração entre 75kW e 5MW. Também houve mudança no prazo para consumo de crédito junto à concessionária local, passando de 36 meses para 60 meses [20].

Também surgiu a “geração compartilhada”, onde a ANEEL possibilitou a criação de um consórcio ou cooperativa, que instale uma mini ou micro geração distribuída e assim cada associado receba uma parcela de redução em suas eventuais faturas junto à concessionária.

Além de possibilitar isso em condomínios de forma compartilhada [20]. A figura 08 mostra a evolução da geração distribuída a biogás em dois anos.

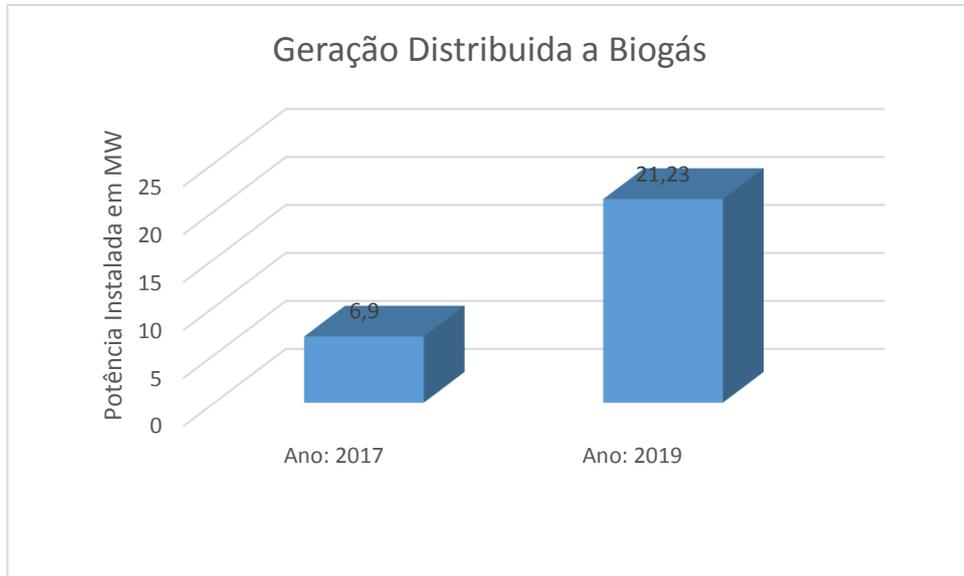


Figura 08: Geração distribuída a Biogás [01][25]

A redução no tempo das concessionárias para ligar o sistema à rede de distribuição também é destaque nesta resolução, além de permitir ao solicitante poder acompanhar o processo via Internet[20]. Isso tudo contribuiu para o aumento da GD como indica os dados da figura 09.

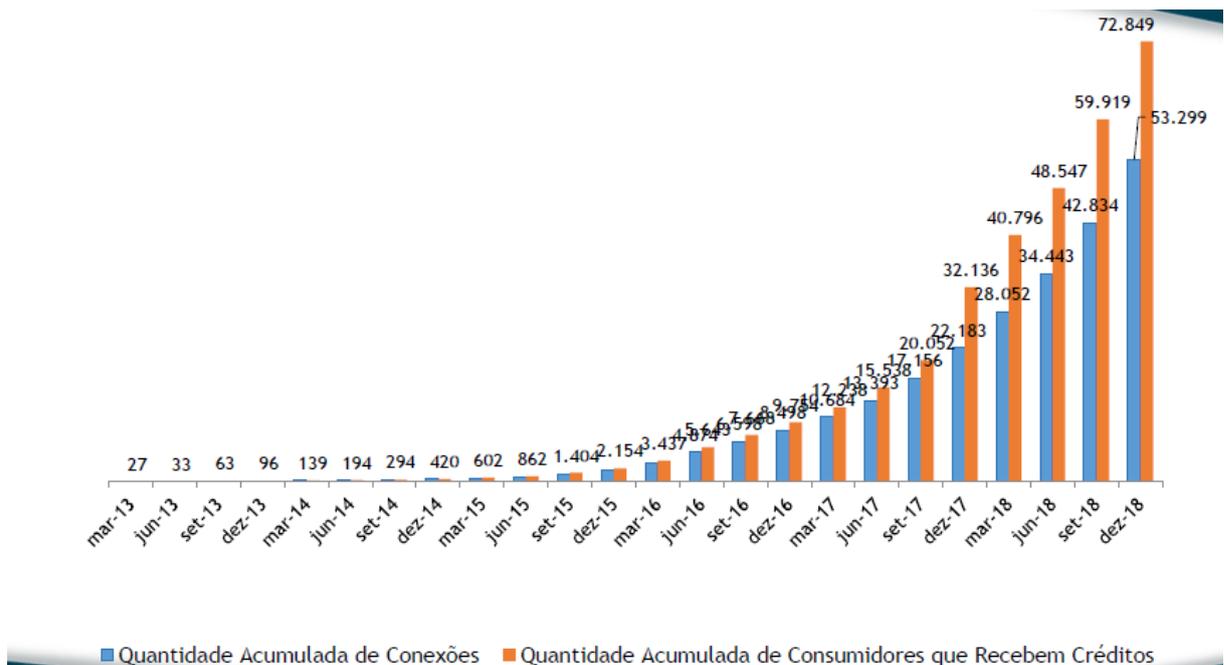


Figura 09: Panorama da GD no Brasil até 2018 (adaptado da referência [22])

A figura 09 apresenta a grande evolução que a geração distribuída apresentou com a aprovação da resolução nº 687/2015.

2.9- Custo de Disponibilidade

Os consumidores que aderem ao sistema de mine e micro Geração distribuída, devem pagar um valor fixo em kWh para poderem ter disponibilidade de usar a rede de distribuição no momento em que necessitarem. Essa cobrança é chama de “Custo de disponibilidade”. Mesmo que a quantidade de crédito seja suficiente para liquidar o consumo, o cliente deve pagar uma quantia em kWh para sua concessionária [22].

Os valores podem variar com o tipo de instalação, conforme é apresentado na tabela 01

Tabela 01: Custo de Disponibilidade (adaptado da referência [22])

Tipo de Conexão da Instalação	Custo de disponibilidade
Monofásica	30 kWh
Bifásica	50 kWh
Trifásica	100 kWh

2.10- Futuras alterações nas normas de Geração Distribuída de Energia

Desde o início da resolução 482/2012, há um impasse entre os adeptos da geração distribuída e as distribuidoras de energia convencional. As Concessionária alegam que o modelo atual de compensação de geração distribuída pode causar um impacto financeiro, prejudicando os demais consumidores que não apresentam a geração própria.

Pensando em ambos os lados, a ANEEL, vem desde o ano de 2018, fazendo uma consulta pública que serviu de preparação para a audiência pública nº 001/2019, que foi realizada entre os dias 24/01/2019 a 19/04/2019. Com esta audiência a ANEEL pode colher informações e subsídios para a “Análise de Impacto Regulatório” que irá revisar a regra da mine e micro geração distribuída[24][25].

Como o resultado desta audiência e da 1º fase do processo de mudança nas regras, a ANEEL apresentou 06 possíveis cenários de compensação da energia. As chamadas “Alternativas” de número “0” a “5”, podem reduzir a quantidade de crédito que os consumidores com geração própria terão frente as concessionárias. Com estas mudanças o proprietário de uma pequena geração distribuída terá que contribuir com a Taxa de Uso de Transmissão e com a Tarifa de Energia. Abaixo pode-se ver tais mudanças, baseado na referência [24][25] e depois a figura 10 ilustrará tal situação:

- Alternativa “0”: A mesma quantidade que é injetada na rede pode ser utilizada como crédito junto a concessionária (Cenário atual), compensação de 100%;
- Alternativa “1”: Nesta situação o consumidor deve passar a pagar pelo transporte da energia consumida, que segundo a referência [25] equivale hoje a cerca de 28% a menos no crédito junto a concessionária, compensação de 72%;
- Alternativa “2”: Nesta situação o consumidor terá que pagar pelo transporte da energia consumida e pela distribuição da energia injetada, que segundo a referência [25] equivale hoje a cerca de 34% a menos no crédito junto a concessionária, compensação de 66%;
- Alternativa “3”: Nesta alternativa além de se ter os descontos iguais da anterior, tem-se ainda descontos referentes a encargos, que segundo a referência [25] equivale hoje a cerca de 41% a menos no crédito junto a concessionária, compensação de 59%;
- Alternativa “4”: Nesta situação além de todos os descontos anteriores também seria descontado uma parcela referente a perdas no transporte da energia, que segundo a referência [25] equivale hoje a cerca de 49% a menos no crédito junto a concessionária, compensação de 51%;
- Alternativa “5”: Nesta situação temos todos os encargos da TUSD e da TE, não entrando isso na quantidade referente a compra de energia, que segundo a referência [25] equivale hoje a cerca de 63% a menos no crédito junto a concessionária, compensação de 37%;

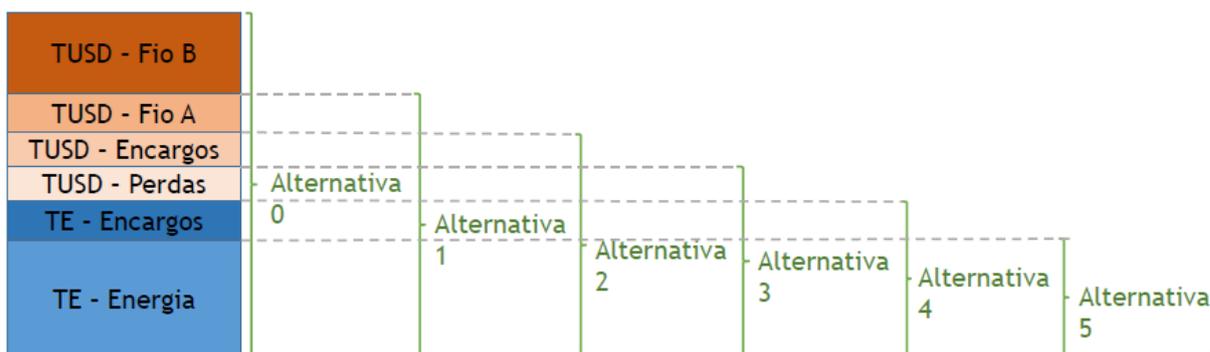


Figura 10: Alterações na resolução (adaptado da referência [22])

Todas estas Alternativas são propostas, que após esta audiência Pública a ANEEL colocou como proposta de medida a ser tomada para diferentes situações e análises.

Segundo a referência [22], a nova regra será diferente para a geração local e remota. Lembrando que geração distribuída local é o sistema onde a compensação se dá no mesmo local onde a energia é gerada, sendo o inverso para a geração distribuída remota.

Para o sistema de geração local, a Proposta da ANEEL seria fazer a alteração do cenário atual (alternativa “0”) para a alternativa “1” quando a potência instalada de geração distribuída local chegasse ao número de 3,365 GW de potência instalada[25]. Segundo a ANEEL essa marca deve ser atingida entre 2024 a 2025[22].

Já na geração distribuída remota, as mudanças ocorrerão em duas etapas diferentes. Uma da alternativa “0” para alternativa “1” quando atingir a marca de 1,25 GW de geração remota instalada. A outra seria a mudança da alternativa “1” para alternativa “3”, quando atingisse a marca de 2,17 GW de geração remota [25].

Essas propostas ainda não se tornaram normas, mas para o segundo semestre de 2019, deve-se enfim reestruturar o sistema de compensação para geração distribuída, o que não deve fugir muito do que já está planejado. Essas mudanças podem interferir no tempo de retorno dos investimentos feitos em geração distribuída, que será mais discutido na secção 7.

3.0- Produção de Biogás

Esta secção apresenta a produção e armazenamento da matéria prima aqui estudada para produção de energia elétrica, o Biogás. O seu poder calorífico e sua eficiência perante a outros combustíveis.

3.1- O Biogás

O biogás é um gás proveniente da fermentação anaeróbica de matéria orgânica. Este gás é uma mistura de outros gases, principalmente o Metano (CH_4), que é altamente explosivo, tornando o biogás bom para processos de combustão [2] e [3]. Outro fato é que as matérias orgânicas que mais produzem o biogás são aquelas ricas em amido, proteína, celulose e carboidrato, que pode ser encontrado nas fezes de animais [15].

Os primeiros testes com o biogás datam do século XVII, mas apenas obteve destaque a partir do século XIX, onde o cientista Louis Pasteur demonstrou a geração desse gás a partir de uma mistura de estrume e água [2]. Surgiu aí um importante processo de sustentabilidade, pois a matéria orgânica que antes era lixo e ainda poluía se transformou-se em um bom fertilizante para o solo e uma excelente fonte geradora de energia. Além, é claro, de retirar toneladas de metano da atmosfera.

A combustão do CH_4 irá causar a emissão do CO_2 , ambos esses gases são causadores do efeito estufa. Entretanto o metano é cerca de 21 vezes mais poluente que o CO_2 , pois é mais eficiente na captura de radiação [16], conforme é apresentado na figura 11.



Figura 11: Comparação entre o CH_4 e CO_2 (adaptado da referência [16])

O biogás é geralmente produzido em áreas rurais, aterros sanitários e indústrias relacionadas à agropecuária, como também é possível produzir o biogás com esgoto e resíduo de alimento doméstico, comercial e industrial [15]. A grande fonte de produção do biogás está

na indústria de beneficiamento da cana de açúcar [16]. Entretanto, nesse trabalho o enfoque especial é para a produção do biogás a partir de dejetos oriundos da suinocultura, pois a planta base de estudos foi uma microgeração distribuída proveniente de biogás da produção de suínos.

3.2- O biodigestor

O biodigestor é um dispositivo que propicia as condições adequadas para a produção do biogás[18]. Eles deixam o ambiente favorável para que as bactérias anaeróbicas sobrevivam e produzam o metano.

Pode-se dizer que ele se divide em duas partes, segundo a referência [18]:

- Tanque digestor onde aloja-se a biomassa;
- Gasômetro, capsula responsável por armazenar o gás;

Atualmente, o sistema de biodigestor mais utilizado é o feito com manta de PVC [18]. Antes de entrar na caixa do biodigestor, o material orgânico passa por um tanque onde as partículas sólidas são dissolvidas em água. A maioria dos dejetos não precisa ser dissolvido em água, pois na limpeza dos ambientes onde são expelidos já se misturam com a água.

O líquido inicial vai para o biodigestor, onde sofrerá o processo anaeróbico de bactérias e assim formar o metano e um excelente biofertilizante. A figura 12 pode mostrar melhor esses conceitos:

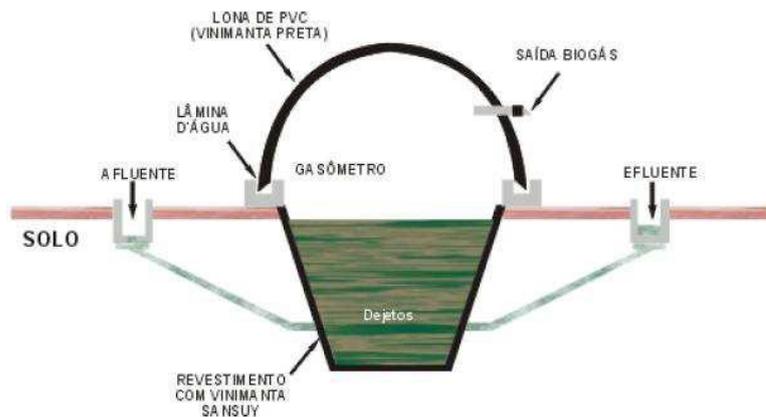


Figura 12: Exemplificação de um biodigestor (adaptado da referência [02])

A Tabela 02, mostra seguindo a referência [21], dados da capacidade de produção de biogás que o dejetos de alguns animais pode causar. Esses dados podem ser a base para se calcular o tamanho do biodigestor e a capacidade de produção de energia.

Tabela 02: Dados da capacidade de produção de biogás para dejetos de alguns animais (adaptado da referência [21])

Animal	Biogás produzido pelos dejetos por m ³ /dia/animal
Suíno-Terminação	0,08
Suíno-matrizes	0,19
Bovinos de Leite	0,54
Bubalino	0,06
Caprinos	0,07
Equinos	0,36
Galinha	0,01

Com base nos resultados da referência [15], pode-se montar a Tabela 03, que apresenta dados comparativos entre 1 m³ de biogás e outros meios de energia. Neste caso foi considerado que 1 m³ continha uma quantidade energética de 6.148,98 kcal.

Tabela 03: Dados comparativos entre a capacidade de 1m³ de biogás com qualidade energética de 6.148,98 kcal, comparado a outros combustíveis e energias (Adaptado da referência [15]).

Combustível	Equivalente
Gasolina	0,98 L
Álcool	1,34L
Gás natural	1,50 m ³
Eletricidade	2,21 KWh

Estes dados serão utilizados para o cálculo de produção do exemplo prático da seção 5.

4.0- A Planta de Geração de eletricidade usando o biogás

A base da produção de uma planta a biogás está no funcionamento e controle de um motogerador. Este é constituído basicamente do acoplamento entre o motor de combustão interna e o alternador. Nesta etapa do processo temos a transformação da energia química do biogás em energia mecânica do motor e desta para energia elétrica do alternador. Os motogeradores podem ser usados como fonte principal de energia em lugares remotos ou como fonte auxiliar de geração, trazendo segurança e economia. Seus geradores são caracterizados por ter poucos polos (dois ou quatro) e trabalhar a altas velocidades que podem ir de 1800 a 3600 rpm [4].

Para geração de energia a partir da hidroelétrica é usado um gerador de vários polos, que recebe potência mecânica de uma turbina hidráulica, a uma velocidade que geralmente não passa das 90 rpm. Uma máquina de muitos polos é robusta e sua construção é mais difícil. Assim, os motogeradores são soluções viáveis em produção de energia para apenas algumas dezenas ou centenas de kW, pois usam maiores velocidades, reduzindo assim o diâmetro do rotor [4].

O controle da planta geradora é composto por mecanismos auxiliares que controlam parâmetros como: velocidade, excitação do alternador, etc. A seguir serão destacados alguns desses controladores. Também será destacado a geração distribuída a biogás.

4.1- Controle de velocidade

Todo o sistema interligado nacional trabalha a uma frequência de 60Hz. Desta forma é determinado que para máquinas síncronas de dois polos a velocidade deve ser de 3600 RPM e para as de quatro polos a velocidade deve ser de 1800 RPM. A medida que mais ou menos carga é ligada na planta a velocidade da máquina tende a mudar se nenhum controle for feito. Assim para que haja o sincronismo é necessário a dosagem correta da quantidade de gás e ar que serão misturados para a combustão [4].

Para isso, tem-se um sistema em malha fechada que controla uma válvula borboleta. Trata-se de um atuador controlado por um sistema que recebe dados de um sensor *Pick-up*, um sensor indutivo que transmite dados da velocidade do motor. Ele é instalado próximo a uma superfície girante da planta [18].

4.2- Controle da Mistura de Ar e Biogás

Também deve ser analisado o gás de saída, após a combustão, pois é preciso controlar a emissão de poluentes e aumentar a eficiência do processo. Para isso, é instalada um sensor Lambda na saída do tubo de descarga. Ele enviará mensagem para um outro sistema de controle, também em malha fechada, que irá acionar da devida maneira uma outra válvula borboleta que antecede a válvula de controle de velocidade. Sendo que uma pode interferir na outra [18].

4.3- Controle da Tensão Gerada

Todos os controladores anteriormente mencionados podem interferir diretamente na velocidade da máquina e conseqüente alteração na frequência da tensão de saída do alternador. Porém, além da frequência, é necessário controlar a amplitude do sinal gerado e esta é função da máquina excitatriz [02].

Geralmente, nesse tipo de gerador há um outro acoplado ao eixo principal, também síncrono, mas que irá seguir a retificação rotativa, que já foi apresenta na secção 2.4.

Nesta parte do controle da máquina, o sistema é composto de um conjunto de medidores, reguladores e da excitatriz. O atuador nesse caso será a tensão de campo da máquina de excitação. Os medidores tratam-se de dois diferentes tipos de sensores, sendo um de potencial (TP) e o outro de corrente (TC). Eles enviam sinal para o regulador que irá mandar uma resposta de ação para o atuador. Todo esse processo também pode interferir no fator de potência do gerador [18].

4.4- O Controle do Fator de Potência

A excitatriz também pode controlar o fator de potência da máquina geradora. Ao regular a tensão, pode-se controlar o potencial reativo da máquina [12]. Além de tudo isso, é necessário o controle mecânico entre a máquina geradora e a máquina primária [18].

Segundo a referência [18], podemos chamar o ponto de conexão do gerador com a rede local de distribuição de barra infinita, onde pode ser considerado que sua tensão e frequência são constantes.

Assim para controlar a tensão e fator de potência, a excitatriz e o regulador de velocidade têm a função de no paralelismo controlar, a tensão, a frequência e a potência mecânica entregue a máquina geradora. Todos esses controles podem ser vistos na Figura 13.

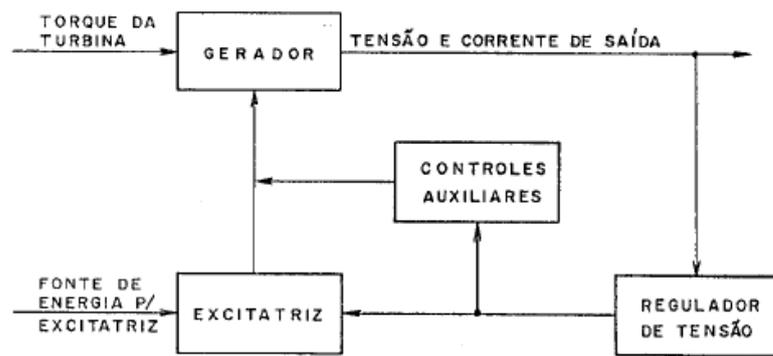


Figura 13: Exemplo do controle de Fator de Potência (adaptado da referência [12])

4.5- A geração distribuída de energia a partir do Biogás

O Brasil apresenta hoje um grande potencial para produção do biogás. A planta apresentada nas seções anteriores apresenta a capacidade de produzir tanto para o autoconsumo quanto para venda de excedentes, gerando créditos que poderão ser compensados em eventuais desligamentos do sistema de geração e abatimento em outras unidades cadastradas com a mesma Pessoa Física ou Jurídica.

Como pode ser visto na figura 07, assim como foi comentado na seção 2.7, o número de ligações distribuídas a biogás em maio de 2017 era muito pequeno segundo a ANEEL e a referência [16], a participação do biogás na matriz energética nacional até o ano de 2016 não chegava à 0,05% e a produção não passava de 119 MW na mesma data, como pode ser visto na Figura 14

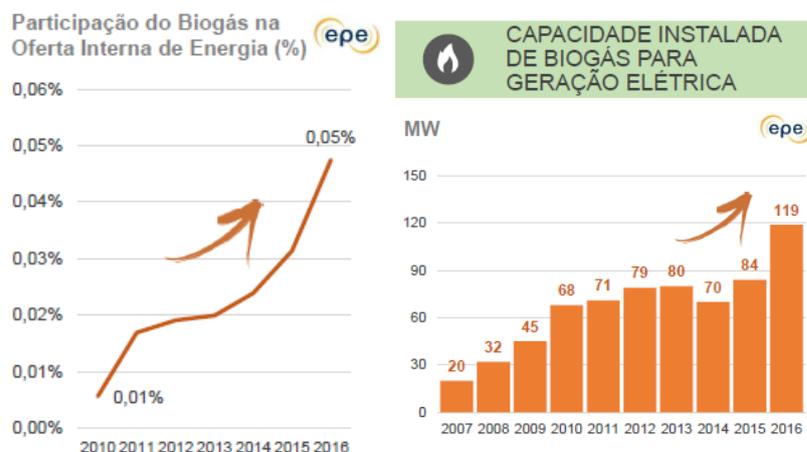


Figura 14: Dados da geração a biogás (adaptado da referência [16])

Se entre esses dados separarmos os números de geração distribuída a biogás, o potencial de produção em março de 2016, não chegava a 2MW de potência instalada, como pode ser visto no gráfico da Figura 15. Isso mudou, com a implantação da resolução 687/2015 da ANEEL, que entrou em vigor em março de 2016, que já foi comentada na seção 2.8.



Figura 15: Dados da geração a biogás (adaptado da referência [16])

Assim, a geração distribuída a biogás apresentou um salto de 4 vezes mais o valor na data de implantação da nova resolução para julho de 2017 [16]. E hoje ela já chega ao montante de 21,23 MW de potência instalada com 146 unidades em operação até junho de 2019 [25], como pode ser visto na Figura 28.

Segundo a referência [17], a geração distribuída pode reduzir perdas e aliviar as demandas da rede de transmissão. Para isso, deve haver um sincronismo entre a rede de distribuição local e o grupo gerador. Ou seja, quando a planta geradora a biogás estiver em paralelismo com a rede, os dados da mesma serão a referência para o controle da máquina geradora.

Este tipo de operação deve atender a uma série de requisitos estabelecidos pela concessionária de energia local, para que o sincronismo seja feito com uma maior segurança. O sistema deve estar preparado para eventuais mudanças na rede e pronto a tomar uma medida de segurança [17].

A base de todo projeto de geração distribuída está em um sistema de monitoramento, controle e proteção (SCMP). Este sistema está presente no painel de controle.

4.6- O Painel de Controle

No painel de controle pode ser encontrado toda a tecnologia de sincronismo e controle da planta. Nesta parte está presente o Sistema de Monitoramento, Controle e Proteção (SCMP) do gerador e da rede a ser acoplada. Assim é possível controlar a partida do motor da máquina primária, detectar alguma anomalia, indicar as medições de tensão na rede e do gerador, como também a corrente de saída do alternador e demais funções para o melhor trabalho da planta [3].

O controle de sincronismo para geração distribuída está na igualdade entre o módulo da tensão e das fases das tensões de saída do gerador e da referência que é a rede. Toda a planta deve ser protegida contra eventuais distúrbios entre o paralelismo [18].

É preciso que o sistema apresente os tipos de anomalias que impede o funcionamento da geração ou do sincronismo com a rede. Quando isso é permitido, os reparos na planta podem ser feitos com mais agilidade e o tempo de parada na produção será mínimo dependendo do evento.

Será destacado que todos os comandos apresentados da seção 4.1 a 4.4 e também outros comandos auxiliares estão interligados ao SMCP, onde são comandados por este para haver a produção e paralelismo. O controle para o sincronismo pode ser visto na Figura 16.

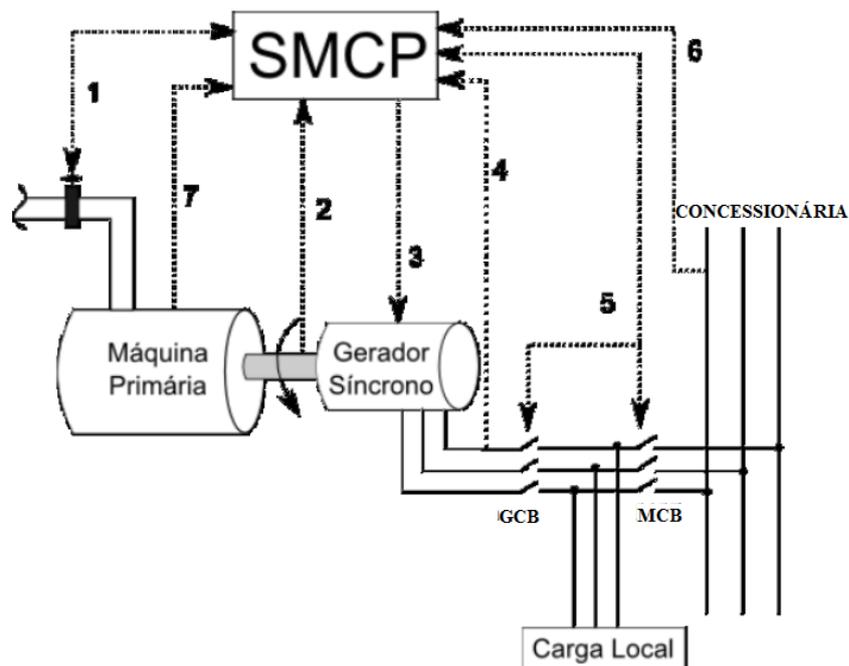


Figura 16: O SMCP (adaptado da referência [18])

O sistema de controle e proteção apresenta dois dispositivos mecanismo de ação, que funcional como atuadores na passagem da corrente elétrica seja para a carga ou para a rede. São eles o relé GCB, que libera a tensão do gerador para a carga local e o MCB que percebendo devidamente o sincronismo, interliga a planta a rede de energia local. Ambos os relés funcionam obedecendo um sinal de pulso, que é enviado pelo SMCP, onde tomaram diferentes ações dependendo da situação. A carga local fica ligada diretamente na linha entre os dois relés. Caso o gerador não funcione o GCB se abre e o MCB leva energia da rede para a carga local. Caso contrário, se a rede está em falha, então o relé MCB abre e o GCB fecha, transformando o sistema local em uma instalação isolada e independente [02][18].

5.0- Caso Prático: Fazenda com criação de Suínos

O caso prático em estudo, envolve uma fazenda produtora de suínos e apresenta grande potencial de concentração. Segundo dados dos administradores da propriedade, ela conta hoje com uma capacidade instalada de 640 matrizes (fêmea em criação) e uma faixa de 9.000 animais em engorda e terminação. Respeitando a legislação ambiental vigente, já há vários anos a propriedade vem tratando de seus dejetos e extraindo o biogás. Entretanto, esse gás era queimado sem nenhuma utilidade durante anos.

Com o crescimento e melhoria do sistema de geração distribuída, a propriedade passou por um processo de adaptação para receber um gerador a biogás e preparar o sistema para entregar à rede o excedente de produção de energia. Isso levou a um investimento alto, segundo o proprietário, mas o retorno está sendo satisfatório, como será apresentado na seção 7.3.

Como na maioria das propriedades rurais de grande porte, assim como foi apresentado na seção 3.2, a distribuição é dividida em instalações e no caso da granja em estudo, o sistema é dividido da seguinte forma, como pode ser visto na Tabela 04:

Tabela 04: Circuitos da propriedade em análise

	Potência do transformador	Setor de alimentação
Circuito I (Trifásico)	75kVA	Galpões e bombas
Circuito II (Trifásico)	75kVA	Fábrica de Ração
Circuito III (Monofásico)	37.5 kVA	Casa dos empregados

Desta maneira, o sistema de geração distribuída presente nessa propriedade, foi acoplado ao circuito I. Trata-se de um transformador 13800/220 [V] com potência nominal de 75kVA. Na Tabela 05 apresenta as cargas de principal relevância no circuito I, todas trifásicas:

Tabela 05: Carga do Circuito I

	Carga ativa em kW	Carga Reativa em kVA
Bomba de dejetos	22	3
Bomba de água	3.8	2.4
Nove motores para sistema de alimentação dos animais	3.6	3.6

Cada um dos motores para alimentação dos animais está a uma certa distância da fonte alimentadora, o que causa perdas no circuito. Para isso, nas implementações práticas, serão mostradas essas perdas. Os dados coletados no local, que envolve a distância dos cabos e a bitola, foram convertidos como dados de entrada para o software ANAREDE, dados estes de resistência e reatância. A base para os cabos foi retirada da referência [22].

As simulações serão mostradas na seção 7.0.

5.1- A planta de geração distribuída da Propriedade

A planta de geração distribuída desta propriedade, entrou em operação em abril de 2017, com capacidade de disponibilizar para a concessionária, que neste caso é a CEMIG, um excedente de até 75kW, sendo o recurso renovável do biogás.

O alternador presente na planta é um modelo da WEG, o GTA202A136 B 15 T, que apresenta a capacidade de produção de 120kVA, frequência de 60Hz e uma excitação tipo *brushless* com bobina auxiliar, que já foi apresentada na seção 2.3 e 2.4. O motogerador pode ser visto na Figura 17.



Figura 17: Motogerador da propriedade

O SMCP está a cargo do sincronizador de paralelo, o modelo GC 500 *mains* da SICES, que irá permitir coletar dados para análises futuras. O SMCP da propriedade pode ser visto na Figura 18.



Figura 18: Painel de controle da propriedade

5.2- Dados coletados no Gerador e na Rede.

Agora será apresentado alguns dados desde grupo de geração que comprovaram sua eficiência e trabalho. Houve dificuldades na comunicação com o SMCP e por isso a coleta de dados teve de ser manual, limitando o número de informações. Será apresentado a coleta de dados que ocorreu entre os dias 28/09/2018 e 29/09/2018.

Essa planta está programada para gerar no máximo 70kW ou 70 kVA, procurando o máximo um com fator de potência unitário. Segundo a seção 4.4, o fator de potência será cada vez mais próximo da unidade quanto melhor for o sincronismo da planta e quanto melhor trabalhar a excitatriz. Nas Figuras 19 a 21, pode ser visto o resultado da análise das tensões linha-linha de um dia que o gerador funcionou sem interrupções e nas Figuras 22 a 24, dados de potência, rotação e FP.

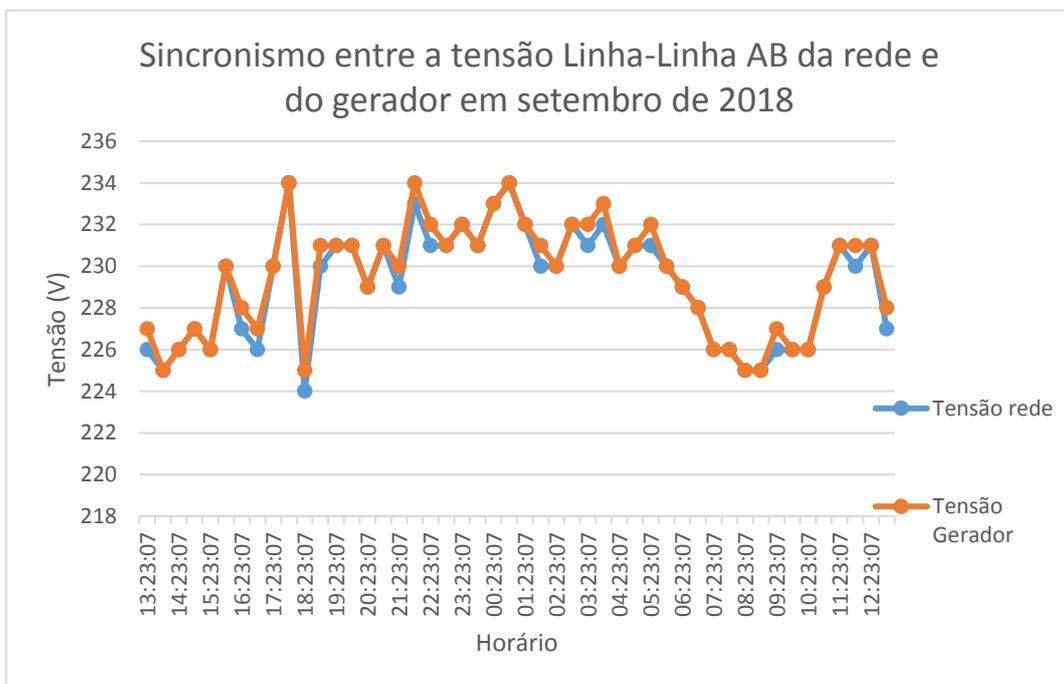


Figura 19: Tensão de Linha-linha AB do gerador e da rede

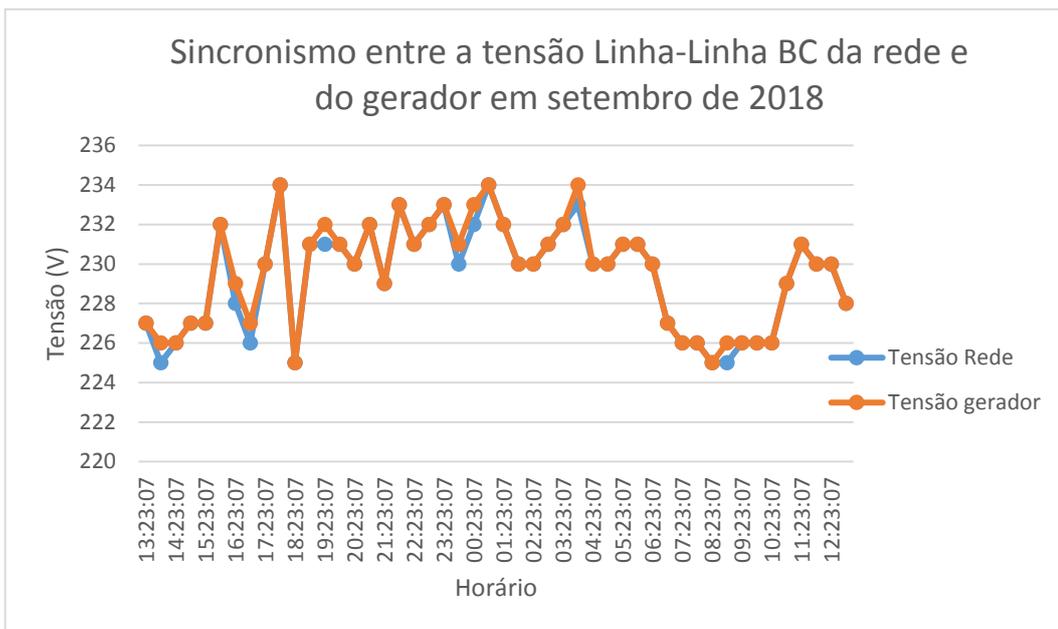


Figura 20: Tensão de Linha-linha BC do gerador e da rede

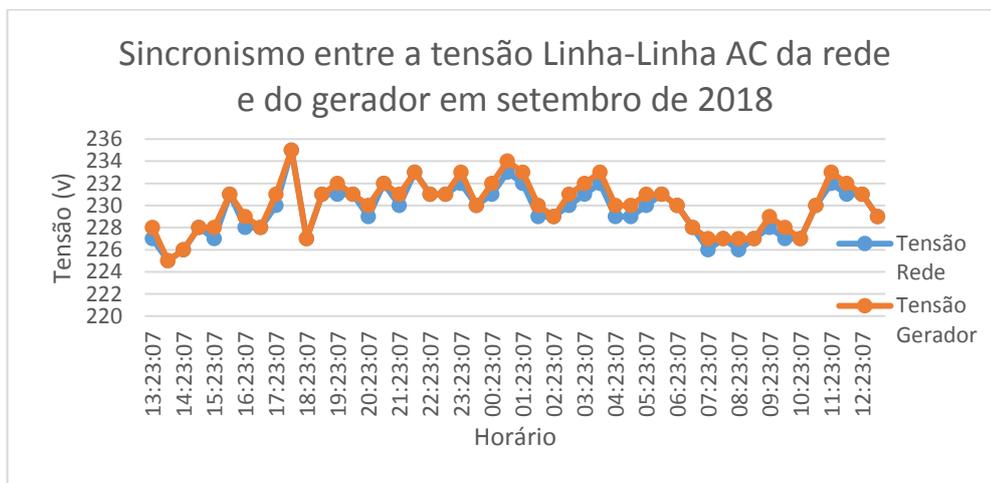


Figura 21: Tensão de Linha-linha AC do gerador e da rede

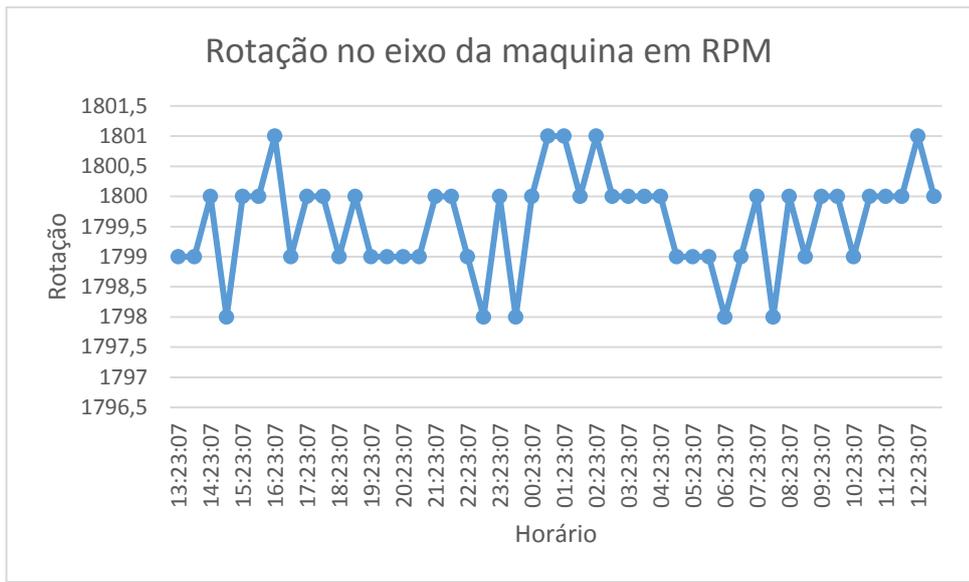


Figura 22: Velocidade no eixo do motor

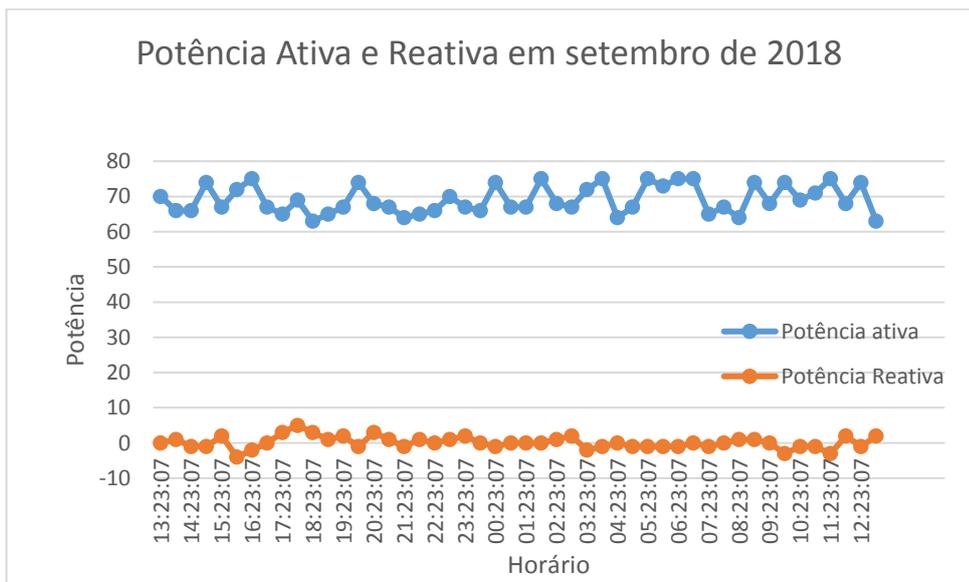


Figura 23: Potencia ativa e reativa do gerador

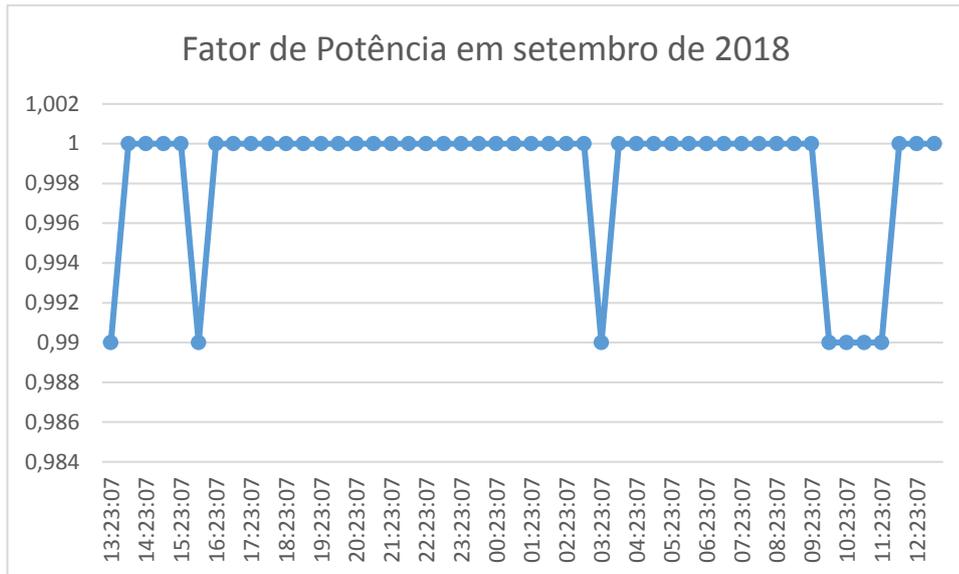


Figura 24: Fator de potência do Gerador.

Analisando as figuras 19 a 24, conclui-se que as situações em que o gerador esteve mais prejudicado em seu sincronismo com a rede, foram quando ele apresentava maior produção de reativo. Mesmo pequena, essa parcela de potência indesejada afetou o sincronismo com a rede. Bem, isso pode acontecer como resposta do sistema de SMCP para estabilizar a planta e assim momentaneamente a uma leve diferença no sincronismo até que ele seja estabilizado. Outro distúrbio é a falta de sincronismo na velocidade da máquina em alguns momentos, fugindo do valor de 1800 RPM. Desta maneira a frequência da tensão gerada pode ter sido afetada.

Em estudos de campo em outras unidades de mesmo tipo de geração, relatou-se problemas com o sincronismo com a rede. Estes problemas se devem, segundo técnicos que acompanham a planta, a baixas tensões na rede em certos horários do dia, o que impede o paralelismo pois a planta também protege às máquinas da produção interna da propriedade de trabalhar muito abaixo da tensão nominal. Com esse problema, a produção não é máxima, pois atende apenas a demanda interna e o proprietário fica sem receber crédito junto a concessionária.

5.3- Potencial de produção de Biogás e energia

Tendo por base os dados da Tabela 02 e da Tabela 03, pode-se dizer que, o índice de produção de biogás dessa instalação, será:

$$P_{biogás} = (n_{matriz} \times 0.19 + n_{terminação} \times 0.08) \text{ m}^3/\text{dia} \quad (02)$$

Onde:

$$P_{biogás} = \text{Produção de Biogás em } m^3/\text{dia}$$

$$n_{matriz} = \text{número de suínos – matriz}$$

$$n_{terminação} = \text{número de suínos – terminação}$$

Com os dados iniciais dessa seção, o resultado será:

$$P_{biogás} = 640 \times 0.19 + 9000 \times 0.08 = 841.6 \text{ m}^3/\text{dia} \quad (03)$$

Segundo o administrador, esse valor era real no início da implantação do biodigestor, porém hoje a eficiência do mesmo não é a mesma, produzindo em média apenas 700 m³ de biogás por dia. Esse total irá causar uma produção diária de energia, considerando um biogás eficiente como o da tabela 02, que pode chegar a:

$$\text{Produção diária de energia na planta} = 2.21 \times \frac{700}{24} = 64.45 \text{ KWh} \quad (04)$$

Que vem a ser um valor abaixo do que o SMCP está programado, fazendo com que em certas ocasiões falte o biogás para geração de energia. Ou seja, para que a planta funcione 24 horas, deve-se diminuir o valor máximo de produção de 75KW, pois a produção de gás não é suficiente.

No estudo de campo percebeu-se uma perda na tubulação do biogás. O gás desperdiçado significa perda de produção de energia e consequente crédito junto a distribuidora local.

5.4- Dados de geração e consumo

A tabela 06 apresenta os dados da geração e consumo de energias desta propriedade na instalação com geração distribuída no ano de 2018:

Tabela 06: Consumo e potência injetada na rede em 2018

Mês	Potencia injetada na rede (kWh)	Potencia consumida da rede (kWh)
Janeiro/2018	13160	10040
Fevereiro/2018	16160	6160

Março/2018	10560	7760
Abril/2018	22720	5200
Mai/2018	28960	2280
Junho/2018	21480	5560
Julho/2018	23720	4400
Agosto/2018	15200	9760
Setembro/2018	24400	2640
Outubro/2018	19600	3760
Novembro/2018	16800	11200
Dezembro/2018	15920	7360
Média mensal	19056,7	6343,33

A Figura 25 pode fazer um comparativo melhor sobre o ano de 2018.

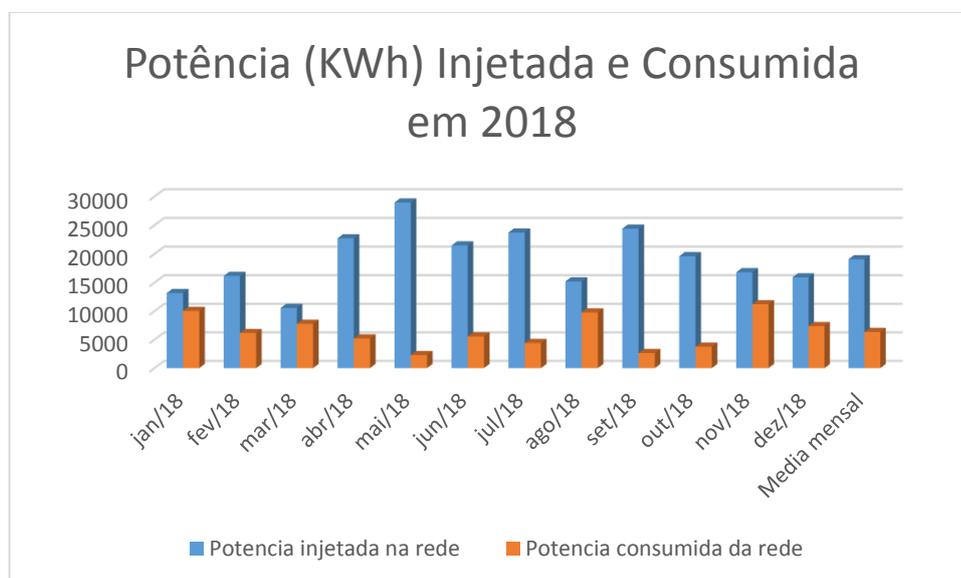


Figura 25: Potência Injetada e Consumida na planta em estudo

A Tabela 06 e figura 25 mostram dados do último ano. A Figura 26 mostra a produção e consumo desta instalação com geração distribuída desde o início em 2017:

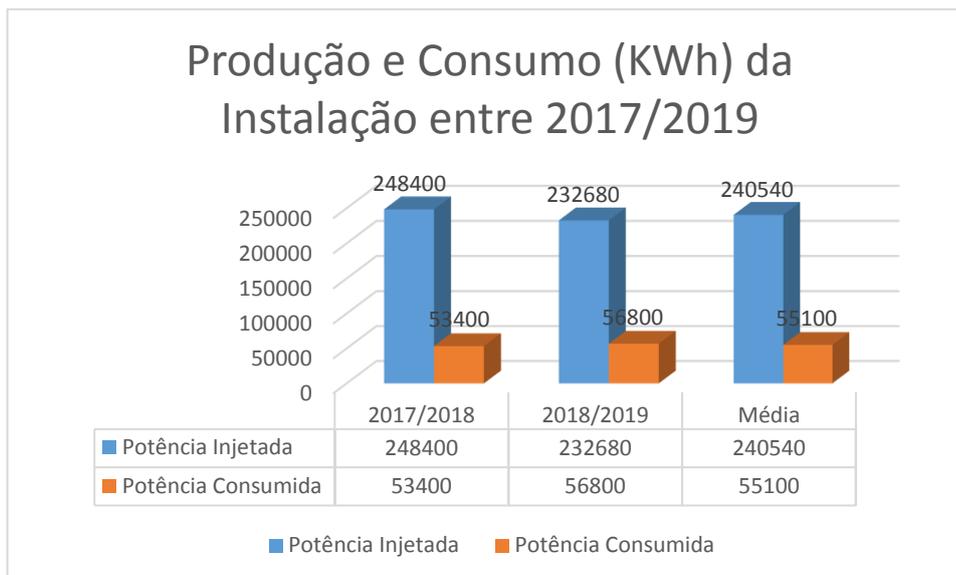


Figura 26: Potência Injeta e Consumida na planta em estudo

São dois anos de Geração distribuída. O tempo em análise ainda é pequeno, o que não garante que os índices de produção e consumo sofrerão as mesmas mudanças nos próximos anos que nestes dois primeiros. Entretanto, para fazer uma análise a longo prazo, será necessário usar a média destes dados, pois em todo caso são os únicos que o sistema apresenta.

É importante também informar os dados de consumo nas instalações do circuito II e III. Isso porque elas recebem crédito do excedente da geração distribuída. No último ano, o consumo anual destas instalações pode ser visto na Tabela 07:

Tabela 07: Potência consumida no circuito I e II no último ano

Instalação	Potência do transformador	Consumo em KWh do último ano
Circuito II (Trifásico)	75kVA	59470
Circuito III (Monofásico)	37.5 kVA	50085

6.0- Análise econômica

Além das boas características ambientais que esse tipo de geração de energia pode proporcionar, cabe destacar neste trabalho os benefícios econômicos que a geração distribuída de energia a biogás pode trazer a unidade implantada. Será analisado agora o terceiro e último benefício deste tipo de geração, analisando o investimento inicial e o tempo de retorno. O primeiro foi a sustentabilidade e o segundo a segurança energética.

Os gastos iniciais são altíssimos como será mostrado, o que dificulta a aquisição da planta em propriedades onde que apresentam alto potencial de produção. Entretanto o retorno é muito satisfatório. Para afirmar isso será preciso fazer uma análise de “ Fluxo de Caixa”. O Fluxo de Caixa é uma linha horizontal onde sua extensão representa o tempo de análise do investimento, as linhas verticais indicam a entrada ou retorno no investimento (seta para cima) e a saída valor investido inicial ou gasto com manutenção do investimento (seta para baixo) [23].

Para todo investimento, deve-se ter uma margem de segurança e um retorno satisfatório. A “Matemática Financeira” será a ferramenta base de análise para esse processo [23]. Assim, será considerado a aquisição de uma planta de geração distribuída a biogás como um bom exemplo de investimento.

São vários os métodos e ferramentas para análise de um investimento. Para esse trabalho será apenas analisado o tempo de retorno do investimento através do “Payback descontado”.

6.1- Gasto para Implantação e manutenção do Caso Prático

Para implantação da planta de geração distribuída apresentada da seção 05, foi preciso segundo o proprietário, fazer os seguintes investimentos, que são mostrados na Tabela 08:

Tabela 08: Gastos para Implantação do projeto

Gasto para implantação	Valor
Aquisição da planta Geradora e do controle de sincronismo com a rede	R\$ 200.000,00
Construção do Biodigestor	R\$ 300.000,00
Total de investimentos	R\$ 500.000,00

Ainda o proprietário informou os seguintes gastos com manutenção, informados na Tabela 09:

Tabela 09: Gastos com manutenção da planta anual

Gasto com manutenção (R\$/ano)	Valor
Troca de óleo do motor	R\$ 3000,00
Manutenção no biodigestor	R\$ 1500,00

É importante lembrar, que também será um gasto para o proprietário da planta, o custo de disponibilidade, variando para cada tipo instalação como apresentado na secção 3.9.

6.2- Análise do *Payback*

Para analisar o tempo de retorno, será utilizado o “*Payback*”. Essa ferramenta da matemática financeira, cuja a tradução do nome significa Retorno, indica ao investidor o tempo necessário para recuperar um investimento. Essa recuperação pode ser simples (*payback* simples), onde o montante final recuperado é igual ao montante inicial sem nenhuma valorização.

Mas, esse tipo de análise pode ser ruim, não demonstrando o verdadeiro tempo para que o investimento passe a apresentar lucros. Para encontra um resultado mais confiável é recomendado utilizar o “*Payback* descontado”. Neste tipo de análise de tempo de retorno é considerado a valorização do montante inicial investido por uma taxa de juros ou como também chamado taxa de desconto. Esse mesmo processo pode ser feito se o valor investido advém de um empréstimo com uma taxa de juros de $x\%$. O investidor precisar saber quando ele vai quitar o empréstimo e os juros do mesmo.

O “*Payback* descontado” é muito simples e rápido. Suponha que seria investido um valor X qualquer em reais e esse valor estaria a uma taxa de juros de $Y\%$. Durante cada intervalo de tempo, correspondente a taxa de juros, o investimento gerou um retorno $Z(n)$ em reais.

Assim sendo em cada período, o valor de retorno será menor do que Z , considerando a taxa de desconto. Desta maneira, tem-se o seguinte retorno, considerando que o intervalo entre períodos consecutivos é igual e que n representa um período qualquer:

$$VP(n) = \frac{Z(n)}{(1 + Y)^n} \quad (05)$$

Assim é possível ver o verdadeiro valor que retornou naquele período ou o “Valor Próprio” do intervalo. Fazendo a soma dos VP de cada intervalo com o negativo do valor inicial é encontrado o “Valor Próprio Acumulado” em cada período o que permite encontrar o período em que o investimento será pago.

Tabela 10: Calculo de VP e VPA

Intervalo de tempo (Baseado na taxa de desconto)	Retorno do investimento no período	Valor próprio	Valor próprio acumulado
0(Início)	$-X$	$VP(0) = -X$	$-X$
1	$Z(1)$	$VP(1) = \frac{Z(1)}{(1 + Y)^1}$	$VPa(1) = VP(1) - X$
2	$Z(2)$	$VP(1) = \frac{Z(2)}{(1 + Y)^2}$	$VPa(2) = VP(2) - X$
...
n	$Z(n)$	$VP(n) = \frac{Z(n)}{(1 + Y)^n}$	$VPa(n) = VP(n) - X$

O intervalo de tempo deve ser igual ao da taxa de juros. Então, pode-se subdividir o intervalo que pago o investimento em subintervalos e assim encontra o tempo exato em que o retorno foi atingido. A equação abaixo pode ajudar a entender isso, considere que o valor próprio acumulado passou a ser positivo no intervalo n então:

$$\Delta = \frac{|VPa(n - 1)|}{|VPa(n - 1)| + VPa(n)} \quad (06)$$

Então o momento exato em que o investimento será pago será:

$$\text{Período para o Investimento ser pago} = (n - 1) + \Delta \quad (07)$$

6.3- Análise financeira do caso prático para diversas situações

Com o *Payback*, pode ser feito a análise de quanto tempo será necessário para pagar os investimentos iniciais da implantação da planta de geração distribuída. Considerando o caso prático em estudo é possível que ele adote diferentes cenários. Isso porque o proprietário poderia adotar diferentes forma de compensar a energia gerada e também considerando as mudanças que podem ocorrer na resolução N° 482/2012, como mostrado na secção 2.10.

O valor do kWh será considerado em R\$ 0,47753, considerando a tarifa mais barata presente na referencia [26]. Foi a mais barata para poder atrasar mais o retorno do investimento. Será utilizada a ferramenta “VP” do EXCEL para fazer esses cálculos, que utiliza a formula do *payback*. A taxa de juros usada, será a da Poupança, considerando o valor de 4.55%a.a, como apresentado na referência 27.

7.3.1- Situação 01

Neste caso, será considerado que toda a energia excedente ofertada a distribuidora, fosse compensada no circuito I, onde há geração distribuída. O valor de excedente seria igual o valor do consumo da rede. Neste caso, para cada ano, o retorno seria de R\$ 109.192,10, seria líquido descontando todas as despesas anuais, como o custo de disponibilidade (que neste caso é apenas para uma instalação) e as despesas com manutenção.

A tabela abaixo pode mostrar o resultado da análise de *Payback* para essa situação:

Tabela 11: Resultado do *Payback* para a situação 01

Período (anual)	Retorno Bruto de cada período	Valor Próprio do retorno de cada período	Valor Próprio acumulado
0	-R\$ 500.000,00	-R\$ 500.000,00	-R\$ 500.000,00
1	R\$ 109.192,10	R\$ 104.440,08	-R\$ 395.559,92
2	R\$ 109.192,10	R\$ 99.894,86	-R\$ 295.665,06
3	R\$ 109.192,10	R\$ 95.547,45	-R\$ 200.117,61
4	R\$ 109.192,10	R\$ 91.389,24	-R\$ 108.728,37
5	R\$ 109.192,10	R\$ 87.412,00	-R\$ 21.316,38

6	R\$ 109.192,10	R\$ 83.607,84	R\$ 62.291,46
Tempo total de retorno		5 anos e 03 meses	

Um tempo de retorno satisfatório, além é claro das melhorias na instalação local.

7.3.2- Situação 02

Para esse caso será considerado que o excedente de produção será capaz de abater o consumo das 03 instalações na propriedade em estudo. Para o circuito 01 os dados vêm da figura 25, considerando a média, e para o circuito II e III, considerando os dados da tabela 07. Agora os custos de disponibilidade somam com o de cada instalação que será compensado e os custos de manutenção continuam os mesmos. O retorno líquido anual seria de R\$ 77.029,81.

A tabela abaixo pode mostrar o resultado da análise de *Payback* para essa situação:

Tabela 12: Resultado do *Payback* para a situação 02

Período (anual)	Retorno Bruto de cada período	Valor Próprio do retorno de cada período	Valor Próprio acumulado
0	-R\$ 500.000,00	-R\$ 500.000,00	-R\$ 500.000,00
1	R\$ 77.029,81	R\$ 73.677,48	-R\$ 426.322,52
2	R\$ 77.029,81	R\$ 70.471,05	-R\$ 355.851,46
3	R\$ 77.029,81	R\$ 67.404,16	-R\$ 288.447,30
4	R\$ 77.029,81	R\$ 64.470,74	-R\$ 223.976,56
5	R\$ 77.029,81	R\$ 61.664,99	-R\$ 162.311,57
6	R\$ 77.029,81	R\$ 58.981,34	-R\$ 103.330,24
7	R\$ 77.029,81	R\$ 56.414,48	-R\$ 46.915,76
8	R\$ 77.029,81	R\$ 53.959,33	R\$ 7.043,57
Tempo total de retorno		7 anos e 10 meses	

Está é a situação vivida pela propriedade em estudo. Ela gera muito mais do que consome e do que poderia compensar, atrasando o tempo de retorno do investimento. Mesmo assim é um investimento viável.

7.3.3- Situação 03

Neste caso voltamos a considerar as condições de compensação da situação 01, mas agora com um diferencial, de que a resolução N°482/2012, passe pela mudança proposta na alternativa 01 da secção 2.10, onde apenas 72% da energia ofertada a distribuidora seria compensada. Para esse caso o retorno líquido anual seria de R\$ 73.297,70.

A tabela abaixo pode mostrar o resultado da análise de *Payback* para essa situação:

Tabela 13: Resultado do *Payback* para a situação 03

Período (anual)	Retorno Bruto de cada período	Valor Próprio do retorno de cada período	Valor Próprio acumulado
0	-R\$ 500.000,00	-R\$ 500.000,00	-R\$ 500.000,00
1	R\$ 73.297,70	R\$ 70.107,80	-R\$ 429.892,20
2	R\$ 73.297,70	R\$ 67.056,71	-R\$ 362.835,49
3	R\$ 73.297,70	R\$ 64.138,42	-R\$ 298.697,07
4	R\$ 73.297,70	R\$ 61.347,12	-R\$ 237.349,95
5	R\$ 73.297,70	R\$ 58.677,31	-R\$ 178.672,64
6	R\$ 73.297,70	R\$ 56.123,68	-R\$ 122.548,97
7	R\$ 73.297,70	R\$ 53.681,18	-R\$ 68.867,78
8	R\$ 73.297,70	R\$ 51.344,99	-R\$ 17.522,80
9	R\$ 73.297,70	R\$ 49.110,46	R\$ 31.587,67
Tempo total de retorno		8 anos e 3 meses	

6.4- Conclusões a respeito na análise financeira

Após analisar os resultados de retorno de investimento das situações acima é possível afirmar o seguinte:

- A redução no tempo de retorno do investimento da planta será ainda menor quanto maior for a compensação e menor for o número de unidades compensadas. Isso porque cada unidade compensada requer um custo de disponibilidade. Para esse caso, tendo o proprietário condição de descontar em uma ou em várias instalações, o mesmo deve antes fazer um estudo de otimização, escolhendo a melhor opção para reduzir o tempo de retorno.
- Analisando a situação 01 e 03, pode-se afirmar que o tempo de retorno vai aumentar em cerca de 57% (5 anos e 3 meses para 8 anos e 3 meses). O que pode prejudicar o mercado de geração distribuída a biogás, mesmo ainda sendo um investimento atrativo. Um efeito já esperado com a mudança da resolução N° 482.
- Esse tempo de retorno pode diminuir se for considerado que com o tempo a tendência do preço do kWh aumente. Como também o uso de uma taxa de juros menor, como alguns consumidores conseguem junto a bancos ligados a programas do governo.

7.0- Simulações e resultados

Como foi possível um estudo detalhado do caso prático apresentado, destacando as cargas locais presentes na instalação como é mostrado na tabela 05, pode ser feita a simulação do ambiente e a comparação de perdas com e sem a presença de geração distribuída e também para o sistema isolado. Todas as simulações foram feitas no ANAREDE com base no cenário da Propriedade em análise.

7.1- Primeira Simulação: Circuito I sem geração própria.

Sabemos que o Circuito I apresenta em média um consumo de carga Máximo de 29.4 kWh de potência ativa. Realizando o experimento sem geração própria no circuito I, como mostra a figura 27 com todo o sistema ligado. A figura 28 mostra o circuito entre a barra de referência até a barra de entrada da instalação. A barra 05 é a de geração, mas nesse caso está sem carga líquida nenhuma pois se comporta como uma barra PQ. Os resultados encontrados estão na Tabela 14:

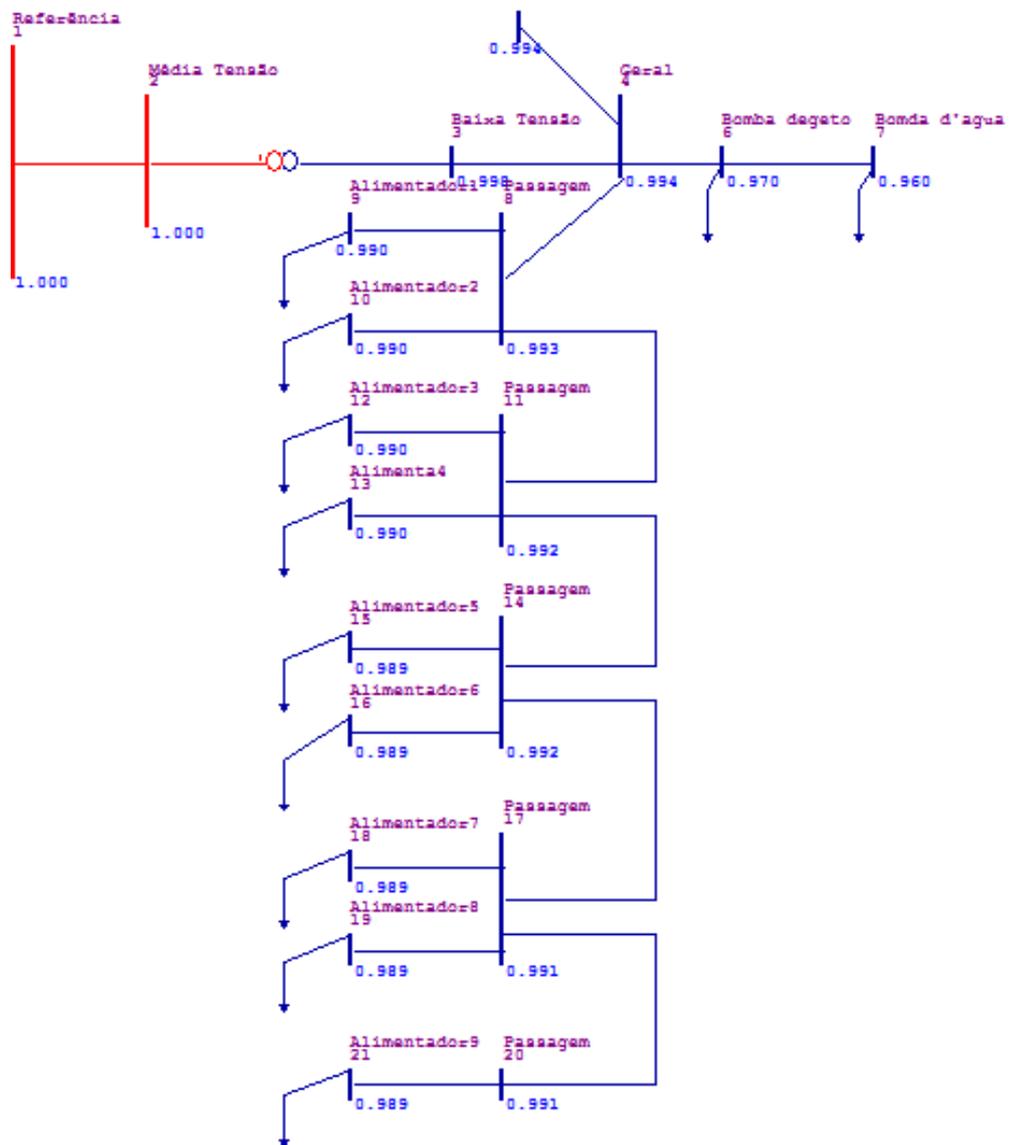


Figura 27: Sistema Total simulado sem geração própria

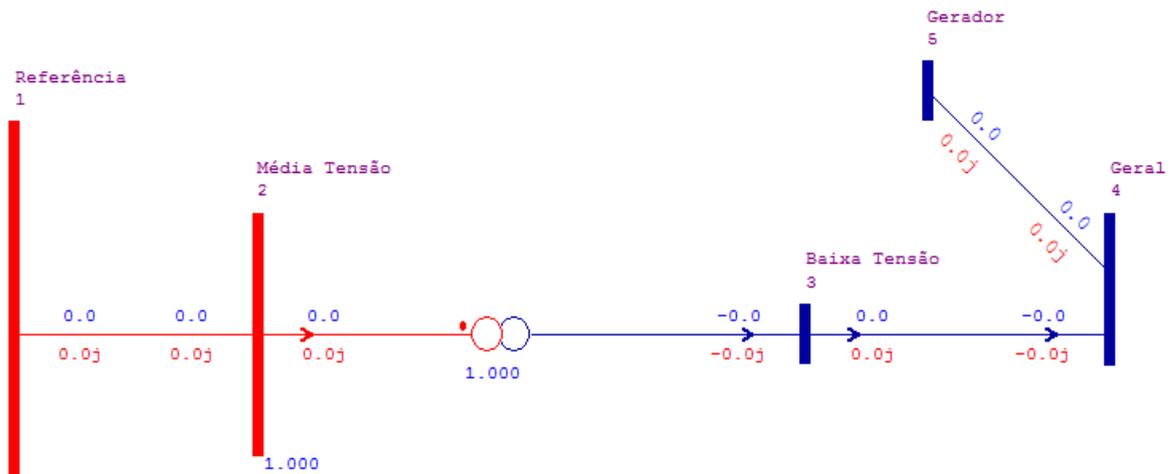


Figura 28: Circuito inicial sem geração própria.

Tabela 14: Dados do ANAREDE após a primeira simulação

Barra	Tipo de Barra	Nome da barra	Tensão barra	Potencia ativa gerada	Potencia Reativa Gerada	Potencia Ativa Consumida	Potencia Reativa consumida
1	Referência	Referência	1.000	0.0303	0.0092	0	0
2	0 - PQ	Média Tensão	1.000	0	0	0	0
3	0 - PQ	Baixa Tensão	0.998	0	0	0	0
4	0 - PQ	Geral	0.994	0	0	0	0
5	0 - PQ	Gerador	0.994	0	0	0	0
6	0 - PQ	Bombadejeto	0.970	0	0	0.022	0.003
7	0 - PQ	Bombad'agua	0.960	0	0	0.0038	0.0024
8	0 - PQ	Passagem	0.993	0	0	0	0
9	0 - PQ	Alimentador1	0.990	0	0	0.0004	0.0004
10	0 - PQ	Alimentador2	0.990	0	0	0.0004	0.0004
11	0 - PQ	Passagem	0.992	0	0	0	0
12	0 - PQ	Alimentador3	0.990	0	0	0.0004	0.0004
13	0 - PQ	Alimenta4	0.990	0	0	0.0004	0.0004
14	0 - PQ	Passagem	0.992	0	0	0	0

15	0 - PQ	Alimentador5	0.989	0	0	0.0004	0.0004
16	0 - PQ	Alimentador6	0.989	0	0	0.0004	0.0004
17	0 - PQ	Passagem	0.991	0	0	0	0
18	0 - PQ	Alimentador7	0.989	0	0	0.0004	0.0004
19	0 - PQ	Alimentador8	0.989	0	0	0.0004	0.0004
20	0 - PQ	Passagem	0.991	0	0	0	0
21	0 - PQ	Alimentador9	0.989	0	0	0.0004	0.0004

Os dados nessa tabela estão em p.u para tensão, MW para potência ativa e MVAR para potência reativa.

A única barra geradora é a barra 01 de referência, que está gerando 30,3 kW de potência ativa. Se todas as cargas do sistema somam 29.4 kW então as perdas serão:

$$\text{Perda de potência ativa na linha} = 30,3 - 29,4 = 0,9kW$$

Cerca de 3% de energia ativa é perdida na distribuição interna da instalação.

7.2- Simulação 02: Circuito I isolado com geração própria.

Nesta simulação, será considerado o Circuito I todo isolado com sua geração própria que pode chegar a 70 kW. Agora a barra 5 é a barra de referência e só ela transfere potência para o circuito e não compartilha com a rede como pode ser visto na Figura 29. Os resultados são mostrados na Tabela 15:

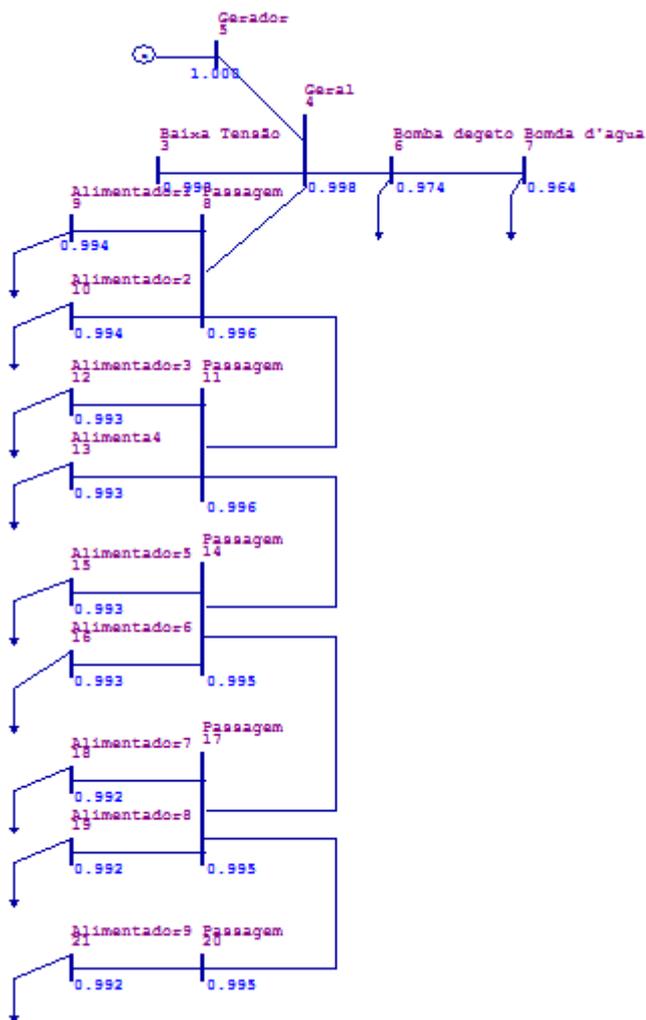


Figura 29: Sistema isolado com geração própria.

Tabela 15: Dados do ANAREDE após a segunda simulação.

Barra	Tipo de Barra	Nome da barra	Tensão barra	Potencia ativa gerada	Potencia Reativa Gerada	Potencia Ativa Consumida	Potencia Reativa consumida
3	0 - PQ	Baixa Tensão	0.998	0	0	0	0
4	0 - PQ	Geral	0.998	0	0	0	0
5	2 - Referência	Gerador	1.000	0.0302	0.0092	0	0
6	0 - PQ	Bomba dejetos	0.974	0	0	0.022	0.003

7	0 - PQ	Bomba d'agua	0.964	0	0	0.0038	0.0024
8	0 - PQ	Passagem	0.996	0	0	0	0
9	0 - PQ	Alimentador1	0.994	0	0	0.0004	0.0004
10	0 - PQ	Alimentador2	0.994	0	0	0.0004	0.0004
11	0 - PQ	Passagem	0.996	0	0	0	0
12	0 - PQ	Alimentador3	0.993	0	0	0.0004	0.0004
13	0 - PQ	Alimenta4	0.993	0	0	0.0004	0.0004
14	0 - PQ	Passagem	0.995	0	0	0	0
15	0 - PQ	Alimentador5	0.993	0	0	0.0004	0.0004
16	0 - PQ	Alimentador6	0.993	0	0	0.0004	0.0004
17	0 - PQ	Passagem	0.995	0	0	0	0
18	0 - PQ	Alimentador7	0.992	0	0	0.0004	0.0004
19	0 - PQ	Alimentador8	0.992	0	0	0.0004	0.0004
20	0 - PQ	Passagem	0.995	0	0	0	0
21	0 - PQ	Alimentador9	0.992	0	0	.0004	.0004

Os dados nessa tabela estão em p.u para tensão, MW para potência ativa e MVAR para potência reativa.

Agora, nesse caso a única barra geradora é a barra 03 de referência e do gerador, que está gerando 30,2 KW de potência ativa. Se todas as cargas do sistema somam 29.4 KW então as perdas serão:

$$\text{Perda de potência ativa na linha} = 30,2 - 29,4 = 0,8KW$$

Cerca de 2.65% de energia ativa perdida na distribuição. Uma redução de 0.1 KW comparado as perdas da simulação 01. Isso mostra que as perdas internas tiveram uma redução de 11,11% da simulação 01 para simulação 02, ou seja, as perdas internas tiveram uma redução de 11,11%. E também uma economia de 0,35% no kWh consumido. Ou seja, como a referência [26] adota o valor de R\$ 0,47753 para o kWh, no melhor caso, isso geraria uma economia de R\$ 0,00167 no kWh. Segundo o proprietário, antes do sistema de geração ele gastava em média

16.000 KWh por mês, então a economia em perdas pode ser de R\$ 26,72 ao mês e de R\$ 320,64 ao ano.

Comparando a tensão nas barras entre a simulação 01 e a simulação 02, tendo como referência 1 pu, a simulação dois obteve em média um aumento de 0.3570 % de aumento de tensão nas barras, lembrando que a simulação dois não ultrapassou 1.0 pu.

7.3- Simulação 03: Circuito I com geração distribuída

Nesta simulação, foi considerado o sistema distribuído, e a geração própria máxima foi de 70 kW. Agora a barra 05 de geração está na mesma área que a barra de referência 01 e ela agora é uma barra PV, isso pode ser visto na figura 30. Os resultados estão na tabela 16:

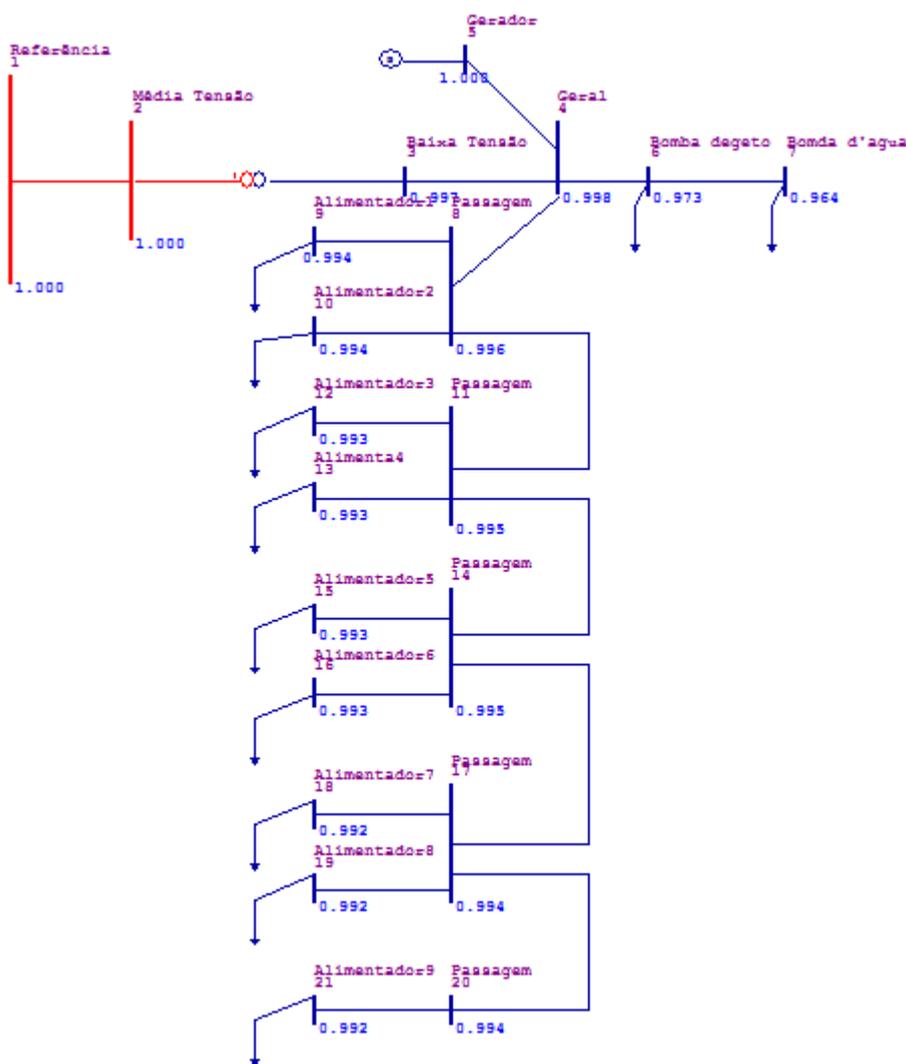


Figura 30: Sistema com geração distribuída.

Tabela 16: Dados do ANAREDE após a terceira simulação

Barra	Tipo de Barra	Nome da barra	Tensão barra	Potencia ativa gerada	Potencia Reativa Gerada	Potencia Ativa Consumida	Potencia Reativa consumida
1	2 - Referência	Referência	1.000	-0.039	0.0094	0	0
2	0 - PQ	Média Tensão	1.000	0	0	0	0
3	0 - PQ	Baixa Tensão	1.001	0	0	0	0
4	0 - PQ	Geral	1.006	0	0	0	0
5	1- PV	Gerador	1.010	0.07	0.00000008	0	0
6	0 - PQ	Bomba dejetto	0.982	0	0	0.022	0.003
7	0 - PQ	Bomba d'agua	0.972	0	0	0.0038	0.0024
8	0 - PQ	Passagem	1.004	0	0	0	0
9	0 - PQ	Alimentador1	1.002	0	0	0.0004	0.0004
10	0 - PQ	Alimentador2	1.002	0	0	0.0004	0.0004
11	0 - PQ	Passagem	1.004	0	0	0	0
12	0 - PQ	Alimentador3	1.001	0	0	0.0004	0.0004
13	0 - PQ	Alimenta4	1.001	0	0	0.0004	0.0004
14	0 - PQ	Passagem	1.003	0	0	0	0
15	0 - PQ	Alimentador5	1.001	0	0	0.0004	0.0004
16	0 - PQ	Alimentador6	1.001	0	0	0.0004	0.0004
17	0 - PQ	Passagem	1.003	0	0	0	0
18	0 - PQ	Alimentador7	1.000	0	0	0.0004	0.0004
19	0 - PQ	Alimentador8	1.000	0	0	0.0004	0.0004
20	0 - PQ	Passagem	1.002	0	0	0	0
21	0 - PQ	Alimentador9	1.000	0	0	0.0004	0.0004

Os dados nessa tabela estão em p.u para tensão, MW para potência ativa e MVAR para potência reativa.

Agora, nesse caso a única barra geradora é a barra 03 do gerador, que está gerando 70 kW de potência ativa. Se todas as cargas do sistema somam 29.4 kW e a potência ativa entre a rede é de 39kW, então as perdas serão:

$$\text{Perda de potência ativa na linha} = 70 - 29,4 - 39 = 1.6 \text{ KW}$$

Para esse caso cerca de 2.28% de energia ativa gerada está perdida na distribuição. Uma quantidade de 0.8 KW perdida na rede interna da instalação e outros 0.8 KW perdidos no compartilhamento com a distribuidora.

Comparando a tensão nas barras entre a simulação 01 e a simulação 03, tendo como referência 1 pu, a simulação 03 apresenta em média um aumento de 1.01 %, o que pode ser explicado pela diminuição das perdas.

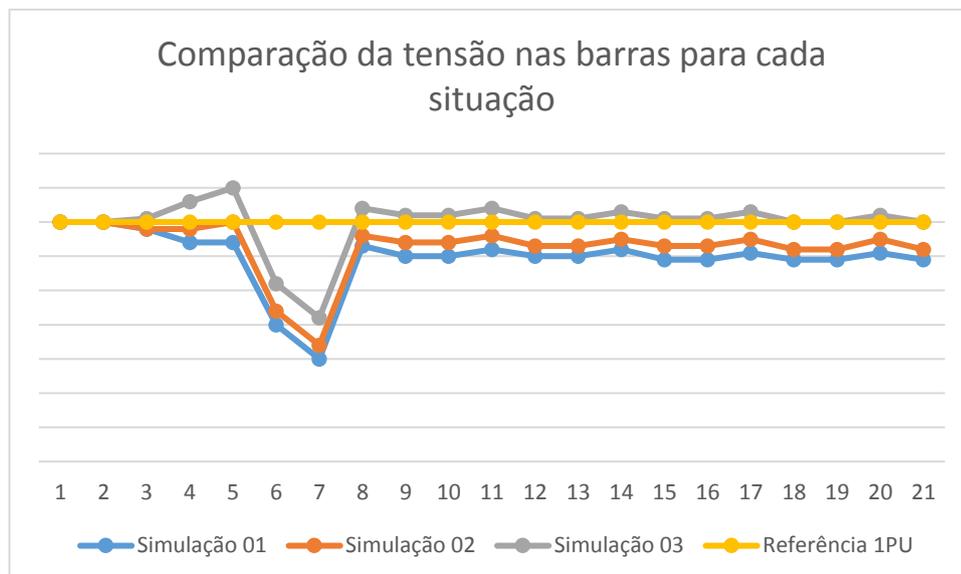


Figura 31: Comparação dos níveis de tensão nas barras

8.0- Análise das vantagens de desvantagens da geração distribuída a biogás

O trabalho acima pôde explanar alguns pontos importantes da geração distribuída a biogás. Desde a geração do gás até estruturação da planta geradora o trabalho em questão mostrou pontos atrativos e também não atrativos deste tipo de geração. Assim, esta secção vem apresentar um apanhado de características da geração distribuída a biogás.

8.1- Característica Positivas

Talvez sejam estes os pontos mais apresentados do decorrer do trabalho. O conceito de sustentabilidade embutido neste tipo de geração, já o torna bem atrativo. Entretanto não só as questões ambientais podem ser consideradas. A geração distribuída a biogás traz consigo um leque de oportunidades sejam eles financeiras, tecnológicas, sociais ou ambientais. Como um todo, pode ser destacado o seguinte:

- **Sustentabilidade:** utiliza de um recurso natural renovável, além de retirar toneladas de metano da atmosfera e diminuir a poluição dos resíduos sólidos usados na produção do biogás.
- **Investimento com retorno confiável:** na secção 07 o estudo financeiro do caso prático pode demonstrar um retorno em um curso espaço de tempo.
- **Segurança energética:** a propriedade que apresenta está geração está preparada para eventuais desligamentos de energia da distribuidora local.
- **Redução de perdas na distribuição:** a distribuição de energia deixa de ser centraliza e reduz a perdas energéticas em longos trechos de distribuição
- **Maior estabilidade nos níveis de tensão nas barras próximas a geração.**

8.2- Características Negativas

Apesar de parecer um negócio atrativo é importante ressaltar as características negativas que já existem e outras que podem ainda existir. Dentre elas destaca-se:

- **Altíssimo investimento inicial:** para se produzir o biogás, a aquisição do gerador e dos reguladores, requer um investimento muito alto, colocando o investidor em risco se ele não estiver devidamente preparado.

- Mudança na compensação de energia: destaca-se o risco eminente das normas de compensação mudarem e o tempo de retorno aumentar. Se o investidor não estiver preparado isso pode acarretar problemas.
- Poluição: a manutenção desse sistema pode gerar lixo (óleo, baterias, peças eletrônicas) que não devidamente descartadas podem causar danos ambientais.
- Poluição sonora: o trabalho contínuo do gerador causa um som alto e poluente.

9.0- Conclusão do projeto

Tendo esse trabalho por base a geração distribuída com fonte sustentável a biogás, seus parâmetros de instalação e eficiência, conclui-se que essa tecnologia é viável para o cenário atual de produção agropecuária no Brasil. Nota-se que após a aprovação de medidas normativas para a produção de energia distribuída, os índices de plantas a biogás aumentaram consideravelmente. Isso se deve ao fato do retorno em investimentos nesta geração virem um pouco mais rápido.

Destaca-se benefícios consideráveis, quanto a eficiência energética da instalação desta planta, quanto também a segurança das instalações que passam a ser autossuficientes e estão preparadas para enfrentar “*blackouts*” da rede local, que iriam prejudicar sua produção.

Como visto nas simulações, a geração distribuída reduz o número de perdas nas linhas por disponibilizar a geração mais perto do consumidor. Além disso ela pode melhorar os níveis de tensão como pode ser provado com os resultados das simulações 02 e 03.

Desde que a qualidade de produção e armazenamento do biogás seja satisfatória, os índices de produção podem ser altos e a instalação consegue chegar um alto valor em crédito junto a concessionária, que poderá ser o descontado na instalação ou em outras instalações de mesmo titular. Além é claro de evitar que milhões de metros cúbicos de metano seja jogado na atmosfera.

O principal problema encontrado nessa geração está no paralelismo com a rede e alto investimento inicial. Sem um bom sincronismo o fator de potência deixa de ser unitário e o gerador passa a trabalhar dependendo da situação como motor [5] e [6]. Esse defeito pode estar nas baixas tensões da rede, que geralmente são causadas pelas perdas que a concessionária apresenta até chegar a ligação da planta geradora, entregando um sinal de tensão não satisfatório. Outro problema encontrado é a comunicação com o SMCP, que limitou a coleta de dados. O alto investimento atrasa o avanço desta tecnologia.

Assim fica a proposta de pesquisas futuras para melhoria do sincronismo entre gerador e rede. É proposto a análise de implantação de banco de capacitivos perto as unidades geradoras para ajudar a estabilizar a tensão da rede e aumentar os créditos de energia. Também será

necessário analisar melhor as formas de comunicação com o SMCP. É proposto também um estudo de viabilidade econômica, buscando maior participação dos órgãos governamentais no incentivo à esta geração de energia.

Referencias

- [1] ANEEL – Agencia nacional de energia elétrica. *Micro e Mini geração Distribuída*. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161> > Acesso em 25 de agosto. 2018
- [2] PRATI, Lisandro. *Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores*. 2010. 83f. Trabalho de Conclusão de curso – Curitiba. 2010
- [3] SOUZA, Samuel Nelson Melegari. *Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio Rural*. 2016. 47f. Cascavel.
- [4] FITZGERALD, A. E.; UMANS, S. D.; KINGSLEY JR., C. *Máquinas Elétricas*. Editora Bookman Companhia, 6ª edição, 2006. p. 174 – 232.
- [5] BIM, Edson. *Maquinas elétricas e acionamentos*. Elsevier, 3ª edição. Rio de Janeiro, 2014. p. 363 – 411.
- [6] CHAPMAN, Stephen J. *Fundamentos de Maquinas elétricas*. McGraw-Hill, 6ª edição. Porto alegre, 2013. p. 152 – 190.
- [7] CARVALHO, Geraldo. *Maquinas elétricas: Teoria e ensaio*. Editora Érica Ltda., 4ª edição. São Paulo, 2011. p. 167 – 185.
- [8] ENCICLOPÉDIA Record de eletricidade e eletrônica. *Edição Motores e Geradores*, volume 05. Rio de Janeiro.
- [9] KOSOW, Irwing L. *Máquinas elétricas e transformadores*. Editora Globo, 15ª edição. São Paulo, 2005. p. 229 – 284.
- [10] NICOLAU, Nuno Miguel Vilela. *Excitação sem escovas de geradores síncronos: Estudo de modelos e otimização do controle*. 2016. 73f. Dissertação de mestrado – Técnico Lisboa. 2016
- [11] ELETROTÉCNICA ATUAL. Geradores Síncronos – Princípio de Funcionamento. Disponível em: < <http://eletrotecnicaatual.blogspot.com/2015/02/geradores-sincronos-principio-de.html> >. Acesso em: 10 de outubro de 2018.

- [12] SISTEMAS DE EXCITAÇÃO DE GERADORES SÍNCRONOS. Disponível em: <<http://www.labspot.ufsc.br/~simoed/dincont/dc-cap5.pdf>>. Acesso em: 20 de novembro de 2018.
- [13] ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. *O sistema interligado nacional*. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>> Acesso em 10 de outubro de 2018.
- [14] Lemos, Paulo (org.). *A História da energia no Brasil*. 1ª edição – Ouro Preto: Livraria e Editora, Ouro Preto, 2016.
- [15] FARRET, Felix A.; SIMÕES, M. Godoy. *Integration of Alternative Sources of Energy*. Wiley - Interscience, 1ª edição. Estados Unidos, 2005. p. 204 – 214.
- [16] EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Impactos da participação do Biogás e do Biometano na Matriz Brasileira*. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao244/topico257/EPE_IV%20FORUM%20BIOGAS_JOSE%20MAURO_2017_1710.pdf>. Acesso em 30 de novembro de 2018.
- [17] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA/ EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano Decenal de expansão de energia 2027*. Brasília, 2018.
- [18] BRAZ, Otávio Sebastião; ARAUJO, Reyley Arimatéia. *Grupo de energia Elétrica Movido a Biogás*. 2013. 125f. Trabalho de Conclusão de Curso – Franca. 2013
- [19] ANEEL – Agência nacional de energia elétrica. *RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012*. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 25 de agosto de 2018.
- [20] ANEEL – Agência nacional de energia elétrica. *RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015*. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedo/ren2015687.pdf>>. Acesso em 25 de agosto de 2018.
- [21] *Calculo da Produção de Biogás*. Disponível em: <<http://bgsequipamentos.com.br/blog/calculo-de-producao-de-biogas-2/>> Acesso em 20 de outubro de 2018.
- [22] ANEEL – Agência nacional de energia elétrica. *Geração Distribuída –regulamentação atual e processo de revisão*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/655804/14752877/Gera%C3%A7%C3%A3o+Distribu%C3%ADa+%E2%80%93+regulamenta%C3%A7%C3%A3o+atual+e+processo+de+revis%C3%A3o.pdf/3def5a2e-baef-bb59-2ce1-4f69a9cb2d88>>. Acesso em 01 de junho de 2019.

[23] PROCEL INDÚSTRIA. *ANÁLISE ECONÔMICA DE INVESTIMENTOS*. Disponível em: < https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/Analise_economica.pdf>. Acesso em 20 de maio de 2019.

[24] ANEEL – Agencia nacional de energia elétrica. *Geração Distribuída –regulamentação atual e processo de revisão*. Disponível em : < <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/18485189/6+Modelo+de+AIR+++SRD++Gera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida.pdf/769daa1c-51af-65e8-e4cf-24eba4f965c1> > . Acesso em 01 de junho de 2019

[25] ANEEL – Agencia nacional de energia elétrica. *Micro e Minigeração Distribuída: Proposta em Audiência Pública* . Disponível em : < https://www.youtube.com/watch?time_continue=16&v=BuMRgS0Bmp8> . Acesso em 01 de junho de 2019

[26]CEMIG-. *VALORES DE TARIFA E SERVIÇOS*. Disponível em: < https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx >. Acesso em 20 de maio de 2019.

[27]TAVAREZ, Luciano. *O RENDIMENTO DA POUPANÇA HOJE É RUIM*. Disponível em :< <https://blog.magnetis.com.br/rendimento-da-poupanca-hoje-e-ruim/>>. Acesso em 20 de junho de 2019.