

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS**

**NAUBERT ZANONI**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO  
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Caxias do Sul  
2018

**NAUBERT ZANONI**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO  
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a Defesa de Mestrado em Engenharia e Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Vania Elisabete Schneider

Caxias do Sul  
29 de março de 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade de Caxias do Sul  
UCS - BICE - Processamento Técnico

Z33a Zaroni, Naubert, 1981-  
Análise da viabilidade da implantação de um sistema híbrido para  
geração de energia elétrica / Naubert Zaroni. – 2018.  
116 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, 2018.  
Orientação: Profª. Dra. Vania Elisabete Schneider.

1. Energia elétrica - Produção. 2. Suíno - Criação. 3. Biogás. 4.  
Biodiesel. 5. Energia solar. I. Título. II. Schneider, Vania Elisabete, orient.

CDU 2. ed.: 621.31

Índice para o catálogo sistemático:

1. Energia elétrica - Produção	621.31
2. Suíno - Criação	636.4
3. Biogás	662.767.2
4. Biodiesel	662.75
5. Energia solar	551.521.37

Catalogação na fonte elaborada pela bibliotecária  
Paula Fernanda Fedatto Leal – CRB 10/2291

**“ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.”**

***Naubert Zanoni***

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Ambientais, Área de Concentração: Gestão e Tecnologia Ambiental.

Caxias do Sul, 29 de março de 2018.

**Banca Examinadora:**

Dra. Vania Elisabete Schneider  
Orientadora  
Universidade de Caxias do Sul

Dr. Gabriel Fernandes Pauletti  
Universidade de Caxias do Sul

Julio Cesar Pascale Palhares  
Empresa Brasileira Pesquisa de Agropecuária

Dr. Marcelo Godinho  
Universidade de Caxias do Sul

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Natalino e Lourdes, a minha esposa Jéssica, a minha irmã Liane, a meu cunhado Volmar, aos meus colegas e amigos, pelo incentivo, compreensão e carinho, não somente na realização deste trabalho, mas por todo o tempo, até a conclusão do curso.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo.

À professora Vania Elisabete Schneider pela orientação e acompanhamento indispensável na realização deste trabalho.

Agradeço a Universidade, a todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais que contribuíram, na minha formação no decorrer do curso de Mestrado.

“A utopia está lá no horizonte. Aproximo-me dois passos, ela se afasta dois passos. Caminho dez passos, e o horizonte corre dez passos. Por mais que eu caminhe, jamais alcançarei. Para que serve a utopia? Serve para que eu não deixe de caminhar.”

(Eduardo Galeano)

**Resumo:** Sistemas híbridos consistem de duas ou mais fontes geradoras de eletricidade, normalmente uma ou mais fontes convencionais e uma ou mais fontes renováveis e, objetivam promover a economia de combustível e obter uma fonte confiável de suprimento de energia, podendo estar ou não conectados a rede de distribuição. Este trabalho objetiva avaliar através do *software* HOMER, a viabilidade técnica, econômica e ambiental de implantação de um sistema híbrido de geração de eletricidade. Este sistema é composto por gerador movido a biogás, gerador movido a biodiesel e captação de energia solar. Todo o sistema está localizado no município de Serafina Corrêa onde há elevada concentração de suinocultores que, através do tratamento dos resíduos suínicos poderá levar a produção de biogás para ser aproveitado como combustível para geração de energia elétrica. Diversas configurações foram avaliadas sob aspecto econômico e ambiental. A configuração ótima da estrutura do sistema híbrido foi a composta por geração elétrica a partir de painéis fotovoltaicos com 172,4 kW, gerador a biogás 55 kW e inversor de frequência de 110 kW. Neste cenário, o capital inicial soma R\$ 1.150.055,00, valor presente líquido de R\$ 1.150.004,00 e o custo da energia (COE) é de R\$ 0,22/kW. O payback definido pelo *software* é de 7,1 anos, mostrando-se economicamente viável. Neste contexto, o *software* HOMER apresenta-se como importante ferramenta a tomada de decisões configurando-se como método de avaliação quanto ao melhor cenário para instalação de sistemas híbridos.

**Palavras-chave:** HOMER. Suinocultura. Energia renovável. Biogás. Energia solar. Biodiesel.

**Abstract:** Hybrid systems consist of two or more electricity generating sources, usually one or more conventional sources and one or more renewable sources, and aim to promote fuel economy and obtain a reliable source of energy supply, off-grid or grid-connected to the distribution network. This work aims to evaluate through the HOMER software the technical, economic and environmental feasibility of implementing a hybrid electricity generation system. This system consists of a biogas generator, biodiesel generator and solar energy capture. The entire system is located in the municipality of Serafina Corrêa where there is a high concentration of swine farmers that, through the treatment of pig waste, can lead to the production of biogas to be used as fuel for electric power generation. Several configurations were evaluated under economic and environmental aspect. The optimum configuration of the hybrid system structure is composed of electric generation from photovoltaic panels with 172,4 kW, 55 kW biogas generator and 110 kW inverter. In this scenario, the initial capital amounts to R\$ 1.150.055,00, net present value of R\$ 1.150.004,00 and the cost of energy (COE) is R\$ 0.22. The payback defined by the software is 7.1 years, proving to be economically viable. In this context, the HOMER software presents itself as an important decision-making tool, being configured as an evaluation method for the best scenario for the installation of hybrid systems.

**Keywords:** HOMER. Swine farming. Renewable energy. Biogas. Solar energy. Biodiesel.

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Equivalência energética de 1m <sup>3</sup> de biogás.....	28
Tabela 2 – Quantidade de animais por fase de criação no <i>cluster</i> avaliado .....	54
Tabela 3 – Custo do biodigestor incluindo operação e manutenção no período de 10 anos .....	57
Tabela 4 – Custo da tubulação para condução dos dejetos.....	58
Tabela 5 – Custos de startup e equipamentos do gerador a biogás .....	59
Tabela 6 – Custos e consumo do gerador diesel .....	60
Tabela 7 – Dados do sistema de captação de energia solar.....	61
Tabela 8 – Dados iniciais informados ao HOMER e coordenadas de localização do projeto .....	63
Tabela 9 – Dados informados ao programa no perfil de carga.....	65
Tabela 10 – Dados inseridos referentes ao gerador a biogás .....	65
Tabela 11 – Curva de combustível.....	66
Tabela 12 – Valores de emissões resultantes da combustão do biogás .....	66
Tabela 13 – Dados inseridos para o gerador diesel/biodiesel.....	66
Tabela 14 – Curva de combustível para gerador diesel/biodiesel .....	66
Tabela 15 – Valores de emissões resultantes da combustão do diesel .....	67
Tabela 16 – Dados informados ao programa referentes aos painéis solares .....	67
Tabela 17 – Dados referentes ao conjunto de baterias.....	67
Tabela 18 – Dados referentes ao inversor de frequência.....	68

## Lista de Figuras

Figura 1 – Matriz energética brasileira ano base 2017, oferta interna por fonte geradora.....	23
Figura 2 – Representação de biodigestor tipo canadense .....	25
Figura 3 – Comparativo de métodos de geração de energia elétrica .....	29
Figura 4 – Fases de avaliação de dados.....	43
Figura 5 – Mapa de localização dos suinocultores quanto ao relevo da bacia experimental.....	54
Figura 6 – Diagrama de blocos que representa o sistema híbrido de geração de energia .....	55
Figura 7 – Mapa de declividade para definição da localização do biodigestor .....	57
Figura 8 – Esquemática do sistema híbrido de geração de eletricidade <i>off grid</i> ..	62
Figura 9 – Esquemática do sistema híbrido de geração de eletricidade <i>grid-tie</i> ..	63
Figura 10 – Perfil mensal de carga obtido através das <i>Cargas 1e 2</i> .....	64

## Lista de abreviações

GWh	Gigawatts-hora
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electrical Renewable
SH	Sistema Híbrido
GEE	Gases de Efeito Estufa
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
ES	Energia Solar
COE	<i>Cost of Energy</i> – custo da energia
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	JUSTIFICATIVA.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	22
3.2	BIODIGESTORES.....	24
3.2.1	Biogás.....	27
3.2.2	Biodiesel.....	31
3.2.3	Energia solar.....	33
3.3	FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA.....	34
3.4	SISTEMAS HÍBRIDOS DE GERAÇÃO ELÉTRICA.....	40
3.5	HOMER ENERGY.....	41
3.6	ESTUDOS DE CASO COM O SOFTWARE HOMER.....	45
4	DIRETRIZES LEGAIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA.....	51
5	METODOLOGIA.....	53
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	53
5.2	DESCRIÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	55
5.2.1	Sistema Biodigestor.....	55
5.2.2	Geradores.....	58
5.2.3	Painéis fotovoltaicos.....	60
5.2.4	Conjunto de baterias.....	61
5.2.5	Combinação de equipamentos.....	62
5.3	DADOS INFORMADOS AO PROGRAMA.....	63
5.3.1	Perfil de carga.....	63
5.3.2	Geradores.....	65
5.3.3	Painéis fotovoltaicos.....	67

5.3.4	Conjunto de baterias.....	67
5.3.5	Inversor.....	68
5.3.6	Rede .....	68
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	69
6.1	ANÁLISE DE VIABILIDADE AMBIENTAL DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	69
6.2	ANALYSIS OF DIFERENT SETTINGS OF A HyBRID GENERATION SYSTEM – ABSTRACT .....	69
6.2.1	Acceptance Therme.....	70
6.2.2	Analysis of deferent settings of a hybrid generation system - Full paper .....	70
7	CONCLUSÃO .....	71
8	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
9	APÊNDICE I: ANÁLISE DE VIABILIDADE AMBIENTAL DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	84
9.1	APÊNDICE II.....	99
10	APÊNDICE III: ANALYSIS OF DIFERENT SETTINGS OF A HyBRID GENERATION SYSTEM – ABSTRACT .....	100
10.1	APÊNDICE IV: Acceptance Therme .....	103
10.2	APÊNDICE V: ANALYSIS OF DEFERENT SETTINGS OF A HYBRID GENERATION SYSTEM - FULL PAPER.....	104

## 1 INTRODUÇÃO

Desenvolvimento econômico, crescimento demográfico e competitividade entre países, tem provocado expressivo aumento na demanda por energia. Suprir esta demanda tem-se tornado um desafio e ao mesmo tempo oportunidade. Desafio no que se refere ao desenvolvimento socioeconômico e o suprimento de energia. Oportunidade no que tange ao planejamento da matriz energética, favorecendo a utilização de fontes alternativas e renováveis, as quais devem, inevitavelmente, priorizar a compatibilidade e baixo impacto ambiental (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

Utilizar-se de biomassa como fonte de energia foi essencial para a evolução humana, sendo que o modo de obtenção e uso prosperaram em conjunto. Atualmente, as modernas práticas silvícolas, agropecuárias e industriais facilitam a utilização de biocombustíveis na geração de calor, força motriz ou eletricidade. Esta última representa o símbolo da evolução tecnológica e ambiental (TOLMASQUIM, 2016).

Entende-se por biomassa os diversos tipos de matéria orgânica de origem animal ou vegetal, passíveis de serem convertidas em energia (BUDKE; GOMES FILHO; SILVA, 2013). Vegetais como madeira, plantas e legumes colhidos especificamente para este fim, são os exemplos mais comuns e, pelo fato de poderem ser cultivados, os torna um recurso renovável (MUNIZ, 2002).

Resíduos de origem animal, por sua vez, configuram uma potencial fonte de produção de biomassa e utilizá-la como matéria-prima na obtenção de energia mostra-se favorável frente a aspectos econômicos e ambientais (CALZA *et al.*, 2015). Além disso, aproveitamento da energia contida nos resíduos agropecuários configura-se como uma fonte limpa, sustentável, potencial e economicamente atrativa e agrega valor à cadeia produtiva rural (TOLMASQUIM, 2016) e é amparada pelo PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (BRASIL, 2002) descrito no Decreto nº 5.025, de 2004 (BRASIL, 2004).

De acordo com Da Silva *et al.* (2015), tendo por base o agravamento do cenário das alterações climáticas, a geração de energia é um dos temas mais abordados frente à expectativa de sustentabilidade, haja vista a importância de um planejamento da matriz energética que promova o aproveitamento das fontes renováveis.

Das atividades agropecuárias, a suinocultura configura-se como uma atividade com elevado potencial poluidor, frente à geração de ampla quantidade de efluentes líquidos, ricos em nutrientes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), patógenos, sedimentos, metais pesados como, por exemplo, cobre e zinco (VIVAN *et al.*, 2010). Além disso, segundo Cancelier *et al.* (2015), tem-se no domínio microrregional, o desconforto causado pela presença de insetos e maus odores.

Segundo Leite *et al.* (2014) e Cancelier *et al.* (2015), o avanço produtivo das atividades agropecuárias resultam em considerável aumento na geração de dejetos em pequenas áreas rurais, causando degradação ambiental e consequentes perdas de qualidade de vida além de problemas de ordem sanitária frente a extensa quantidade de microrganismos patogênicos, poluição da água, ar e solo.

Uma alternativa que pode ser utilizada no tratamento dos dejetos é a biodigestão anaeróbia, através da utilização de biodigestores, proporcionando o aproveitamento da biomassa, a redução do potencial poluidor e dos riscos de contaminação sanitária (CANCELIER *et al.*, 2015).

Durante o processo biológico de decomposição da matéria orgânica ocorre a degradação de fibras vegetais e de proteínas e, como consequência, há a formação de compostos voláteis. Os gases gerados na decomposição são: nitrogênio (0 – 3% v/v), oxigênio e gás sulfídrico (0 – 1% v/v), dióxido de carbono (30 – 40% v/v); e o gás metano (CH<sub>4</sub>). O metano (CH<sub>4</sub>) merece destaque por ser produzido em quantidade entre 60 e 70% v/v e apresenta o maior valor comercial, pode ser utilizado como fonte de energia limpa para a produção de energia térmica ou elétrica, tornando interessante a degradação anaeróbia, possibilitando ganhos no mercado de créditos de carbono, o que não é possível em sistemas abertos como as lagoas de estabilização (DA SILVEIRA *et al.*, 2014).

Segundo Appels *et al.* (2008) e Farhad *et al.* (2010), o biogás proveniente do processo de biodigestão constitui uma fonte renovável de geração de energia e pode ser utilizado como alternativa para redução no consumo de combustíveis fósseis cuja problemática é a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), causadores de poluição atmosférica. Ainda segundo os autores, a redução na emissão de GEE pode ser realizada através do emprego de outras fontes renováveis como: solar, biocombustíveis, eólica, dentre outras. O biogás, por exemplo, combustível que custa entre 80 e 90% menos que o gás natural, reduz em cerca de 90% a emissão de GEE, quando comparado com a combustão de gasolina (LIU *et al.*, 2011).

A utilização de biodiesel, biocombustível proveniente de óleo vegetal ou gordura animal, também é pouco significativa visto que são necessárias modificações no gerador e, o emprego deste combustível encarece a operação do sistema (SEN; BHATTACHARYYA, 2014). A energia solar, outra fonte renovável, apresenta elevado custo de equipamentos (cerca de U\$ 6.000,00 para instalação e U\$ 5.000,00 para reposição por kW produzido) porém, por outro lado, apresenta baixo custo de manutenção e de operação, cerca de U\$ 10,00 por kW/ano (SEN; BHATTACHARYYA, 2014).

Sistemas híbridos (SH) de geração elétrica normalmente consistem de duas ou mais fontes energéticas renováveis e pode ter equipamentos de armazenamento (baterias) utilizados em conjunto, de modo a promover incrementos de eficiência em sistemas elétricos. Para o dimensionamento dos equipamentos destes sistemas, há diversos métodos e *softwares* utilizados em estudos de viabilidade técnica, econômica e de impactos ambientais de diferentes sistemas baseados em fontes renováveis variadas, equipamentos de armazenamento (baterias) e conversores que o compõe (LIU *et al.*, 2011).

Segundo Kolhe, Ranaweera e Gunawardana (2015), muitos destes *softwares* foram desenvolvidos para avaliar diferentes aspectos de cada sistema e há no mercado diversas opções como, por exemplo, Hybrid2, RETScreen, iHOGA, Hybsim, HySys, ARENA 12.0, PV SOL, RAPSIM, TRNSYS e HOMER. Este último aparece na literatura como a ferramenta preferida por abranger um grande conjunto de tecnologias (solar, hídrica, eólica, biomassa, diesel, células de combustível dentre outras), perfis de carga (AC/DC, térmica e hidrogênio) e pode simular cada hora do ano. O *software* HOMER é uma ferramenta de otimização usado na decisão da configuração ótima de um sistema conectado ou não à rede de distribuição (SEN; BHATTACHARYYA, 2014). Estudos recentes com aplicação do *software* HOMER para otimização e dimensionamento de sistemas híbridos foram realizados nas Ilhas do Pacífico, Austrália, Ásia, África, Europa, Canadá e Estados Unidos (MUDASSER; YIRIDOE; CORSCADDEN, 2015).

O HOMER simula o funcionamento de um sistema fazendo cálculos de balanço de energia. Para cada intervalo de tempo (hora, dia, mês ou ano), são comparadas a demanda elétrica e térmica com a energia que o sistema pode fornecer e calculados os fluxos de energia para cada componente que o compõem. Para sistemas que incluem baterias ou geradores de combustível, o programa

decide em cada intervalo de tempo, como operar os geradores e, se deve carregar ou descarregar o conjunto de baterias. Os cálculos de balanço de energia são executados para cada configuração de sistema que se deseja considerar e então determina se há uma (ou mais) configuração viável, isto é, se ela pode atender a demanda elétrica sob as condições especificadas e estima o custo de instalar e operar o sistema ao longo da vida útil do projeto. Os cálculos de custos do sistema incluem custos como capital, substituição, operação e manutenção, combustível e juros. Quando são definidas variáveis de sensibilidade (inflação, variação no custo dos combustíveis, variação na velocidade do vento, vida útil, etc.) o processo de otimização é repetido e serão simuladas configurações de sistema para cada variável especificada (NREL, 2015).

Frente ao exposto, este estudo objetiva analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de implantação de um sistema híbrido de geração de energia elétrica visando a utilização de biogás proveniente do tratamento de resíduos agropecuários, biodiesel e captação de energia solar a partir de painéis fotovoltaicos. A análise será realizada utilizando-se o *software* HOMER (*Hybrid Optimization Models for Energy Resources*) desenvolvido pela NREL (*National Renewable Energy Laboratory*).

## 2 JUSTIFICATIVA

A demanda por energia está crescendo impulsionada pela necessidade de manter a qualidade de vida bem como para movimentar a economia. As formas de utilização dos recursos energéticos surgem como o mais importante dos problemas frente ao progresso causado pela modernização (HUSSAIN; ARIF; ASLAM, 2017). De acordo com dados do Relatório Energias Renováveis 2016, Relatório da Situação Mundial (GALÁN, 2016), atualmente cerca de 1,2 bilhão de pessoas em todo o mundo ainda vivem sem eletricidade e se concentram principalmente na África e na Ásia, onde sistemas de micro geração distribuída desempenham papel importante no abastecimento energético dessa população.

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2018) a nível mundial, a matriz energética consiste predominantemente de fontes não renováveis, somando cerca de 81,4% provenientes de derivados de petróleo, carvão mineral e gás natural. A nível nacional, segundo a ANEEL (2018), a matriz energética consiste predominantemente de fonte hídrica (60,7%), fóssil (16,2%), biomassa (8,7%), eólica (7,6%), importação (4,9%), nuclear (1,2%) e solar (0,7%). Da geração a partir de biomassa há destaque para a geração através da combustão de bagaço de cana de açúcar com 402 usinas, representando 6,72% da matriz energética.

Segundo o Relatório Energias Renováveis 2016, Relatório da Situação Mundial (GALÁN, 2016), em termos de produção e geração de energia, o Brasil ocupa a terceira posição no que tange a utilização de fontes renováveis quando incluída a geração hídrica e segundo lugar em capacidade e geração quando abordada apenas esta fonte. No que tange a bioenergia, o Brasil ocupa a quarta posição, atrás de Estados Unidos, China e Alemanha, respectivamente.

Na região sul do país, há elevada concentração suinícola que traz consigo a oportunidade de avaliar a aplicação de tecnologias voltadas ao tratamento dos dejetos gerados pela atividade de criação. Resíduos agropecuários constituem uma importante fonte geradora de biomassa e seu aproveitamento energético pode se dar através da utilização de biodigestores que tem como produtos da biodigestão o biogás e o biofertilizante. Entretanto, parâmetros como a vazão, composição química e a capacidade calorífica do biogás, são determinantes do real potencial de geração de energia elétrica. Tais fatores são importantes também para dimensionamento de

sistemas de tratamento do biogás como, por exemplo, a remoção de umidade, do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), do gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) e outros gases que reduzem a capacidade calorífica (COELHO; VELAZQUEZ; SILVA, 2006).

Por outro lado, a produção descentralizada de energia, gerada próximo aos centros consumidores reduz os investimentos, além de reduzir a perda de energia nas redes de transmissão. E neste contexto, destacam-se as centrais geradoras que utilizam fontes renováveis, uma vez que não demandam altas tecnologias ou mão de obra especializada, tanto para implantação quanto para operação (DE SOUZA *et al.*, 2004; HAK *et al.*, 2011).

De acordo com Bley Jr (2010), com a produção descentralizada de energia não seriam necessárias longas linhas de transmissão, evitando perdas entre 10% e 15% da energia gerada no país e, os benefícios indiretos desta, trariam correspondente retorno financeiro. Ainda de acordo com o autor, o aspecto energético justificaria a distribuição da geração. Entretanto, são os aspectos econômicos que mais consolidam este conceito. Em termos regionais, a microeconomia seria favorecida com a demanda de serviços de planejamento, instalação, manutenção e comércio de equipamentos bem como todo ramo industrial relacionado.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2017) existem no Brasil 14 unidades de geração de energia que utilizam o biogás proveniente de resíduos de agropecuários como combustível e, a capacidade destas unidades é de 4.481 kW, representando cerca de 0,0027% do total da energia elétrica produzida no país. De acordo com Ritter, Santos e Curti (2014) a geração de eletricidade a partir do biogás não é expressiva. Entretanto o desenvolvimento de novas tecnologias visando o aproveitamento da capacidade de geração de biogás, em especial na região sul onde são criados cerca de 60% do rebanho suínico nacional, é uma alternativa atraente por reduzir os custos na agroindústria.

Para Bley Jr. (2009), a questão é: até quando as reservas fósseis serão capazes de suprir o consumo de energia e quais serão as alterações climáticas e ambientais devido ao seu uso? Considerando-se que um dos grandes problemas mundiais reside na base da política energética mundial ser essencialmente no uso de combustíveis fósseis, em especial petróleo, carvão e gás natural, e que estes são responsáveis por cerca de 80% da energia final consumida, a resposta a esta questão pode ser bastante preocupante.

Diante deste cenário, as fontes renováveis apresentam-se como uma alternativa ou complemento às fontes convencionais de modo que não se trata de extinguir os combustíveis fósseis, mas de utilizá-los da melhor maneira, optando por fontes menos impactantes ao ambiente (Schmidt, 1999 e Allegre, 1993 *apud* Bley (2010)).

Com intuito de reduzir o dano ambiental ligado à atividade suinícola para produção de forma mais sustentável e geração de renda para os criadores, a geração de energia térmica e/ou elétrica utilizando o dejetos suíno como matéria prima para a produção de biogás, vem se tornando realidade no cenário mundial.

Neste contexto, estudos que avaliem as potencialidades, a viabilidade e a aplicabilidade de implantação de sistemas híbridos ou não, para a geração descentralizada de energia, são essenciais no sentido de demonstrar os resultados que podem ser obtidos, subsidiando assim a tomada de decisão. O presente estudo justifica-se exatamente nesta necessidade, avaliando-se a viabilidade de implantação de um biodigestor de uso comum, onde o biogás produzido é utilizado em um sistema híbrido de geração de energia elétrica de forma a descentralizar a matriz energética e complementar as fontes convencionais de energia.

Será abordada uma bacia hidrográfica que engloba parcialmente os municípios de Serafina Corrêa, União da Serra, Montauri e Guaporé. Nesta bacia há elevada concentração de suinocultores e, através da avaliação das potencialidades da formação de *clusters* para tratamento dos dejetos provenientes da atividade, onde o que engloba o maior número de animais será abordado. De posse da quantidade de biogás disponível, será dimensionado um sistema híbrido de geração de energia elétrica de modo a utilizar todo o biogás disponível. Este sistema é composto por: geração a biogás, geração a diesel/biodiesel e captação de energia fotovoltaica. Todo o sistema será dimensionado com o auxílio do *software* HOMER.

## 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de otimização de um sistema híbrido de geração de energia elétrica.

## 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. analisar por meio de hipsometria, a melhor localização geográfica para instalação do biodigestor no *cluster*, considerando o transporte dos resíduos por gravidade;

- b. dimensionar o sistema de biodigestão com vistas a estimar os custos da matéria prima;
- c. especificar os equipamentos a serem utilizados para testagem do software;
- d. simular o dimensionamento dos equipamentos que comporão o sistema, utilizando-se os aplicativos do *software* HOMER;
- e. verificar a melhor configuração possível para instalação do sistema híbrido a partir dos resultados provenientes do *software* com base em parâmetros econômicos e ambientais.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A suinocultura é uma das mais importantes atividades agropecuárias e está difundida mundialmente. A utilização da carne suína como fonte de proteínas data há cerca de 5.000 anos. Provavelmente o suíno foi domesticado por nômades que entenderam que domesticar o animal era vantajoso (GERVÁSIO, 2013). A carne suína é a fonte de proteína animal mais consumida principalmente em países em desenvolvimento, acompanhando o crescimento demográfico, as mudanças nas preferências alimentares além de melhores condições de acesso à alimentação (PHILIPPE; NICKS, 2015) fazem com que a quantidade de carne suína consumida chegue ao dobro da carne bovina (GERVÁSIO, 2013).

No cenário brasileiro, as projeções mostram que as exportações de carne suína crescem em média 2,6% ao ano, favorecendo o aumento na produção, uma vez que a previsão deste acréscimo em âmbito mundial oscila entre 0,3 e 1,5% ao ano, inferior à expectativa de crescimento nacional de cerca de 1,9% ao ano, com projeção de 20,6% de aumento até 2023 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2013) .

Em todas as regiões do Brasil, a atividade suinícola predomina em pequenas propriedades rurais, tornando-se um instrumento de fixação do homem no campo, visto que propicia alimento e rentabilidade periódica e não sazonal ao produtor. O clima tropical, a mão de obra de baixo custo, a facilidade de manejo e tratamento dos dejetos, beneficiado pelas grandes dimensões territoriais e a grande produção de grãos, como milho e soja, torna o Brasil um dos países com as melhores condições para aumentar o plantel de suínos (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA (2016), no ano de 2015 a produção de carne suína atingiu a marca de 3.643 mil toneladas, mostrando aumento aproximado de 5% em relação a 2014. A Região Sul foi responsável por 69,56% de toda produção de 2015, destacando-se o estado de Santa Catarina com 27,4%, seguido pelo estado do Paraná com 21,47%. O Rio Grande do Sul figura como terceiro maior produtor somando 20,69% dos abates.

O constante aumento na criação de suínos resulta invariavelmente no aumento da geração de dejetos que carecem de tratamento adequado. Geralmente estes resíduos encontram-se concentrados em pequenas áreas e geram por

consequência problemas de ordem sanitária frente à quantidade de microrganismos patogênicos, metais pesados como cobre e zinco, além da deterioração da qualidade da água, do ar e do solo. Existem diversos processos para o tratamento destes resíduos, onde a biodigestão anaeróbia se mostra eficiente, permitindo a obtenção do biofertilizante e do biogás, cujo aproveitamento energético contribui no retorno do investimento de aquisição e instalação da tecnologia além de amenizar os problemas de saneamento e disposição final destes resíduos (CALZA *et al.*, 2015).

No meio rural, sistemas voltados especificamente ao aproveitamento de biomassa para fins energéticos, são um meio para atingir a sustentabilidade na cadeia produtiva em função da sua disponibilidade, por apresentar baixo custo dos resíduos da produção, grande potencial de geração de energia, redução do potencial poluidor dos resíduos, redução na pressão sobre os recursos naturais e economia de recursos energéticos (ANGONESE *et al.*, 2006).

Recentemente, tem aumentado o interesse na utilização de resíduos de criação animal como uma fonte alternativa e renovável de geração de energia, graças à preocupação constante enfrentada por agricultores e órgãos governamentais. A digestão anaeróbia é considerada como o mais vantajoso e importante processo de tratamento destes resíduos por possibilitar a redução dos danos ambientais e, ao mesmo tempo, suprir a demanda local de energia térmica ou elétrica através da combustão do metano contido no biogás (NASIR; MOHD GHAZI; OMAR, 2012).

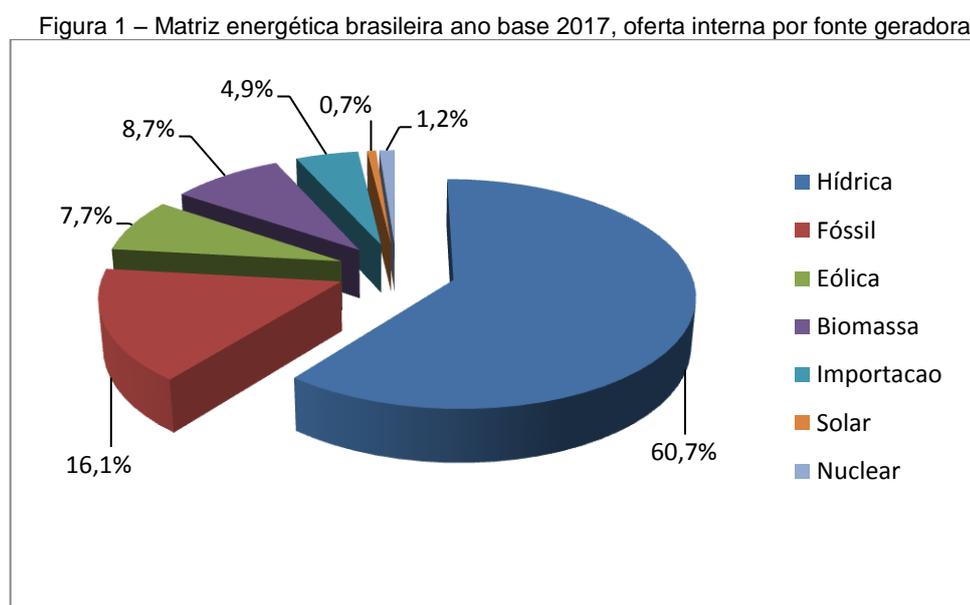
A geração de eletricidade a partir do biogás proveniente dos sistemas de biodigestão possibilita a criação de fontes descentralizadas de geração de energia elétrica em pequena escala, as quais tem se tornado fundamentais para a continuação do desenvolvimento de forma sustentável. A implantação de novas unidades que utilizem fontes renováveis, de baixo custo e que não demandem de mão de obra especializada ou alta tecnologia de instalação se mostra como solução principalmente para produtores rurais que visem a redução da dependência de concessionárias fornecedoras de eletricidade (CERVI; ESPERANCINI; BUENO, 2010).

### 3.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2017), existem atualmente no Brasil 6.725 centrais geradoras de energia elétrica em operação

totalizando 167.002.540 kW de potência instalada. A Figura 1 representa as proporções entre as formas de produção da matriz energética brasileira.

A matriz energética brasileira tem origem predominantemente renovável, destacando-se a geração hidráulica que responde por 60,7% da oferta interna. A soma das fontes renováveis representa 75,4% do total de eletricidade produzido no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018).



Fonte: adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2018).

A energia gerada a partir da biomassa inclui resíduos agroindustriais (bagaço de cana, casca de arroz), biocombustíveis líquidos, resíduos florestais (carvão vegetal, lenha, licor negro<sup>1</sup> e gás de alto forno), resíduos sólidos urbanos e biogás de resíduos animais. Este último com 10 unidades instaladas e capacidade geradora de 2.099 kW representando apenas 0,0013% da energia consumida no país (ANEEL, 2017).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2018), a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 581,5 TWh em 2015, resultado 1,5% inferior a 2014. As centrais elétricas de serviço público contribuíram com 83,4% do total de geração, tendo a energia hidráulica

<sup>1</sup> Licor negro é um subproduto do processo Kraft de tratamento químico da indústria de celulose e papel. Sua combustão na caldeira de recuperação permite o resgate de reagentes químicos e produz vapor a baixo custo para geração de energia elétrica ou como fonte de calor no processo industrial.

como principal fonte de geração. Fontes não renováveis como, carvão e derivados petróleo tiveram participação de 26% e os autoprodutores produziram 16,6% do total nacional que, considerando o somatório de todas as fontes utilizadas, atingiram 96,6 TWh. Desse total, 54,5% são consumidos pela própria instalação geradora, usualmente denominada como APE – Autoprodutores de Energia. Esta autoprodução abrange diversos tipos de atividades industriais que produzem energia para o próprio consumo, onde é possível destacar os setores de produção de papel e celulose, siderurgia, açúcar e álcool e indústria química. Neste último, destacam-se os segmentos de exploração, refino e produção de petróleo.

A importação de energia em 2015 foi de 34,4 TWh que, somadas à geração nacional, asseguraram oferta de energia elétrica de 615,9 TWh, montante 1,3% inferior a 2014. Já o consumo total foi de 522,8 TWh, representando um recuo de 1,8% em comparação com 2014 (EPE, 2016).

De acordo com a ANEEL (2017), há previsão de adição na capacidade de geração de 24.646.883 kW nos próximos anos provenientes de 237 empreendimentos em construção e outros 580 empreendimentos cuja construção ainda não teve início.

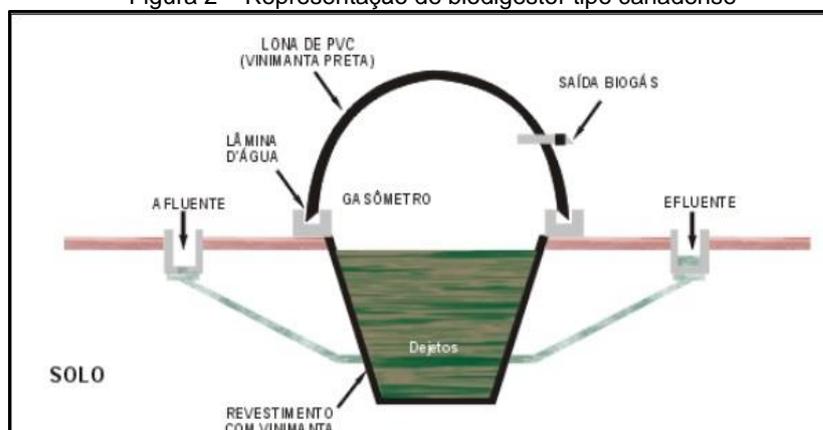
### 3.2 BIODIGESTORES

Biodigestor é um equipamento usado no processo de degradação da matéria orgânica. A estrutura de um biodigestor consiste de uma câmara de digestão e um gasômetro. A câmara de digestão é onde acontece a degradação da matéria orgânica. O gasômetro encontra-se sobre a câmara de digestão e é onde o biogás fica retido para seu posterior uso. Estes equipamentos são construídos de modo que a degradação da biomassa ocorra sem qualquer contato com o ar (anaeróbio), propiciando condições para que determinados microrganismos sejam predominantes no meio e, assim, a degradação da biomassa seja mais rápida e eficiente (RANZI; ANDRADE, 2004).

De acordo com Sakuma (2013) um biodigestor é uma câmara hermética, onde o efluente é inserido e no interior do qual ocorre a metabolização dos compostos orgânicos por arqueas metanogênicas. Os produtos resultantes da decomposição da matéria orgânica são o biogás (predominantemente metano e o dióxido de carbono) e o biofertilizante, tornando o processo atraente pela possibilidade de reaproveitamento energético e a possibilidade de converter

materiais geralmente poluentes em energia e fonte de nutrientes. A Figura 1 expõe a representação de um biodigestor tipo canadense.

Figura 2 – Representação de biodigestor tipo canadense



Fonte: Balmant (2009)

Evidentemente o modelo de biodigestor visualizado na Figura 2 não é o único, porém os mais utilizados são os modelos cujo modo de operação é contínuo e, dentre estes se destacam os modelos: Canadense (construído em lona) e o modelo Indiano e Chinês (construídos em alvenaria), no entanto, o princípio de operação é similar. A correta seleção para aplicação depende dentre outros fatores como, por exemplo, a localização da propriedade no que se refere ao clima, o potencial de abastecimento diário e do custo de implantação (GOMES *et al.*, 2014).

Biodigestor do modelo Canadense configura-se por ser horizontal, apresentando largura maior que sua profundidade, fazendo com que a área de exposição ao sol seja elevada, favorecendo a manutenção da temperatura e consequentemente mantendo estável a produção de biogás. Sua cobertura maleável, geralmente de manta PEAD infla conforme o biogás é produzido. Possui um reservatório de entrada de biomassa, um sistema de vedação da cúpula de lona, uma saída de gás e uma saída para o reservatório de biofertilizante (DE SOUZA, 2010).

De acordo com o Ministério Federal da Alimentação, da Agricultura e da Defesa do Consumidor da Alemanha (FNR, 2010), as condições do ambiente, tais como temperatura e pH, influenciam diretamente a taxa de decomposição biológica, pois os microrganismos envolvidos no processo metabólico tem diferentes temperaturas ótimas, variando entre 25 °C a 55 °C. Para a temperatura de 25 °C há necessidade de aquecer o substrato ou o biodigestor, do contrário, apenas baixas

taxas de conversão da matéria orgânica em gás são alcançadas. Acima de 55°C, os microrganismos produtores de biogás não resistem e acabam morrendo. De modo geral, para que haja alta taxa de conversão da matéria orgânica, e boa estabilidade do sistema, opera-se na faixa de temperatura variando entre 37 °C e 42 °, portanto, a temperatura é uma variável crítica neste processo. O pH, determinante para o crescimento das colônias de microrganismos, apresenta comportamento similar ao da temperatura e deve estar entre 6,5 e 8, condição essencial para que ocorra a formação de ácido acético (acetogênese) e do metano (metanogênese).

Utilizar-se de aquecimento através de serpentinas instaladas ao longo da câmara de fermentação de forma a introduzir calor no interior do biodigestor é uma medida que favorece a produção de biogás. Comprovando a importância da temperatura, Motta (2014), comparou a temperatura média de saída do biodigestor de 27 °C e a temperatura média de 35 °C, observou aumento de cerca de 28 % na produção de biogás para a temperatura mais alta. Por outro lado, intervalos de temperatura entre 28 e 30 °C aumentam em 20 % a produção de biogás. Para variação de temperatura entre 28 e 35 °C há incremento de até 40 %. Portanto, considerando esta representatividade, o aumento da temperatura de operação do biodigestor é um fator importante a ser avaliado.

Nos últimos anos, diversos modelos de reatores foram adaptados ou desenvolvidos para a finalidade de tratamento de resíduos agropecuários, alcançando maior eficiência por unidade de volume. O desempenho bem como os dados operacionais, são determinantes no dimensionamento do biodigestor e na escolha dos equipamentos necessários (NASIR *et al.*, 2012). Segundo Zhang *et al.* (2007), há ainda de se considerar as características químicas e físicas dos resíduos. Estas características são importantes no dimensionamento e na operação de um biodigestor, uma vez que afetam a produção de biogás bem como a estabilidade do processo durante o processo de biodigestão anaeróbia.

De acordo com Shubeita *et al.* (2014), digestão anaeróbia é definida como processo microbiológico no qual o carbono orgânico presente nos compostos biodegradáveis é convertido em sua forma mais reduzida (metano) e sua forma mais oxidada (dióxido de carbono) na ausência de oxigênio.

Bley *et al.* (2009), dizem que a produção de dejetos por animal, considerando suínos adultos com média de 70 kg, é de aproximadamente 5,8 kg de dejetos por dia. Dada produção possui capacidade de produzir 0,062 kg de biogás

por kg de dejetos. O biogás resultante, composto por uma mistura de gases com concentrações que variam de acordo com as características dos dejetos e as condições de funcionamento do processo de digestão.

Angonese, Campos e Welter (2007), Santos e Junior (2013), afirmam que há diversas vantagens para a realização da degradação anaeróbia, tais como a redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) entre 70% e 80%, promove a redução do potencial de contaminação infectocontagioso em mais de 90%, se acoplado a lagoas de estabilização, há produção de biofertilizante, baixo investimento, e redução dos custos operacionais, uma vez que há possibilidade de geração de energia térmica ou elétrica. Além disso, o efluente estabilizado apresenta baixa relação carbono/nitrogênio (10:1), indicando material praticamente inerte e pH entre 6,5 e 7,5 com ausência de odores característicos dos dejetos e sem atração de vetores. Porém, o custo de implantação, quando comparado a sistemas convencionais, mostra-se como fator de maior impacto e torna-se um empecilho para utilização deste tipo de tecnologia (RIAÑO; GARCÍA-GONZÁLEZ, 2015).

Para redução de custos na implantação de biodigestores, tendo em vista que a maioria das propriedades na área de estudo são de pequeno porte, pode-se formar *clusters*. Um *cluster* é uma concentração geográfica de qualquer companhia de um mesmo ramo de atividade, podendo ser expandido em canais de distribuição, compradores, produtores e outros que estejam relacionados por aptidão. Sendo assim, o conceito de *cluster* pode ser aplicado também na agricultura e na indústria (SANTANA, 2010). De acordo com Schneider *et al.* (2014), este conceito pode ser aplicado também na suinocultura visando o tratamento dos dejetos e produção de energia, contribuindo para a redução do impacto ao ambiente fortalecendo a sustentabilidade.

### **3.2.1 Biogás**

De acordo com a Resolução da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP Nº 8 DE 30/01/2015 (ANP, 2015), no Art. 3º, inciso I, define biogás como: “gás bruto obtido da decomposição biológica de produtos ou resíduos orgânicos”.

O biogás obtido pela digestão dos dejetos sólidos agrícolas tem, segundo Santos e Junior (2013), um poder calorífico que varia de 20,9 a 29,2 MJ/m<sup>3</sup> dependendo da concentração de metano. Quando altamente purificado, através da

remoção de CO<sub>2</sub>, pode ter até 37,78 MJ/m<sup>3</sup> (AL MAMUN *et al.*, 2016). De acordo com Appels *et al.* (2008) o biogás pode ser utilizado na geração de energia térmica, produção de vapor, combustível veicular, possivelmente na produção de produtos químicos, geração e cogeração de eletricidade .

No **Erro! Fonte de referência não encontrada.** compara-se a equivalência energética do biogás com: gás de cozinha, gasolina, eletricidade, lenha e álcool.

Tabela 1 – Equivalência energética de 1m<sup>3</sup> de biogás

Gás liquefeito de petróleo	1,5 m <sup>3</sup>
Gasolina	0,52 L a 0,6 L
Eletricidade	1,43 kWh
Lenha (madeira queimada)	2,7 kg
Álcool	0,9 L

Fonte: Associação Paranaense de suinocultores (2012)

Considerando a equivalência energética disposta no **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, para uma residência com consumo médio mensal de 200 kWh, seriam necessários aproximadamente 140 m<sup>3</sup> de gás por mês (APS, 2012).

Ainda segundo a Associação Paranaense de Suinocultores – APS (2012), considerando que cada animal produza entre 5 e 8 kg/dia de dejetos, com o cenário suinícola brasileiro atual, geram-se cerca de 90 milhões de toneladas de dejetos por ano. Se este potencial de geração fosse processado em biodigestores, seria possível gerar cerca de 900 bilhões de metros cúbicos de biogás.

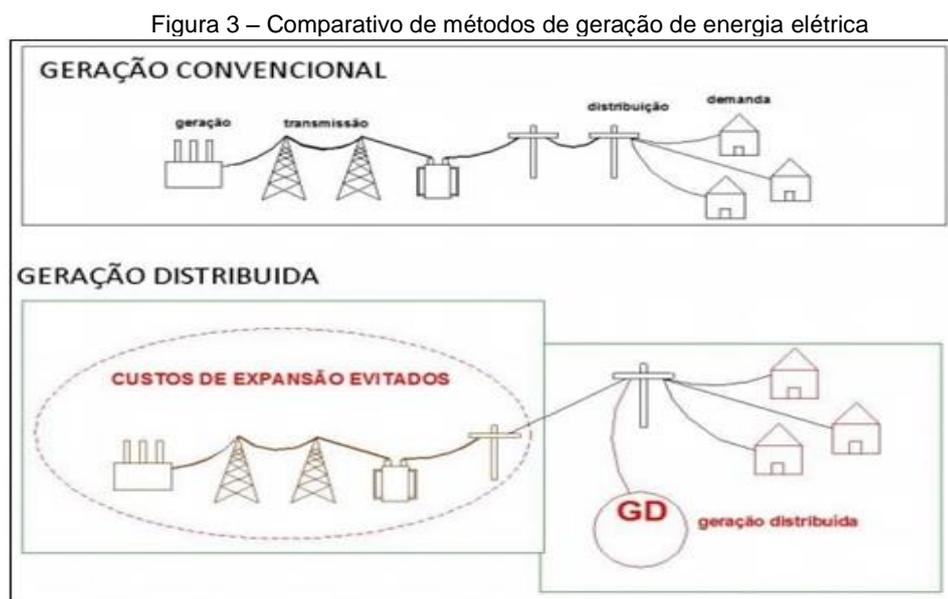
Diante deste potencial, foram criadas resoluções normativas que regulamentam a produção e distribuição desta energia como a Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012 (ANEEL, 2012)

Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências

complementada pela Resolução Normativa N° 687 de 24 de novembro de 2015 (ANEEL, 2015) que “Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST”.

Entretanto, ainda que exista regulamentação, observa-se resistência das empresas distribuidoras de energia em acoplar à rede o excedente de produção de energia elétrica sob o pretexto de que a geração se dá em picos, tornando inviável a inserção à rede de distribuição.

Pelo crescimento no consumo de energia e a localização afastada que acarretam o aumento dos custos devido à necessidade de construção de linhas de transmissão e, a produção descentralizada de energia, passando a ser produzida próximo aos centros consumidores, reduz por consequência o emprego de investimentos além da redução da perda de energia nas extensas redes de transmissão, conforme visualiza-se na Figura 3.



Fonte: Bley Jr (2010)

Segundo Bley Jr (2010) com a geração distribuída não seriam necessárias longas linhas de transmissão e, os benefícios indiretos da adoção da geração descentralizada corresponderiam financeiramente. Ainda de acordo com o autor, o aspecto energético justificaria a distribuição da geração. Entretanto são os aspectos econômicos que mais consolidam este conceito. Em termos regionais, a microeconomia seria favorecida com a demanda de serviços de planejamento, instalação, manutenção e comércio de equipamentos bem como todo ramo industrial relacionado.

O aproveitamento da energia proveniente de fontes renováveis como, por exemplo, a energia eólica, solar e biomassa ainda são pouco exploradas no Brasil, apesar de as tecnologias baseadas nestas fontes serem atrativas a cunho socioambiental. A possibilidade de produção de energia descentralizada, em pequena escala e próxima aos centros consumidores, é extremamente importante tanto para países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento e, no interesse destes, destacam-se as centrais geradoras que utilizam fontes renováveis,

pois não demandam altas tecnologias ou mão de obra especializada tanto para implantação quanto para operação (DE SOUZA et al., 2004).

Para descentralização da produção de eletricidade, o setor de produção de energia elétrica em esfera mundial tem demonstrado interesse em fontes alternativas para substituição às fontes não renováveis como gás natural, carvão e petróleo. A busca por energia alternativa está na diversificação, englobando a energia solar, eólica, hidráulica e biomassa. Nesta última, cabe a geração de energia térmica ou elétrica (HECK, 2013).

Com intuito de reduzir o dano ambiental ligado à atividade suinícola para produção de forma mais sustentável e geração de renda para os criadores, a geração de energia térmica e elétrica utilizando o dejetos suíno como matéria prima para a produção de biogás vem se tornando realidade no cenário mundial. Através da biodigestão anaeróbia, os dejetos suínos podem ser transformados em biogás, posteriormente utilizados na geração de energia necessária às atividades agropecuárias da propriedade e a energia excedente pode ser conectada nas redes de distribuição de energia implantadas pelo setor elétrico (SCHNEIDER et al., 2014).

Entretanto, para utilização do biogás, faz-se necessário conhecer a vazão, composição química e a capacidade calorífica. Estes parâmetros são determinantes do real potencial de geração de energia elétrica. Conhecer tais fatores é importante também no dimensionamento do sistema de tratamento do biogás como, por exemplo, a remoção de umidade, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e outros gases que reduzem a capacidade calorífica (COELHO et al., 2006).

Segundo Vieira, De Francisco e Bittencourt (2016), no Brasil ainda não existem regulamentações específicas e significativas acerca do biogás, ainda que possa ser utilizado para diversos fins. Para os casos onde o biogás seja utilizado em substituição ao gás natural, devem-se observar normativas e regulamentações pertinentes ao gás natural. A Lei n° 11.909, de 4 de março de 2009 (ENERGIA, 2009):

Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição Federal, bem como sobre as atividades de tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural; altera a Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997 e dá outras providências.

Já a Resolução ANP Nº 8 DE 30/01/2015 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2015), define o biometano como: “biocombustível gasoso constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do Biogás” regulamenta este combustível para utilização em substituição ao gás natural ou gás liquefeito do petróleo (GLP). Essa Resolução é o resultado da consulta pública nº 28/2014, realizada entre 29 de outubro de 2014 e 24 de novembro de 2014, e trata da primeira regulação específica do biometano no Brasil. A Resolução determina normas somente para o biometano, oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais, que seja destinado ao uso veicular e às instalações urbanas.

Ainda, segundo a Resolução ANP Nº 8 DE 30/01/2015 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2015), tanto o gás natural quanto o biometano têm os mesmos requisitos quanto a cuidados na compressão, distribuição e revenda, atendendo às leis específicas relativas ao assunto como a Lei nº 11.909, de 4 de março de 2009 (ENERGIA, 2009).

A referida Resolução prevê a possibilidade de comercialização do biometano podendo ser utilizado em aplicações semelhantes ao gás natural, tendo o mesmo valor monetário, desde que atenda às exigências de qualidade estabelecidas.

Tramita, na câmara Federal, um projeto de lei (PL 6559/2013 de 10/10/2013) com o intuito de regulamentar o Biogás, porém o mesmo ainda não foi analisado e/ou aprovado devido a questões políticas e burocráticas.

### **3.2.2 Biodiesel**

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2016), biodiesel é um combustível obtido a partir da transesterificação, processo em que os triglicerídeos presentes nos óleos e gordura animal reagem com um álcool primário, metanol ou etanol, gerando dois produtos: o éster e a glicerina. O éster, após purificação, pode ser comercializado como biodiesel, utilizado como combustível para motores de ignição por compressão (ciclo Diesel).

Biodiesel é uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira. Aliado ao etanol, florestas energéticas, coprodutos e resíduos agropecuários compõe expressiva parcela da matriz energética com base na biomassa (ZUNIGA *et al.*, 2015).

Na Europa, o uso deste combustível é bastante difundida e, o biodiesel é produzido a partir da reação de transesterificação entre o óleo de canola e o metanol derivado do gás natural ou petróleo (MACEDO; NOGUEIRA, 2005).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA – (2015), o Brasil é referência na produção de agroenergia. Programas como os do etanol e do biodiesel atraem a atenção do mundo por ofertar alternativas econômicas e ecologicamente viáveis à substituição dos combustíveis fósseis. Menos poluente e mais barata, a geração de energia com o uso de produtos agrícolas representa uma importante fonte de energia primária do País. O consumo do álcool supera o da gasolina e, o biodiesel já conta com participação relevante na matriz de combustíveis no país. De acordo com a Lei 13.263/2016 – Brasil (2016), o percentual de inserido no diesel fóssil deve chegar até março de 2019 a 10%. A obrigatoriedade foi definida a partir do Art. 2º da Lei nº 11.097/2005 – Brasil (2005), que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira. Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional. Com o amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi sucessivamente ampliado pelo CNPE até o atual percentual 9%.

Segundo o Anuário Estatístico de 2017 (ANP, 2017), a produção de biodiesel em 2016 alcançou 3.801.339 m<sup>3</sup>. A região Centro-Oeste foi responsável por 43% deste total, seguida pela região Sul cuja participação na produção nacional foi de 40%.

No cenário energético atual, existem, segundo a ANEEL (2017), apenas 2 centrais geradoras que utilizam biocombustíveis líquidos como força motriz, cuja capacidade de geração é de 4.350 kW, o que representa 0,0028% da matriz energética nacional. Ainda de acordo com a ANEEL, há em funcionamento 2.135 unidades geradoras a óleo diesel, com capacidade produtiva de 4.614.694 kW, representando 3,018% da matriz energética.

A utilização deste combustível em substituição ao diesel fóssil, segundo Nogueira e Macedo (2005), reduz a emissão de gases tóxicos com exceção dos óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>). A redução dos SO<sub>x</sub> se dá em virtude da ausência de enxofre no biodiesel, elemento de elevada concentração no diesel, em particular o brasileiro.

### 3.2.3 Energia solar

Energia solar é um termo que se refere a energia proveniente da luz e do calor do sol e pode aproveitada e utilizada por meio de diferentes tecnologias, principalmente como o aquecimento solar, energia solar fotovoltaica e energia heliotérmica. A energia solar é considerada uma fonte de energia renovável, sustentável e é considerada como inesgotável do ponto de vista humano. O potencial de energia solar é excepcional em comparação com todas as outras fontes de energia (PENA, 2017).

#### 3.2.3.1 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia convertida em eletricidade através da utilização de materiais semicondutores como o silício cristalino, que converte a luz solar em energia fotovoltaica. Para seu aproveitamento na geração de energia elétrica que possa ser utilizada em domicílios e/ou empresas, as células fotovoltaicas devem ser montadas formando um painel solar, fornecendo proteção e durabilidade aos receptores fotovoltaicos. Este painel solar pode ser conectado a outros painéis, formando um sistema solar fotovoltaico. Este sistema é essencialmente composto por: painéis solares, inversor de frequência, sistema de fixação dos painéis, cabeamentos e conectores.

#### 3.2.3.2 Energia Solar Térmica

É uma forma alternativa de aproveitamento da energia solar utilizada no aquecimento de líquidos, normalmente água, para gerar energia térmica para uso na industrial e/ou residencial. A primeira instalação de equipamentos de energia solar térmica ocorreu no deserto do Saara, aproximadamente em 1910, quando um motor foi alimentado pelo vapor produzido através do aquecimento d'água utilizando-se a luz solar. O líquido aquecido através da luz e calor do sol pode ser armazenado em recipientes específicos para uso posterior como, por exemplo, a noite ou em dias com ausência de irradiação solar, configurando uma forma de armazenamento deste tipo de energia (LÓPEZ; AGEITOS; CASTIÑEIRAS, 2007).

#### 3.2.3.3 Energia Solar Heliotérmica

É uma maneira de utilização do calor da energia solar para gerar energia elétrica. Neste caso utilizam-se concentradores, ou seja, espelhos para refletir a

energia em um único ponto com finalidade de aquecimento de água para produção de vapor que alimenta turbinas de geração de energia elétrica (ZILLES, 2004).

### 3.3 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

Fontes renováveis são as formas de produção de energia em que suas fontes são capazes de manter-se disponíveis ao longo do tempo, contando com recursos que se regeneram ou que se mantêm ativos permanentemente. Em outras palavras, fontes de energia renováveis são aquelas obtidas de recursos não esgotáveis. Dentre as principais fontes de energia renovável destacam-se: energia eólica, solar, hídrica, biomassa, energia geotérmica e energia marinha.

- *Energia eólica:*

Define-se energia eólica como a conversão da energia do vento em uma forma utilizável de energia, a energia cinética é transformada em energia mecânica e posteriormente em eletricidade (ELLABBAN; ABU-RUB; BLAABJERG, 2014). Energia eólica é popularmente percebida como uma das fontes de energia limpa e é a primeira das energias renováveis a se tornar 'acessível' - isto é, capaz de gerar eletricidade a taxas comparáveis às fontes convencionais (PREMALATHA; ABBASI; ABBASI, 2014). De acordo com Hussain, Arif e Aslam (2017), no ano de 2015 a soma entre energia eólica, solar e biomassa representaram 3,7% do total de energia gerada.

No Brasil, segundo dados da Resenha Energética Brasileira (ENERGIA, 2016) produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 21.626 GWh em 2015, equivalente a um aumento de 77,1% em relação ao ano anterior, quando se atingiu 12.210 GWh. Em 2015, a potência instalada para geração eólica no país expandiu 56%. Segundo o Banco de Informações da Geração (BIG), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2016), o parque eólico nacional cresceu 2.745 MW, alcançando 7.633 MW ao final de 2015.

Segundo Ellabban, Abu-rub e Blaabjerg (2014) apresenta como vantagens: recurso gratuito, não há poluição da água ou do ar, a construção de parques eólicos é relativamente barata e é possível a utilização dos entornos dos parques para outras finalidades. No entanto, há desvantagens como: necessidade constante de vento, parques eólicos requerem áreas relativamente grandes, pode ter impacto visual negativo e necessita a utilização de baterias para armazenamento da energia excedente.

- *Energia solar:*

Energia solar refere-se à energia proveniente da luz e do calor do sol. Consiste no aproveitamento da irradiação<sup>2</sup> solar que incide sobre o globo terrestre. As formas mais usuais de captação de energia solar se dá através de painéis fotovoltaicos e sistemas térmicos (PENA, 2017).

Irradiação solar significa a quantidade de energia que incide em uma determinada área em um intervalo de tempo, normalmente expressa em Wh/m<sup>2</sup>, podendo ser dividida em radiação direta e difusa que, em conjunto, indicam a irradiação global (ANGELIS-DIMAKIS *et al.*, 2011).

A captação desta energia tem se tornado atraente, significativa e de baixo custo. No entanto, apresenta a desvantagem de que sua natureza é imprevisível e, em algumas regiões, não produz energia utilizável durante todo o ano devido ao fato de ser dependente do tempo de exposição à radiação solar e, de modo geral, não coincide com horários em que a demanda é elevada. O uso independente desta fonte, bem como da energia eólica requerem, normalmente, sistemas superdimensionados a fim de garantir a confiabilidade do sistema, causando o encarecimento do projeto (DESHMUKH; DESHMUKH, 2008).

Em termos de irradiação solar, o Brasil apresenta um dos maiores índices mundiais. A maior parte do território nacional encontra-se próxima à linha do Equador, não apresentando grandes variações de radiação solar ao longo do dia (ANEEL, 2002). No Apêndice 1 é apresentado o mapa da média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2017), há no Brasil 39 centrais de captação de energia solar cuja capacidade é de 22.952 kW, o que representa 0,015% do total de energia elétrica gerada no país.

De acordo com Ellabban, Abu-rub e Blaabjerg (2014) apresenta como vantagens: potencial energético infinito e não polui o ar ou a água. Por outro lado, apresenta como desvantagens: pode ter necessidade de armazenamento, pode não ser rentável e é dependente da luz solar.

- *Biomassa:*

---

<sup>2</sup> Radiação é transmissão de energia através do espaço, já irradiação é exposição à radiação. A radiação é, na verdade, a propagação ou condução de energia a uma determinada velocidade.

Segundo o Atlas da energia no Brasil Parte II Fontes renováveis (ANEEL), a biomassa corresponde a qualquer matéria orgânica de origem florestal, agrícola, rejeitos urbanos e industriais, passível de conversão em energia mecânica, térmica ou elétrica.

A biomassa é uma das alternativas de diversificação da matriz energética que apoia conseqüentemente a redução da dependência em combustíveis não renováveis, principalmente fósseis.

Sua importância está no aproveitamento de materiais que, em tese, seriam descartados, como é o caso dos resíduos agropecuários, e também na possibilidade de cultivo.

Pode ser utilizada na forma sólida (madeira, carvão vegetal, resíduos agropecuários) através da combustão direta.

É possível de ser industrializada dando origem a novos produtos líquidos (etanol, biodiesel) por meio de fermentação ou conversão térmica que, neste caso, há possibilidade de originar combustíveis líquidos e gasosos.

Através da fermentação anaeróbia da origem a combustíveis gasosos (biogás e gás metano) e, pode ocorrer ainda a gaseificação obtendo como principais produtos o hidrogênio e monóxido de carbono.

No Brasil, segundo dados da Resenha Energética Brasileira (ENERGIA, 2016) produção de eletricidade a partir da biomassa, conta com 543 usinas, com relevo especial para utilização do bagaço de cana de açúcar com 394 usinas. Já o biogás, conta com 24 unidades cuja potência é de 79 MW.

O uso da biomassa tem como vantagens: abundância e é renovável além de haver a possibilidade de utilização de resíduos. Porém, desvantagens como o baixo retorno financeiro e a possível poluição do ar em detrimento do processo de combustão (ELLABBAN et al., 2014).

- *Energia geotérmica:*

Energia geotérmica é a energia obtida do calor presente no interior da terra e em locais que esse calor se manifesta próximo à superfície, o vapor proveniente de reservatórios de água subterrâneos é utilizado na produção de trabalho mecânico, movendo turbinas acopladas a geradores elétricos. Onde não há reservatórios subterrâneos de água para produção de vapor, esta é bombeada para o interior das rochas quentes onde é aquecida e posteriormente utilizada na forma de vapor para geração elétrica (FRANCISCO, 2017).

De acordo com Dos Reis (2015), Itália, Islândia, Estados Unidos, México, Filipinas, Nova Zelândia, Japão, Turquia, Rússia, China, França, Indonésia, El Salvador, Kênia e Nicarágua são os países com potencial para produção de energia geotérmica em locais normalmente próximos a vulcões e propensos a abalos sísmicos.

Segundo Dos Reis (2015), não há no Brasil locais adequados para utilização da energia geotérmica. Onde ela existe, a temperatura da água não é suficientemente elevada para outra utilização que não para fins recreativos e/ou terapêuticos.

Para Ellabban, Abu-rub e Blaabjerg (2014) as vantagens são: tem potencial ilimitado para geração de energia e assim como a energia solar e eólica, não polui. Em contrapartida, as desvantagens são: o desenvolvimento e instalação de tecnologias para aproveitamento desta energia apresentam custos elevados assim como os custos de manutenção, tendo em vista que a corrosão dos equipamentos pode ser um problema.

- *Hidrelétrica:*

Energia hidrelétrica utiliza-se do movimento das águas dos rios para a produção de eletricidade através da transformação da energia hidráulica em cinética e posteriormente em eletricidade.

Necessita-se do estabelecimento de uma área de inundação no ambiente em que se instala uma usina hidrelétrica, a sua construção é recomendada em áreas de planalto, onde o terreno é mais íngreme e acidentado, pois rios de planície necessitam de mais espaço para represamento da água, o que gera mais impactos ambientais.

Por um lado, as hidroelétricas trazem vários prejuízos ambientais, não só pela inundação de áreas naturais e desvio de leitos de rios, como também pelo dióxido de carbono emitido pela decomposição da matéria orgânica que se forma nas áreas alagadas. Por outro lado, essa é considerada uma eficiente forma de geração de eletricidade, além de ser menos poluente, por exemplo, que as termoelétricas que utilizam combustíveis fósseis.

No Brasil a energia de fonte hídrica predomina com 1.219 usinas cuja capacidade total é de 91.650 MW representando 66,5 % de participação no ano de 2015 (ENERGIA, 2016).

Ellabban, Abu-rub e Blaabjerg (2014) destacam como vantagens: fonte abundante, limpa e segura, pode-se armazenar água em reservatórios para posterior uso, custo relativamente baixo e pode oferecer recursos recreativos como a pesca. Como desvantagens destacam-se: causa inundação que pode abranger comunidades ou paisagens, as represas impactam fortemente a hidrologia, pode ser instalada somente onde há um recurso hídrico e alguns locais ideais para instalação de represas já são povoados.

- *Energia marinha:*

Energia marinha é proveniente de seis fontes distintas: ondas, marés, correntes de maré, correntes oceânicas, conversão de energia térmica oceânica e gradientes de salinidade, cada um com origens diferentes e requerendo diferentes tecnologias para conversão. Estima-se que há potencial energético de 7.300 EJ/ano, o que excede as demandas por energia atuais e futuras (ELLABBAN *et al.*, 2014).

O aproveitamento da energia das marés se dá através de represas construídas em estuários assemelhando-se a represas hidrelétricas convencionais, no entanto, utiliza-se o fluxo da água no sentido horizontal para movimentação das turbinas. Em processo similar, a energia gerada pela corrente das marés e a corrente oceânica também utilizam fluxo horizontal da água, os quais são influenciados pelas características batimétricas especialmente próximas à costa ou outras barreiras como as ilhas (HUSSAIN *et al.*, 2017).

De acordo com Hussain *et al.* (2017), outra forma de aproveitamento de energia marinha parte do gradiente de salinidade proveniente da diferença de potencial químico entre a água doce e água do mar, também conhecida como energia osmótica e é obtida a partir de osmose com retardo de pressão ou eletro diálise reversa. Esta diferença de potencial (ddp) é capturada através de membranas semipermeáveis.

Estima-se que podem ser gerados cerca de 1.650 TWh/ano, no entanto, o custo-benefício ainda é elevado, o que dificulta a implantação desta tecnologia.

Há ainda a conversão térmica da água aquecida pelo sol na superfície marinha e a água fria, normalmente entre 800 e 1000 m de profundidade para produzir eletricidade. A água quente do mar é utilizada para produzir vapores enquanto que a água fria é utilizada para condensá-los garantindo que exista diferença de pressão de vapor suficiente para movimentar turbinas gerando

eletricidade. Esta forma de geração tem potencial estimado de 10 TW sem que haja danos ou alterações térmicas nos oceanos (HUSSAIN *et al.*, 2017).

Ellabban, Abu-rub e Blaabjerg (2014) destacam como vantagens: ideal para suprimento energético em ilhas e utiliza energia que não pode ser utilizada de outra forma. Já as desvantagens ficam por conta de: custos elevados de construção, pode causar danos a vida marinha e necessita de estruturas grandes as quais dificultam o transporte.

Segundo o Relatório de Status Global em Energias Renováveis – *Renewables Global Status Report* (GALÁN, 2016), as fontes renováveis de energia suprem aproximadamente 23,7% da demanda mundial. Em 1998, o suprimento de energia a partir destas fontes foi de 2%, incluindo 7 Exajoules de biomassa moderna<sup>3</sup> e 2 Exajoules de todas as outras fontes renováveis. Atualmente, segundo Hussain, Arif e Aslam (2017), o desenvolvimento de novas tecnologias (aproveitamento de energia marinha e geotérmica, painéis fotovoltaicos concentrados, etanol celulósico, fotossíntese sintética dentre outras) e equipamentos contribuem para redução de lançamento de gases de efeito estufa (GEE) bem como reduzem outras formas de poluição.

O Relatório de Status Global – GSR-2016 (GALÁN, 2016), aponta que os investimentos nos recursos energéticos renováveis aumentaram significativamente nos últimos anos. Um resumo do investimento nos últimos 12 anos está um total de 73 bilhões de dólares, investidos em esfera global em energias renováveis em 2005, aumentando para 279 bilhões de dólares em 2011, porém houve recuo no investimento nos anos de 2012 e 2013. Nos anos de 2014 e 2015 os investimentos alcançaram a marca de 273 e 285,9 bilhões de dólares respectivamente. Em 2015, os principais avanços em capacidade instalada foram em energia eólica com acréscimo de 63 GW, capacidade solar fotovoltaica que aumentou 50 GW e geração de bioenergia<sup>4</sup> que gerou 35 GW a mais que em 2014. Estes rápidos avanços no domínio das diversas tecnologias em energias renováveis evidenciam potencial realizável e, muitas destas tecnologias estão a par com as tecnologias de geração de energia convencionais.

---

<sup>3</sup> De acordo com o Grupo de Pesquisa em Bioenergia da Universidade de São Paulo (2016), entende-se por biomassa moderna as avançadas tecnologias para conversão de biomassa em energia elétrica e o uso de biocombustíveis.

<sup>4</sup> Etanol, biodiesel, biogás, carvão vegetal, etc.

Ainda segundo o relatório, em termos de capacidade instalada deste tipo de energia, a China aparece em primeiro lugar, seguida pelos Estados Unidos. O Brasil aparece com terceira maior capacidade de geração, seguido por Alemanha e Canadá, respectivamente. Do ponto de vista do investimento, a China, seguida por Estados Unidos, Japão, Reino Unido e Índia são os países com maior investimento, maior acréscimo de capacidade líquida e maior produção de biocombustíveis em 2015.

### 3.4 SISTEMAS HÍBRIDOS DE GERAÇÃO ELÉTRICA

Sistemas híbridos (SH) consistem de duas ou mais fontes geradoras de eletricidade. Normalmente uma ou mais fontes convencionais e uma ou mais fontes renováveis como, por exemplo, captação de energia solar em conjunto com geradores diesel e captação de energia eólica (BARBOSA; PINHO; PEREIRA, 2004). SHs objetivam-se em promover a economia de combustível e obter uma fonte confiável de suprimento de energia e podem estar ou não conectados à rede de distribuição. O uso destes sistemas está se tornando popular para promover a autonomia na geração de energia em locais isolados graças aos avanços nas tecnologias de energia renovável e de conversores eletrônicos usados para converter a energia não regulada, gerada a partir de fontes renováveis, em energia útil para a carga final. A característica importante de um SH é combinar duas ou mais tecnologias de geração de energia, de modo a permitir o melhor uso de suas características operacionais e obter ganhos mais elevados daqueles obtidos a partir de uma única fonte energética, embora possam apresentar desvantagens como limitações em termos de flexibilidade de combustível, eficiência, confiabilidade, emissões e economia (BAJPAI; DASH, 2012).

A otimização destes sistemas se dá através da análise econômica e ambiental, sob diversos parâmetros como: o Custo do Ciclo de Vida (LCC – *life cycle cost*) ou Valor Presente Líquido<sup>5</sup> - VPL (NPC – *net presente cost*) composto do custo de capital inicial, o custo de instalação, reposição de equipamentos e operação sobre a vida útil do sistema, além do custo da energia (COE – *cost of energy*) que é

---

<sup>5</sup> O valor presente líquido – VPL (NPC – *net presente cost*) é uma função utilizada na análise da viabilidade de um projeto de investimento. Ele é definido como o somatório dos valores presentes dos fluxos estimados de uma aplicação, calculados a partir de uma taxa dada e de seu período de duração. Em outras palavras, o VPL trás para a data ZERO todos os fluxos de caixa de um projeto, somados ao custo do investimento inicial. Pode apresentar resultado positivo ou negativo onde, resultado positivo indica viabilidade de um projeto e, resultado negativo indica que a taxa de retorno é menor que o investimento inicial, o que sugere inviabilidade do projeto.

o custo por unidade de energia útil produzida. A análise de impactos ambientais é realizada através da redução das emissões de gás carbônico – CO<sub>2</sub> – e da fração de energia proveniente de fontes renováveis (LIU *et al.*, 2011). Tais análises são realizadas através de simulações que visam satisfazer a demanda utilizando as opções tecnológicas alternativas e disponibilidade de recursos. As simulações são efetivadas a partir de uma descrição matemática das condições de operação dos seus componentes e do fluxo de energia no sistema onde se incorpora a análise financeira da configuração predeterminada, permitindo observar os efeitos da alteração da capacidade dos componentes, e dos seus parâmetros de operação inclusive ao longo do tempo e confrontando diferentes tecnologias.

Diante de inúmeras combinações e necessidade de avaliação de desempenho, faz-se indispensável à utilização de recursos computacionais que possibilitam simular e dimensionar novos sistemas de geração elétrica. O *software* HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables*), desenvolvido pela NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) é um modelo de otimização de micro centrais de energia para concepção de sistemas de micro geração e permite confrontar diversas fontes geradoras que englobam desde biomassa à pequenas centrais hidrelétricas (NREL, 2015).

### 3.5 HOMER ENERGY

As informações deste tópico são provenientes do manual de instruções do *software* (NREL, 2016).

HOMER é um modelo de otimização de micro centrais de energia. Este modelo simplifica a tarefa de avaliação de projetos de sistemas de energia (conectados e não à rede de distribuição) para uma variedade de aplicações. Quando se projeta um sistema de energia, devem-se tomar muitas decisões sobre a configuração do sistema: quais os componentes que devem ser incluídos no projeto do sistema? Quantos e qual o tamanho de cada componente que deve ser adotado? O grande número de opções e a variação nos custos das tecnologias bem como na disponibilidade de recursos energéticos, tornam estas decisões difíceis. Os algoritmos de análise de otimização e de sensibilidade do HOMER tornam mais fácil a avaliação das muitas e possíveis configurações de sistema.

Este *software* atua através de consultoria e serviços analíticos para implantação de centrais que promovam a utilização da energia renovável

proveniente dos potenciais de cada região, oferecendo grande variedade de serviços que ajudam na tomada de decisão sobre o aumento da participação de fontes renováveis num sistema de geração elétrica, ou ainda o melhor modo de operação, tal que permita maior eficiência. Permite também a consulta a serviços públicos, instituições governamentais, pesquisadores e desenvolvedores de tecnologia, usuários e outros possíveis interessados relacionados à energia renovável passível ou não de distribuição, promovendo ampla gama de serviços relacionados, tais como: planejamento estratégico, análise de mercado, análise econômica de projetos individuais, dentre outros.

Frente às inúmeras combinações e necessidade de avaliação de desempenho, faz-se necessário a utilização de recursos computacionais que, através da modelação matemática, possibilitam simular e dimensionar novos sistemas de geração elétrica. O HOMER simula o sistema através de uma descrição matemática das condições de operação dos seus componentes e do fluxo de energia no sistema e, incorpora também uma análise financeira da configuração predeterminada, permitindo observar os efeitos da alteração da capacidade dos componentes, e dos seus parâmetros de operação inclusive ao longo do tempo e confrontando diferentes tecnologias.

Alimenta-se o programa com dados de entrada, os quais descrevem as opções de tecnologia, os custos de componentes e a disponibilidade de recursos. Utilizando estas entradas o *software* simula configurações ou combinações de componentes, gerando resultados que podem ser visualizados através de uma lista de possíveis configurações, as quais são ordenadas de acordo com o objetivo da análise como, por exemplo, o custo do sistema, custo da energia dentre outros. Também é possível exibir os resultados de simulação em uma grande variedade de tabelas e gráficos que o ajudam a comparar configurações e avaliá-las quanto aos seus aspectos econômicos e técnicos. Podem-se exportar as tabelas e gráficos para uso em relatórios e apresentações.

Homer funciona da seguinte forma:

- *Simulação:* Através de cálculos de balanço de energia, pode-se simular um sistema em operação para cada uma das 8.760 h do ano, ou ainda ao longo de mais de um ano. Para cada passo de tempo (hora, mês ou ano) os cálculos são realizados para cada configuração do sistema que se queira considerar e então, é determinado se a

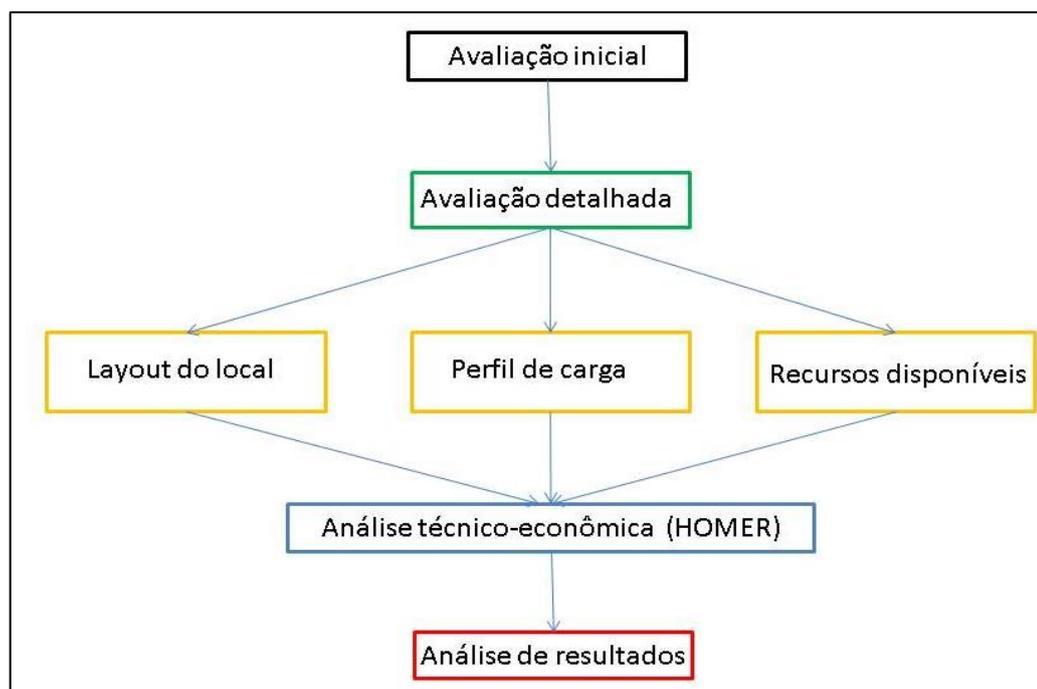
configuração é economicamente viável ou não, além de estimar o custo de instalação e operação do sistema durante a vida útil do projeto. Para sistemas que incluem baterias ou geradores alimentados a combustível, o programa pode decidir o momento em que deve acionar os geradores ou a descarga das baterias.

- *Otimização*: depois de simular todas as possíveis configurações de sistema, o HOMER mostra uma lista de configurações, ordenada pelo valor presente líquido – VPL (às vezes chamado de custo de ciclo de vida), o qual pode ser usado para comparar opções de projeto de sistema.
- *Análise de sensibilidade*: quando se definem variáveis de sensibilidade como dados de entrada, o HOMER repete o processo de otimização para cada variável de sensibilidade que se especificar. Por exemplo, se a velocidade do vento for uma variável de sensibilidade, o HOMER simulará as configurações de sistema para a gama de velocidades de vento que forem especificadas.

Este recurso computacional tem capacidade de simulação baseada em diversas fontes, tanto convencionais como renováveis que vão desde energia solar a PCHs de fio d'água além de diversos modos de armazenamento de energia, incluindo baterias e hidrogênio. Além disso, há perfis de carga como a carga diária por estação, bombeamento de água, etc.

Entretanto, a avaliação através do *software* HOMER complementa-se com as fases de pré e pós-análise, mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Fases de avaliação de dados



Elaborado pelo autor (2016)

É parte da pré-análise a definição dos dados de entrada:

- pré dimensionamento dos componentes e custos;
- dados sobre a disponibilidade de recursos;
  - dados meteorológicos;
  - possíveis fontes de recursos;
- informações de consumo dos geradores e restrições do projeto;
- perfil de carga a ser atendida;
  - carga primária;
  - potencial de cada fonte geradora;
  - capacidade de geração;
  - preços de mercado de cada componente que constitui o sistema.

Informados ao programa estes dados, realiza-se a análise técnico-econômica através de simulação da operação do sistema por meio de balanços de energia. Para isto, é comparada a demanda em cada período com a capacidade que o sistema tem de suprir esta demanda, calculando o fluxo de energia de cada componente do sistema.

Em geral, sistemas isolados, que utilizam apenas uma fonte renovável, tendem a ser superdimensionados para atender a demanda de carga, tendo por consequência, alto custo de capital. Este não é o caso de sistemas híbridos, pois as

várias fontes de energia interconectadas se complementam utilizando seus recursos individuais. Todos os parâmetros de entrada são alimentados no *software* HOMER, a fim de determinar os resultados de otimização para diferentes configurações de sistema. A configuração do sistema que fornece COE mínimo é otimizada para minimizar seu excesso de energia. A quantidade de energia gerada pelos componentes é comparada com as demandas de carga anual para garantir que o SH seja capaz de atender às demandas de carga.

Na análise técnico-econômica é comparada ampla gama de equipamentos com diferentes restrições e sensibilidade para otimizar o projeto do sistema. A análise baseia-se nas propriedades técnicas do sistema e no custo do ciclo de vida (LCC). O LCC compreende o custo de capital inicial, de instalação e de operação ao longo da vida útil do sistema. HOMER realiza simulações para satisfazer a demanda dada usando opções de tecnologia alternativa e disponibilidade de recursos. Com base nos resultados da simulação, seleciona-se a configuração mais adequada.

Na fase pós-análise verificam-se os resultados das simulações realizadas pelo recurso computacional onde é possível comparar as configurações de sistema e definir a que melhor atenda às necessidades frente a melhor forma de utilização dos recursos e das opções tecnológicas disponíveis. Com base nestes resultados, a configuração mais adequada é selecionada.

### 3.6 ESTUDOS DE CASO COM O SOFTWARE HOMER

Diversos estudos foram realizados utilizando-se o *software* HOMER. Liu et al. (2011) avaliaram os custos de geração e os impactos ambientais de SH em sete diferentes localizações (todos os sistemas conectados a rede) que inclui captação de energia solar, turbinas eólicas, geradores à biomassa e conjunto de baterias a ser implantado para suprir a demanda energética de áreas residenciais na Austrália. De acordo com os autores, os custos da energia (*Cost of energy* – COE) variam de \$ 0,367/kWh a \$ 0,404/kWh para seis sistemas que não incluem energia solar e custo de \$ 0,485/kWh para um sistema que utiliza tal fonte.

Singh, Baredar e Gupta (2015), avaliaram um SH composto por energia solar, biomassa e células de combustível para suprir a demanda de 101 kWh/d com 5 kWp no *Maulana Azad National Institute of Technology – Energy Centre* MANIT Bhopal. Desta análise resulta VPL de \$ 41.618,00 e COE de \$ 0,23 sendo a que a

configuração ótima do sistema necessita de um gaseificador/gerador a biomassa, captação de energia solar e células de combustível.

Sen e Bhattacharyya (2014), analisaram um SH não conectado a rede de distribuição para eletrificação de pequenos vilarejos na Índia. Através da análise utilizando HOMER, partindo de dados da demanda energética dos domicílios a serem atendidos, concluíram que a melhor configuração se dá a partir de uma pequena central hidrelétrica (PCH) que supre 76% da demanda por energia. Captação de energia solar e gerador a biodiesel, ligados a um conjunto de baterias suprem 10% e 14% respectivamente. Todo o sistema pode ser operado a um COE de \$ 0,42/kWh para quando não conectado à rede (*off grid*) e \$ 0,44 quando conectado (*grid connected*). Custos de capital e valor presente líquido (VPL) são na ordem de \$ 238.000,00 de \$ 673.147,00 respectivamente.

Mudasser, Yiridoe e Corscadden (2015), com o mesmo recurso computacional analisaram um SH composto por gerador a biogás e geradores eólicos em três diferentes localizações geográficas no Canadá, onde evidenciaram que SH compostos por energia eólica e geradores a biogás não são viáveis se não tiverem incentivos governamentais de redução de impostos e abertura de linhas de crédito. Além disso, a expansão de 1 km de rede elétrica aumenta em \$ 0,06/kWh e, concluem que o SH proposto é viável em apenas um dos locais avaliados.

Castellanos *et al.* (2015), na Índia, avaliaram um SH para satisfazer a demanda de 22 MWh/ano em 7 diferentes cenários com diferentes combinações de fontes geradoras e de armazenamento. As fontes geradoras contam com geração de energia e calor através de biogás e painéis fotovoltaicos. Para armazenamento, avaliaram baterias de vanádio, eletrólise de água e armazenamento de hidrogênio com células de combustível. Concluíram que a melhor configuração consiste de geradores de calor e energia a biogás que correspondem a 61% da energia produzida na configuração ótima do sistema e é confiável para atender a demanda nos horários de pico e/ou variações no sistema. Por outro lado, a energia solar é confiável para atender a carga diária e ainda carregar o sistema de baterias utilizadas para satisfazer a necessidade energética durante a noite. Todo o sistema opera a um COE de US\$ 0,289 kWh.

Baghdadi *et al.* (2015), propuseram um SH composto por painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, gerador diesel, conjunto de baterias e inversores a ser instalado no sul da Algeria. Mostram que o sistema avaliado é eficiente e permite a

rotação de fontes energéticas, suprimindo 43 % da demanda com a utilização de turbinas eólicas, 26 % da demanda é atendida pelos painéis fotovoltaicos e 31 % por gerador diesel, possibilitando a redução de 70% no consumo de combustíveis fósseis.

Em outro estudo, Kolhe, Ranaweera e Gunawardana (2015), investigaram a otimização tecnoeconômica de um SH composto por painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, gerador diesel, conjunto de baterias e inversores. Primeiramente, o sistema foi avaliado sem estar conectado a rede (*off grid*) nos primeiros 10 anos e, posteriormente avaliaram o impacto econômico de conectá-lo a rede de distribuição do 11° ao 20° ano. Concluíram que o custo da energia é de \$ 0,34/kWh para o sistema operando *off grid*, variando \$ 0,10/kWh de acordo com as oscilações na velocidade do vento e, as variações de custo causadas pela diferença de radiação solar (de 4 para 5 kWh/m<sup>2</sup>/dia) podem ser negligenciadas. Quando o sistema passa a ser conectado a rede no 11°ano, o custo da energia é de \$ 0,30/kWh. O custo inicial do capital é de \$ 296.000,00 e o VPL de \$ 553.000,00.

D'Rozario *et al.* (2015), simularam um sistema de geração elétrica composto por painéis solares, conjunto de baterias e conversores (total de 3 kW), além de 4 geradores a biogás de 4,2 kW, eficiência de 83 % e consumo de 2,5 m<sup>3</sup> de biogás por hora. Em primeiro momento, avaliaram o sistema *off grid* e, posteriormente com participação de 5 e 10 % de energia proveniente do sistema de distribuição. Obtiveram resultado de \$ 0,242/kWh quando não conectado e, \$ 0,191 e \$ 0,189/kWh quando operado com 5 % e 10 % respectivamente, de energia proveniente da rede. Conseguiram reduzir de 3 kW para 2 kW a necessidade de energia solar, reduzindo por consequência o custo do sistema. Quanto aos impactos ambientais, houve redução de lançamento de 49,8 kg/a de CO<sub>2</sub>, 16,7 kg/a de NO<sub>x</sub>, além de 1,8 kg/a de CO, 0,2 kg de hidrocarbonetos de combustão incompleta e 0,14 kg de material particulado. Para instalação do sistema há necessidade de aplicação de \$ 26.000,00 e, custo fixo de \$ 48.000,00 para vida útil de 30 anos.

Na Nigéria, com utilização de energia solar, eólica e geradores a diesel, Olatimiwa *et al.* (2015), analisaram a viabilidade de SHs em 6 diferentes localidades rurais, visando aplicação dos resultados em outras áreas remotas cujas características sejam similares. O VPL analisado quando o preço do diesel é de \$1,1 foi de \$ 229.941,00 com COE de \$ 0,547/kWh. Quando analisado o preço do diesel

a \$ 1,3 houve aumento do VPL para \$ 249.318,00, o que resultou em aumento do COE para \$ 0,593/kWh.

No Paquistão, Raheem *et al.* (2015), avaliaram a geração de energia a partir de turbinas eólicas em conjunto com gerador a biogás proveniente de biodigestão anaeróbia a ser utilizado como complemento para incertezas de geração eólica. Observaram que o sistema operando *off grid* é capaz de suprir a demanda da comunidade cujo consumo é de 60 kW em horário de pico. O sistema eólico/biomassa apresentou custo inicial de \$ 97.400,00, COE de \$ 0,118/kWh enquanto outro sistema eólico/biomassa/diesel apresenta custo inicial de \$ 183.850,00 e COE de \$0,202/kWh.

Em Bangladesh, para eletrificação de uma pequena ilha com população de 11.000 pessoas, Hossain, Barua e Matin (2015), confrontaram a utilização de SH composto por energia solar, eólica e biomassa com um sistema onde incluíram geradores a diesel para comparar os impactos econômicos e ambientais. Concluíram que a utilização da energia solar, eólica e geradores a biogás formam a configuração mais viável em termos econômicos e ambientais, alcançando a redução de 3.422 t na emissão de CO<sub>2</sub>.

Bhatt e Kaushik (2015), estudaram um SH solar/biogás/diesel proposto afim de suprir a demanda elétrica da Universidade *Graphic Era University* localizada em uma região predominantemente montanhosa com 65 % do solo coberto por florestas. Obtiveram VPL de \$ 499.224,00 e COE de \$ 1.902/kWh. Os autores destacam a baixa disponibilidade de recursos renováveis onde o biogás apresenta baixa capacidade calorífica e baixas taxas de conversão, resultando em elevado COE.

Para eletrificação de um vilarejo remoto Eseosa e Enefiok (2015), propuseram um SH associando energia solar e gerador a diesel. A proposta foi modelada avaliando o padrão de carga em diferentes estações do ano. A solução obtida mostra que o uso de sistemas de energia híbridos descentralizados em um local *off grid* é a melhor alternativa frente a necessidade de extensão da rede. Além disso, é sustentável, tecnicamente viável e ambientalmente correta. O menor VPL (\$1,357,033) foi utilizado como um parâmetro para medir a viabilidade e do projeto onde a combinação entre solar/diesel são capazes de suprir a demanda da comunidade estudada ainda que o COE seja relativamente elevado (\$ 4,096).

Frente ao corte de energia da rede diário de 3 a 4 horas em uma universidade com aproximadamente 7.000 estudantes, Kumar, Pal e Kumar (2015), analisaram um SH conectado a rede composto por energia solar, biomassa (biogás de resíduos alimentícios) e geradores a diesel. O estudo objetiva a redução do tempo de funcionamento dos geradores a diesel e consequente minimização dos custos vinculados. A melhor configuração de sistema conta com 3 geradores a diesel, um gerador a biogás e painéis fotovoltaicos somando VPL de \$ 925.971,00 tendo COE de \$ 0,14.

Abdulah, Matlokotsi e Chowdhury (2016), avaliaram a viabilidade técnica e econômica de um sistema composto por captação de energia solar e biomassa (resíduos agrícolas, resíduos de esgotamento sanitário e resíduos animais) como fonte primária. Utilizaram a gaseificação em uma planta de biodigestão de 19,5 m<sup>3</sup>. Com relativamente baixo Valor Presente Líquido (\$ 29.247,00) obtiveram custo de \$ 0,157/kWh. Concluíram que o SH solar/biomassa com sistema de armazenamento (baterias) é o que apresenta maior viabilidade técnica e econômica.

Bhatt, Sharma e Saini (2016), na Índia, avaliaram a viabilidade de instalação de um sistema híbrido composto por uma pequena central hidrelétrica (PCH) associada a captação de energia solar além do uso da biomassa e o compararam a outro sistema híbrido composto por gerador a biogás, gerador a diesel e conjunto de baterias para eletrificação de vilarejos desprovidos de rede elétrica. Consideraram como melhor alternativa a que resultou em menor COE (\$ 0,197) e que apresenta os menores impactos ambientais, ou seja, a menor emissão de carbono (15,93 t/ano).

Leon *et al.* (2016), avaliam a viabilidade econômica para eletrificação rural em Bangladesh propondo para isto um SH solar/biogás/diesel para operação *off grid*. Obtiveram como resultado a necessidade de investimento inicial de \$ 180.906,00 para suprir a demanda anual de 261.866 kWh a um COE de \$ 0,26/kWh.

Avaliando a integração de utilização de fontes renováveis de energia (solar/eólica/biogás) para atender a demanda energética de uma estação de tratamento de águas residuais que opera em sistema convencional de lodo ativado e, considerando a possibilidade de inclusão de um biorreator de membranas, Brandoni e Bošnjaković (2016), identificaram a combinação ótima de fontes renováveis. Os autores mostram que os investimentos nessas fontes de energia para a área de estudo (Etiópia – África subsaariana) são rentáveis se considerado o custo real da eletricidade e a média diária de racionamento de energia. A integração

entre painéis fotovoltaicos, turbina eólica e de um motor de combustão interna alimentado por biogás pode suprir entre 33% e 55% da demanda por eletricidade da instalação básica tratamento de águas residuais, a um custo de energia nivelado inferior ao verdadeiro custo de eletricidade. No caso da reutilização da água, as soluções tecnicamente viáveis identificadas podem suprir 13% das necessidades energéticas. Esta baixa percentagem está associada a elevada demanda energética necessária para o tratamento da água e aos elevados custos de investimento em fontes renováveis. Ainda assim, as soluções propostas podem fornecer uma grande contribuição para a segurança sociopolítica, tanto em contextos domésticos como transfronteiriços. No entanto, para a tarifa de energia adquirida da rede a \$ 0,04/kWh o investimento em energias renováveis não é viável.

#### 4 DIRETRIZES LEGAIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

Para construção e localização do biodigestor é necessário obedecer algumas especificações técnicas e leis federais, estaduais e municipais devem ser observadas desde a elaboração do projeto, a fim de evitar a poluição de recursos hídricos, aproveitar o potencial fertilizante dos dejetos para utilização na agricultura, evitar a contaminação da cadeia alimentar, conservar o solo, minimizar a poluição do ar e garantir o bem estar do empreendedor e da vizinhança. Estas normas podem ser encontradas em: “Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à suinocultura” (FEPAM, 2014).

No que tange a geração de energia, através da Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012 (ANEEL, 2012), é regulamentada a compensação de energia elétrica. Esta Resolução traz informações relevantes e “estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências”.

Pontualmente a resolução traz informações de interesse para a geração de energia elétrica em propriedades rurais a partir de fontes renováveis tais como: hídrica, eólica, solar e biomassa, onde, segundo a ANEEL, micro geradores devem conter potência instalada menor ou igual a 75 kW e, os mini geradores devem possuir capacidade instalada entre 76 kW e 3 MW para fontes hídricas e entre 76 kW e 5 MW para cogeração qualificada.

Quanto ao sistema de compensação de energia elétrica a referida Resolução define:

[...] sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com micro geração ou mini geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa.

No que tange empreendimentos com diversas unidades consumidoras para fins de compensação:

caracteriza-se pela utilização individual da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade

do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com micro geração ou mini geração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento;

#### Da geração compartilhada:

caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com micro geração ou mini geração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada.

Em caso de haver geração de energia elétrica excedente, a compensação pode ocorrer por autoconsumo remoto, o qual se caracteriza por unidades consumidoras inscritas sob a mesma titularidade, válido para pessoa física ou jurídica cujas unidades consumidoras com micro ou mini geração estejam em locais diferentes do local onde ocorre a compensação, desde que na mesma área de concessão, ficando dispensada a necessidade de contratos para participantes dos sistemas de compensação, sendo suficiente a emissão por parte da Distribuidora do Relacionamento Operacional para a micro geração e a celebração do Acordo Operativo para a mini geração.

Possibilita-se a adesão ao sistema de compensação, os consumidores responsáveis por unidade consumidora com micro ou mini geração distribuída, integrante de empreendimento com mais de uma unidade consumidora ou ainda onde se configura a geração compartilhada ou autoconsumo remoto. Esta compensação da energia excedente, cedida por empréstimo gratuito à distribuidora, tem prazo de 60 meses para ser consumida, onde, o faturamento por parte da distribuidora deve considerar a energia consumida, deduzida da energia gerada e eventual crédito acumulado de faturamentos anteriores, observados os horários em que ocorrem os excedentes. Por exemplo, se há excedente em horários considerados de ponta, a dedução do consumo deve ser realizada em horários de ponta, exceto quando os créditos forem utilizados em unidade consumidora diferente daquela em que há a geração.

## 5 METODOLOGIA

Neste capítulo será descrito o procedimento adotado para alcançar os resultados.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia experimental utilizada para a realização deste trabalho é composta parcialmente por quatro municípios: Serafina Correa, Montauri, União da Serra e Guaporé, localizados no sítio hidrológico do rio Guaporé, na região do médio Taquari-Antas, no nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Esta bacia hidrográfica foi definida com base nas características de uso e cobertura do solo, pedologia, hidrografia, hipsometria, clinografia, pontos de localização e capacidade instalada de animais, plotados em uma única base. Nos municípios, as informações acerca dos rebanhos foram obtidas junto ao setor de licenciamento ambiental das prefeituras municipais. Na Figura 5 visualiza-se a Bacia Experimental e a localização dos suinocultores de acordo com o relevo da região. Este mapa permite a verificação da possibilidade de formação de *clusters*<sup>6</sup> para o tratamento dos dejetos.

De acordo com Schneider, Zanoni e Carra (2016), há na bacia experimental a possibilidade de formação de seis coletivos para tratamento dos dejetos e estes coletivos aloca 8.660 animais em cada lote produzido, estando divididos em diferentes fases de criação, sendo a fase de terminação a mais significativa. Neste estudo será abordado o maior *cluster* (*cluster* número 2, Figura 5) cuja distribuição dos animais conforme a fase de criação pode ser visualizada na Tabela 1.

Conforme apresentado na Tabela 2 o coletivo abordado neste estudo abriga 2.900 animais por lote, o que resulta anualmente em 11.136 animais para a fase de terminação. Abriga também 50 matrizes e 1.560 animais em fase de ciclo completo, ou seja, criados durante todo o processo na mesma propriedade. Os dejetos provenientes destes suínos tem capacidade de gerar 368.603 m<sup>3</sup> de biogás por ano

---

<sup>6</sup> Um *cluster* é uma concentração geográfica de qualquer companhia de um mesmo ramo de atividade, podendo ser expandido em canais de distribuição, compradores, produtores e outros que estejam relacionados por aptidão. Sendo assim, o conceito de *cluster* pode ser aplicado também na agricultura e na indústria a ela ligada (SANTANA, 2010). De acordo com Schneider *et al.*(2014), este conceito pode ser aplicado também na suinocultura visando o tratamento dos dejetos e produção de energia contribuindo para a redução do impacto ao ambiente fortalecendo assim a sustentabilidade.

(aproximadamente 1.010 m<sup>3</sup> de biogás por dia), quantidade suficiente para geração de aproximadamente 339.100 kWh (929 kW/d) em igual período. Ressalta-se que a possibilidade de formação destes sistemas coletivos, a quantidade de animais alcançados em cada sistema e, a quantificação da geração de biogás já foram definidos por Zanoni (2015), portanto, para a abordagem atual, parte-se das informações contidas no referido estudo.

Tabela 2 – Quantidade de animais por fase de criação no *cluster* avaliado

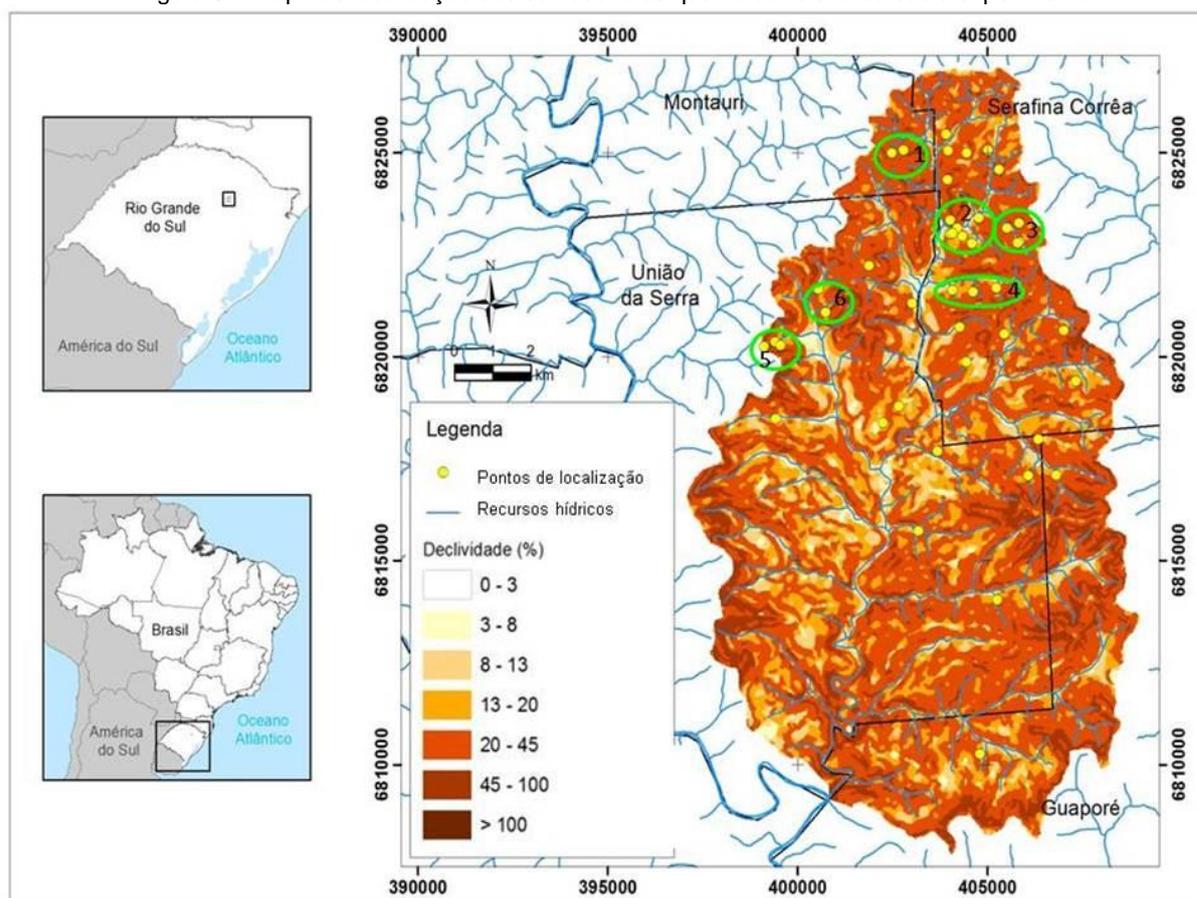
Fase	Número de animais por lote	Número de lotes por ano	Total
Matrizes	50	1	50
Ciclo completo*	1560	1	1560
Terminação**	2.900	3,84	11.136

Adaptado de Zanoni *et al.* (2017)

\* Correspondem ao ciclo completo os animais que permanecem na mesma propriedade durante as fases de creche e terminação.

\*\* Número de animais em um lote. Para obter a quantidade de animais criados em um ano, multiplica-se por 3,84 lotes.

Figura 5 – Mapa de localização dos suinocultores quanto ao relevo da bacia experimental



Fonte: Elaborado por Dos Santos (2015) adaptado de Schneider (2011)

Para determinação da localização do sistema biodigestor e geradores de eletricidade foi escolhido o local mais baixo, ou seja, com a menor cota, de tal forma

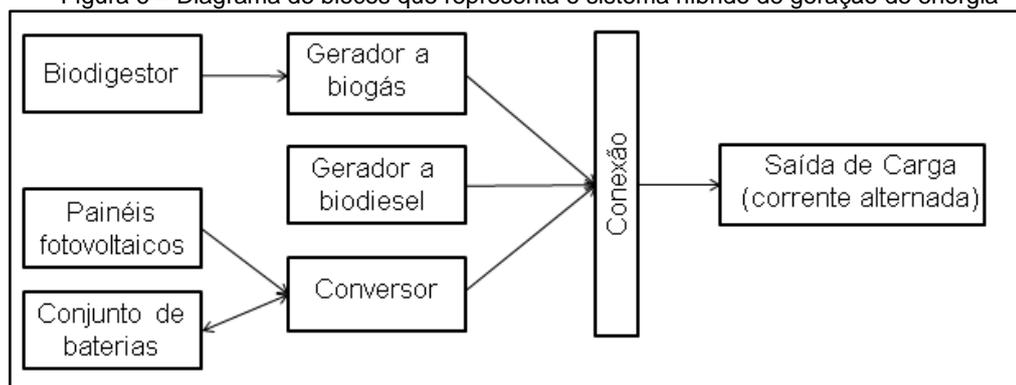
que o transporte dos dejetos provenientes dos galpões de criação sejam conduzidos até o biodigestor utilizando apenas a gravidade como força motriz.

Dados climáticos (irradiação solar e temperatura média mensal) foram obtidos *on-line* diretamente pelo *software* e, o valor comercial dos componentes foram alcançados de fabricantes e/ou representantes comerciais.

## 5.2 DESCRIÇÃO DE EQUIPAMENTOS

O sistema híbrido de geração de eletricidade e a seleção de equipamentos ocorrem de acordo com as fontes geradoras de energia, porém, consiste basicamente de biodigestor, necessário para produção de biogás utilizado como combustível, gerador a biogás, gerador a diesel/biodiesel, placas fotovoltaicas, conversor e, opcional, conjunto de baterias. A Figura 6 esquematiza os equipamentos que formam o sistema.

Figura 6 – Diagrama de blocos que representa o sistema híbrido de geração de energia



Elaborado pelo autor (2016)

A otimização, dimensionamento, custos de depreciação, manutenção e reposição de equipamentos foram avaliados utilizando o *software* HOMER de modo a permitir a simulação de diversas combinações para o sistema gerador de eletricidade, sendo possível optar por conectá-lo ou não à rede de distribuição.

Para variações de “tamanho” dos equipamentos utiliza-se a caixa de busca. São adicionados diferentes equipamentos somente se for para avaliação de desempenho ou para comparar diferentes tecnologias.

### 5.2.1 Sistema Biodigestor

Optou-se pelo modelo canadense de biodigestor, modelo horizontal com sentido de fluxo tubular e baixo custo. Este se caracteriza por possuir base retangular construída de alvenaria revestida de geomembrana, com largura maior

que a profundidade e o gasômetro feito em manta flexível de PVC, fixa sobre uma valeta de água que circunda a base. A cobertura é feita com geomembrana sintética de polietileno de alta densidade (PEAD), ancorada por todo perímetro do biodigestor.

Para o dimensionamento do sistema de digestão anaeróbia considerou-se a produção média diária de dejetos de 5,6 kg/animal.dia (0,0056 m<sup>3</sup>/d) em fase de terminação (Zanoni, 2015) e utilizou-se o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de 30 dias conforme adotado por Souza *et al.* (2008) e, o cálculo do volume do biodigestor adaptado de Calza *et al.* (2015), conforme (1).

$$VB = VD.TRH.NA \quad (1)$$

Onde:

VB = volume do biodigestor (m<sup>3</sup>)

VD = volume diário de dejetos (m<sup>3</sup>/animal.d)

TRH = tempo de retenção hidráulica (d)

NA = número de animais

A localização do biodigestor foi definida de acordo com o local mais baixo, nas proximidades do ponto de localização 7, distante aproximadamente 230 metros do recurso hídrico, conforme Figura 7.

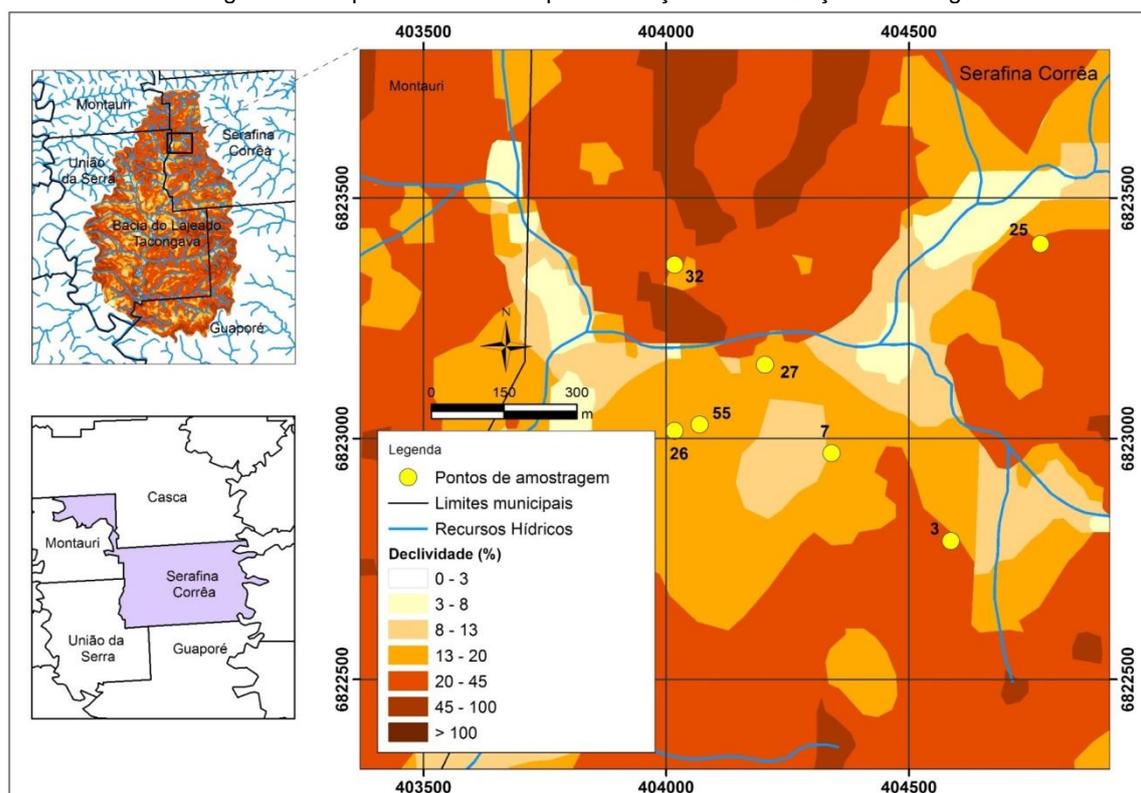
A alimentação do biodigestor ocorre por meio de condução dos resíduos por tubulação de PVC rígido branco, de diâmetro nominal de 100 mm enterrados a uma profundidade média de 0,70 m, conforme Pinotti (2008). Foram instalados postos de vista no decorrer da tubulação a fim de facilitar a manutenção.

Para os cálculos preliminares, adotou-se<sup>7</sup> custo estimado do biodigestor de R\$ 100.000,00, incluindo a tubulação de transporte dos dejetos e a instalação de todo sistema. Adotou-se vida útil de 10 anos e custos de operação e manutenção mensal de 1% do valor total, somando-se o valor total de operação e manutenção ao custo do biodigestor para cálculo do custo do biogás. Todos estes equipamentos constituem o custo do biogás a ser informado ao software para estimar as tarifas da energia gerada.

---

<sup>7</sup> Valor adotado, pois os orçamentos solicitados ainda não tiveram retorno.

Figura 7 – Mapa de declividade para definição da localização do biodigestor



Elaborado por Santos (2017)

Os dados referentes a valores do sistema de biodigestão compõem os custos do biogás, obtido através da Equação 2.

$$Cb = \frac{CB}{pb \cdot t} \quad (2)$$

Onde:

$C_b$  = custo do biogás (R\$/m<sup>3</sup>)

$CB$  = custo do biodigestor (incluindo tubulação para condução dos resíduos e todos os demais equipamentos que o compõe); (R\$)

$pb$  = produção de biogás (m<sup>3</sup>/ano)

$t$  = tempo de vida útil do biodigestor (anos)

Na Tabela 3 são apresentados o custo do biodigestor já acrescido do percentual referente à manutenção e operação, a geração de biogás em 10 anos e o respectivo custo do biogás. Nesta Tabela não é considerada a inflação.

Tabela 3 – Custo do biodigestor incluindo operação e manutenção no período de 10 anos

Custo total do conjunto biodigestor	Produção anual de biogás (m <sup>3</sup> )	Produção de biogás em 10 anos (m <sup>3</sup> )	Custo por m <sup>3</sup> de biogás
R\$ 220.000,00	368.603	3.686.030	R\$ 0,057

Conforme apresentado na Tabela 3 no período de vida útil considerado para o conjunto biodigestor, há produção de 3.686.030 m<sup>3</sup> de biogás ao preço de R\$ 0,057/m<sup>3</sup>.

A distância entre os galpões de criação varia de 280 a 600 metros, tendo como média aproximada de 405 metros, sendo necessários, portanto, 2.840 metros de tubulação de PVC rígido de 100 mm de diâmetro para condução dos resíduos. Estes dutos foram instalados a profundidade média de 0,7 m necessitando de abertura de vala com auxílio de retroescavadeira. Na Tabela 4 são descritos o custo por metro e o custo total da tubulação necessária.

Tabela 4 – Custo da tubulação para condução dos dejetos	
Custo por metro	Custo total
R\$ 7,69	<b>R\$ 21.839,60</b>

Fonte: Lojas Taqi (2017)

### 5.2.2 Geradores

Definiu-se a capacidade do gerador a biogás a partir da quantidade disponível de combustível. O consumo deste está acima da quantidade gerada de biogás, no entanto, contando as paradas para manutenção e a possibilidade de aumento na quantidade de resíduos conduzidos ao biodigestor, este equipamento pode operar ininterruptamente. A partir deste gerador, procurou-se oferecer quantidade similar de energia proveniente das demais fontes.

O gerador a biogás foi orçado junto à empresa ER-BR Energias Renováveis e Biocombustíveis. Optou-se por um grupo gerador com painel manual marca MWM 80 kVA/55kW com capacidade de geração líquida<sup>8</sup> de 36.300 kW/mês. Este gerador consome, segundo o fornecedor, 984 m<sup>3</sup>/d de biogás com concentração de 60% de metano e de 528 m<sup>3</sup>/d se a concentração for de 75%, operando 24 horas (*base load*). Este conjunto é configurado para utilizar todo biogás disponível. Além disso, poderá ser configurado para atender a algumas cargas prioritárias, pois na geração distribuída em caso de falta de energia da concessionária será automaticamente desligado para prevenção de acidentes e, através de manobra manual, poderá atender cargas predefinidas como, por exemplo, uma ou mais residências. Esta manobra manual é

<sup>8</sup> Limitado a 36.300 kW/mês operando em média 22 horas diárias, considerando-se paradas para manutenção preventiva e corretiva do equipamento. Adotou-se o mês de 30 dias.

também conhecida como manobra de ilhamento. O equipamento de proteção de geração distribuída consiste de um painel URP – 75 kWh (120 kVA).

Para remoção do H<sub>2</sub>S do biogás é necessária a utilização de um sistema de filtro TEKOLL BIOFILTR H<sub>2</sub>S MASTER 100, 1500 ppm (ER-BR Energias Renováveis e Biocombustíveis). Este equipamento é um cilindro de dimensões 1,6 m de altura e 0,45 m de diâmetro carregado com 100 kg de material adsorvente não regenerável e pode operar a vazão máxima de 70 m<sup>3</sup>/h, regulada por compressor radial de 5 CV. De acordo com o fornecedor, a duração esperada do material filtrante é de um ano considerando a máxima vazão e máxima concentração de H<sub>2</sub>S operando 24 h/d. A Tabela 5 traz os custos do conjunto gerador a biogás.

Tabela 5 – Custos de startup e equipamentos do gerador a biogás

Grupo gerador com painel manual (MWM)		Filtro – H <sub>2</sub> S 1500 PPM		Start UP	Painel de proteção URP	Operação e manutenção
Capacidade 80 kVA / 55 kWh	Custo R\$ 120.467,00	Modelo Master 100	Custo R\$17.700,00	R\$ 8.700,00	R\$ 53.700,00	R\$ 0,75/h

Fonte: ER-BR Energias Renováveis e Biocombustíveis (2017)

Conforme exposto na Tabela 5 o custo total dos equipamentos do conjunto gerador a biogás é de R\$ 200.567,00, ou seja, R\$ 3.646,67 por kW instalado e custo de operação e manutenção de R\$ 0,75/h.

O conjunto gerador a diesel/biodiesel foi cotado com a empresa Stemac e é formado por dois geradores Cummins modelo C20D6, 25 kVA – 20 kW. Optou-se pela versão aberta com dimensões de 1,71 m de comprimento, 0,71 m de largura e 1 m de altura com peso total de 665 kg, equipado com motor modelo X2.5G4. A capacidade de geração de energia deste conjunto é de 26.400 kWh/mês considerando operação de 22 horas diárias e mês de 30 dias. Este conjunto gerador será usado eventualmente para manter a quantidade de energia gerada em uma eventual escassez de biogás ou ainda em períodos nublados. O motor possui as seguintes características:

- injeção eletrônica;
- 4 tempos;
- turboalimentado e pós-arrefecido por intercooler ar-ar;
- refrigerado a água;

- 4 cilindros em linha, 12Vcc;
- possui alternador para carga de bateria;
- motor de partida e sistema de gerenciamento eletrônico para controle e monitoramento.

O gerador (*Standard* Automático) possui as seguintes características:

- modos de operação automático, manual e teste;
- partida automática através de falta ou falha da concessionária;
- retificador eletrônico automático para bateria de partida; • sistema de pré-aquecimento;
- chave de transferência por contatores eletromagnéticos e proteção por fusíveis NH até 330A, montada junto ao comando;
- quadro de comando montado junto ao gerador;
- controlador microprocessado.

Acompanham os seguintes acessórios:

- tanque de combustível de 100 L com kit de interligação;
- silenciador de absorção e segmento elástico em aço inoxidável;
- baterias chumbo-ácidas 12Vcc com cabos e terminais;
- amortecedores de vibração;
- conjunto de manuais técnicos.

A Tabela 6 expõe as informações de custo, consumo e operação e manutenção para um gerador.

Tabela 6 – Custos e consumo do gerador diesel

Gerador diesel	Valor unitário	Consumo		Operação e manutenção
		Stanby	Prime power	
C20D6, 25 kVA – 20 kW	R\$ 39.800,00	6,7 L/h	6,0 L/h	R\$ 1,00

Fonte: Stemac S/A Grupos Geradores (2017)

De acordo com a Tabela 6 o custo de cada gerador é de R\$ 39.800,00, ou seja, R\$ 1.990,00 por kW instalado e custo de operação e manutenção de R\$ 1,00 sem contar o consumo de combustível.

### 5.2.3 Painéis fotovoltaicos

Junto a empresa NEOSOLAR Energia foi orçado o sistema de captação de energia fotovoltaica, composto por painéis marca Yingly Solar com capacidade de 275 Wp (Watt pico) por painel, inversores Fronius de

60Hz e a tensão de saída pode ser 127 V ou 220 V. Os seguintes itens estão inclusos na cotação:

- kit gerador solar completo;
- material elétrico e acessórios;
- projeto e homologação junto à distribuidora;
- serviço de instalação;
- sistema de monitoramento *web* e *smartphone*;
- painel de isolamento.

Na Tabela 7 são apresentados dados dos painéis solares e o custo total de instalação destes equipamentos para 52,8 kWp.

Tabela 7 – Dados do sistema de captação de energia solar

Painéis	Potência total	Inversores Fronius	Área estimada	Tensão de saída
192 unidades de 275Wp (Yingly Solar)	52,80 kWp	2 unidades de 25 kW 1 unidade de 5 (kW)	326,40 m <sup>2</sup>	127/220 V
<b>Custo total dos equipamentos instalados</b>			<b>R\$ 323.686,40</b>	

Fonte: NEOSOLAR Energia (2017)

De acordo com a Tabela 7 o custo total de instalação dos painéis fotovoltaicos é de R\$ 323.686,40, ou seja, R\$ 6.130,41 por kW de capacidade instalada. Neste valor já estão inclusos todos os equipamentos necessários incluindo o inversor. Adotou-se custo de manutenção dos painéis de R\$ 31,50 (US\$ 10,00) por kWh/ano, conforme adotado por Sem e Bhattacharyya (2014).

#### 5.2.4 Conjunto de baterias

O banco de baterias orçado junto a empresa NEOSOLAR Energia (2017), composto por 40 unidades marca MOURA Clean modelo MF220 – 220 Ah (baterias estacionárias chumbo-ácido) é avaliado apenas para sistema *off grid*, ou seja, sistema isolado não conectado a rede de distribuição. Neste caso, o conjunto de baterias é necessário para armazenamento do excedente de energia, funcionando como geradores de reserva. No entanto, são caras, diminuem a eficiência geral do sistema e necessitam de substituição periódica (de acordo com o fabricante em média a cada 5 anos porém, depende basicamente do números de ciclos de carga e descarga, em média 1.800 ciclos), além de serem de difícil descarte. Não são

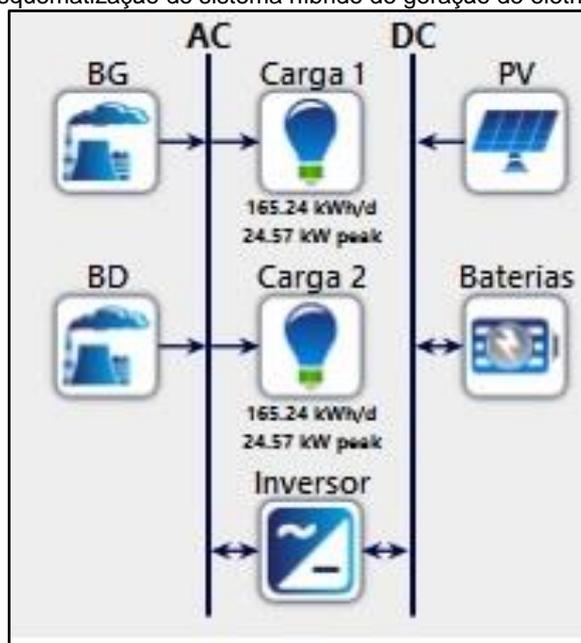
avaliadas no sistema *grid-tie*, pois neste caso a energia produzida é direcionada para distribuição. Cada bateria é adquirida por R\$ 1.099,00.

### 5.2.5 Combinação de equipamentos

Considerou-se a combinação das seguintes tecnologias: gerador a biogás, gerador a diesel/biodiesel e placas de captação de energia solar ligadas a um inversor e conjunto de baterias, além da demanda por energia. Esta combinação pode ser visualizada na Figura 8.

Note-se que o gerador a diesel/biodiesel (BD) e o gerador a biogás (BG) estão ligados diretamente à rede de abastecimento (Carga 1 e Carga 2), enquanto as células fotovoltaicas (PV) e o conjunto de baterias (1kWh LA) estão conectados a um conversor de corrente contínua para corrente alternada e só então a energia é direcionada à distribuição.

Figura 8 – Esquemática do sistema híbrido de geração de eletricidade *off grid*



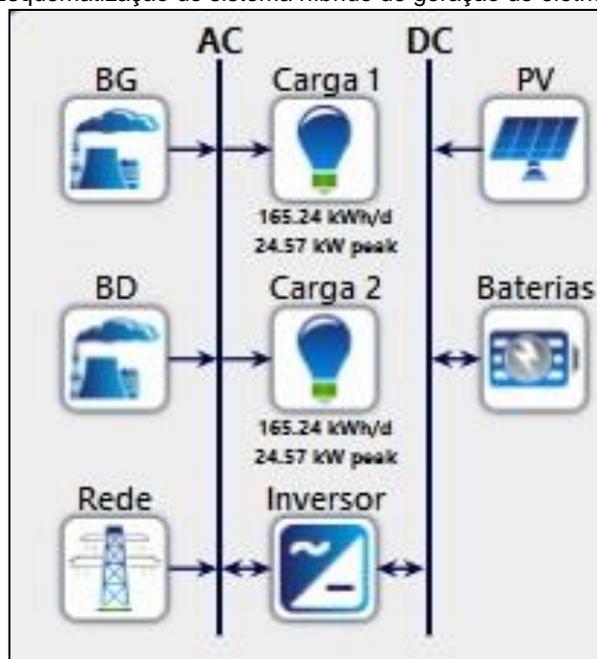
Elaborado pelo autor utilizando o software HOMER (2017)

Na Figura 9 é mostrada a combinação de equipamentos para o sistema *grid-tie*, ou seja, conectado à rede de distribuição.

Neste sistema os painéis fotovoltaicos (PV) estão conectados ao conversor, e este à rede e ao sistema de carga, enquanto os geradores a biogás (BG) e diesel/biodiesel (BD) estão conectados à rede (Grid) e ao sistema de carga. *Carga 1* e *Carga 2* são as cargas a serem atendidas pelo sistema. Neste caso não há

conjunto de baterias, pois em caso de excedente de energia, esta será inserida à rede de distribuição.

Figura 9 – Esquemática do sistema híbrido de geração de eletricidade *grid-tie*



Elaborado pelo autor utilizando o software HOMER (2017)

### 5.3 DADOS INFORMADOS AO PROGRAMA

Ao abrir um arquivo ou iniciar um novo projeto, HOMER exibe a página inicial onde é possível exibir e editar dados que descrevem o projeto, incluindo o autor, o título e a descrição do projeto. Também pode-se atribuir um local para o projeto no mapa, facilitando o acesso a dados climáticos e de radiação solar, utilizados para elaboração de projeto de energia solar, eólica ou ainda sobre possíveis implicações no uso da biomassa como fonte de energia. Na página inicial também são informados: taxa de desconto, inflação, capacidade anual de armazenamento de energia e o período de avaliação do projeto. Os dados informados nesta etapa estão apresentados na Tabela 8.

Taxa de desconto (%)	Inflação (%)	Capacidade de armazenamento	Período de avaliação (anos)	Coordenadas geográficas	
8	7	0,00	10,0	28°43'10"	51°58'46"

Fonte: elaborado pelo autor

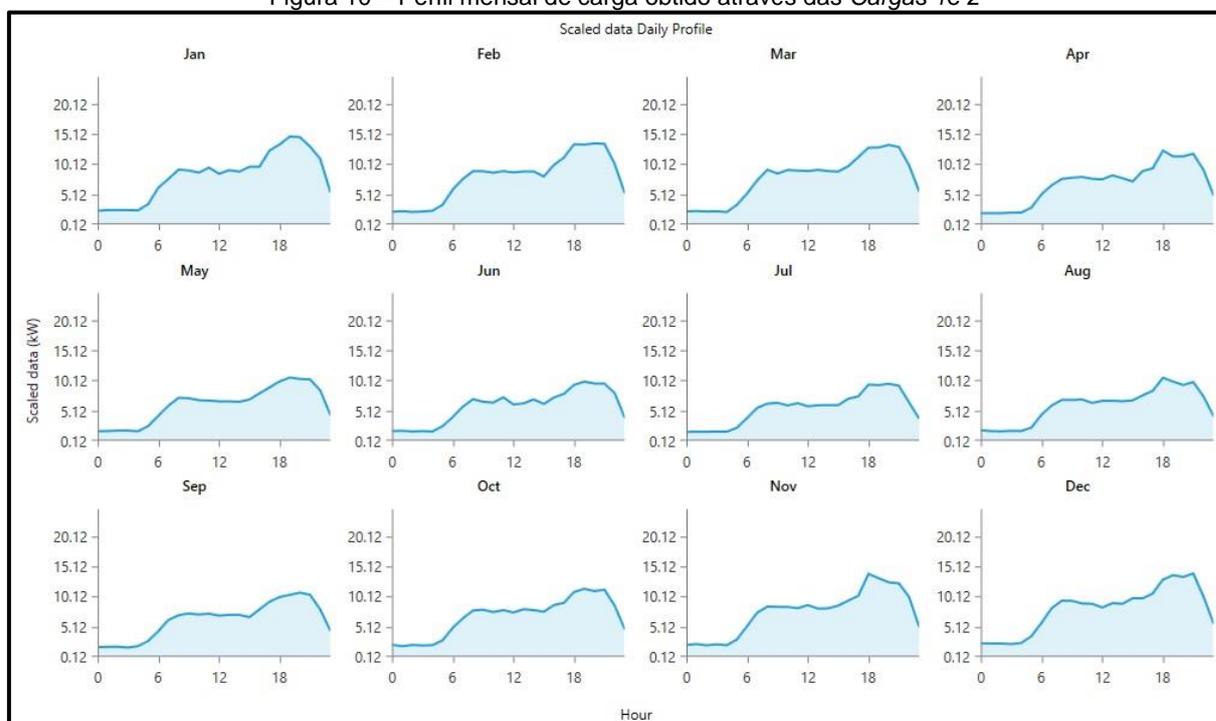
#### 5.3.1 Perfil de carga

Foi definido o perfil de carga 1 e 2 (Carga 1 e Carga 2) onde é determinado o tipo de corrente (corrente alternada – AC) a demanda média para cada mês resumido em 24 horas (Figura 11) não diferindo entre dias úteis e finais de semana

porém, há essa possibilidade<sup>9</sup>. No perfil de carga insere-se também o percentual de variação randômica que é uma perturbação na forma do perfil de carga, tornando-a mais realista, variando de um dia para outro com variabilidade aleatória, igual ao desvio padrão definido como valor de entrada, porém sem afetar o “tamanho”. Há ainda escala média anual tendo como base o maior consumo diário e o mês de maior consumo (pico).

Pode-se também especificar a eficiência avançada. A eficiência avançada é a substituição de utensílios como lâmpadas ou eletrodomésticos os quais reduzem a demanda por energia, no entanto, tem custo elevado.

Figura 10 – Perfil mensal de carga obtido através das *Cargas 1 e 2*



Elaborado pelo autor através do *software HOMER*

Os perfis de carga, *Carga 1* e *Carga 2* são idênticos e foram inseridos para que representem a demanda diária aproximada de energia. É possível observar na Figura 11 que o horário de maior consumo compreende o intervalo entre 17:00 e 21:00 e, o intervalo de menor consumo ocorre entre 00:00 e 5:00 em todos os meses. Na Tabela 9 são apresentados os dados informados ao programa no perfil de carga.

<sup>9</sup> Optou-se pela não diferenciação de carga entre dias úteis e finais de semana devido a falta de dados. Estes dados para compor o perfil de carga foram solicitados à empresa distribuidora (RGE – CPFL energia) que ainda não retornou.

Tabela 9 – Dados informados ao programa no perfil de carga

Mês de maior consumo	Janeiro
% de variação aleatória diária	10 %
% de variação no tempo	20 %
Escala média anual	165,24 kWh/d

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do *software* HOMER

### 5.3.2 Geradores

Adicionaram-se geradores genéricos de corrente alternada e foram determinadas as condições de funcionamento, custo, capacidade (kW), diferentes tamanhos em kW (para otimização, valores inseridos na caixa de busca), custos de reposição, operação e manutenção (O&M). Para cada um foram especificados os tipos de combustível onde o *software* já trás a capacidade calorífica mínima (MJ/kg), densidade (kg/m<sup>3</sup>), percentual de carbono e de enxofre. Além disso, informam-se os custos do combustível (quantos forem desejados), limite de consumo, curva de consumo de acordo com a quantidade de energia produzida, emissões de CO<sub>2</sub>, manutenção (procedimento, intervalo de tempo, tipo de manutenção, período de inatividade e custos) e, os horários em que os geradores são ativados, desativados ou ainda otimizados, sendo possível especificar se isto ocorre durante toda a semana, dias úteis ou finais de semana. São informados ainda, o mínimo de carga para ativação, ou seja, para que um conjunto seja ativado, qual deve ser a demanda mínima de sua capacidade total, o período mínimo em que deve permanecer em funcionamento e a vida útil do sistema.

Para o gerador a biogás foram inseridos os dados da Tabela 10.

Tabela 10 – Dados inseridos referentes ao gerador a biogás

Capacidade (kW)	Custo por kW	Reposição		O&M	Caixa de busca (kW)		
1	R\$ 3.646,67	R\$ 3.646,67		R\$ 0,75	0	25	55
Carga mínima de acionamento	Vida útil (h)	Custo do combustível (R\$/m <sup>3</sup> )		Período mínimo de funcionamento (minutos)			
30 %	87.600	0,057	0,1134	600			

Fonte: Elaborado pelo autor

Além destes dados informou-se ao *software* o combustível a ser utilizado (biogás) e, os valores deste entram como variáveis de sensibilidade. Na curva de combustível foram inseridos valores de consumo por quantidade de energia gerada, capacidade de referência do gerador, coeficiente de intercepto e a declividade da curva de combustível. Os valores estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11 – Curva de combustível

Curva de combustível			Capacidade de referência (kW)	Coeficiente de intercepto m <sup>3</sup> /h/kW avaliado	Declividade m <sup>3</sup> /h/kW de saída
Saída (kW)	55	10			
Consumo	41	40	55	0,7232	0,0222

Fonte: Elaborado pelo autor

Na aba emissões foram adicionados os valores de emissões provenientes da combustão do biogás, conforme Tabela 11.

Tabela 12 – Valores de emissões resultantes da combustão do biogás

CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> de combustível)	Hidrocarbonetos de combustão incompleta (g/m <sup>3</sup> )	Material particulado g/m <sup>3</sup>	% de enxofre convertido em H <sub>2</sub> S	NO <sub>x</sub> g/m <sup>3</sup>
6,5	0,72	0,49	2,2	0,06

Fonte: Elaborado pelo autor

Em cronograma há possibilidade de selecionar o modo de operação do equipamento, optando entre forçado ligado, forçado desligado e otimizado para os horários compreendidos entre 00:00 e 23:59 em todos os meses do ano, podendo diferenciar entre a semana inteira, dias úteis e finais de semana. Neste caso, optou-se por manter o equipamento forçado ligado durante toda a semana.

Para o gerador diesel foram inseridos os dados apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Dados inseridos para o gerador diesel/biodiesel

Capacidade (kW)	Custo por kW	Reposição			O&M	Caixa de busca (kW)		
1	R\$ 1.990,00	R\$ 0,00			R\$ 1,74	0	20	40
Carga mínima de acionamento	Vida útil (h)	Custo do combustível (R\$/L)			Período mínimo de funcionamento (minutos)	Limite de consumo (L)		
25 %	87.600	2,70	2,85	3,00	180	1.000		

Fonte: Elaborado pelo autor

Na curva de combustível foram inseridos valores de consumo por quantidade de energia gerada, capacidade de referência do gerador, coeficiente de intercepto e a declividade da curva de combustível. Os valores estão descritos na Tabela 14.

Tabela 14 – Curva de combustível para gerador diesel/biodiesel

Curva de combustível			Capacidade de referência (kW)	Coeficiente de intercepto m <sup>3</sup> /h/kW avaliado	Declividade m <sup>3</sup> /h/kW de saída
Saída (kW)	20	40			
Consumo (L)	6,7	13,4	40	0,000	0,3350

Fonte: Elaborado pelo autor

Na aba emissões foram adicionados os valores de emissões provenientes da combustão do biogás, conforme Tabela 15.

Tabela 15 – Valores de emissões resultantes da combustão do diesel

CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> de combustível)	Hidrocarbonetos de combustão incompleta (g/m <sup>3</sup> )	Material particulado	% de enxofre convertido em H <sub>2</sub> S	NO <sub>x</sub>
6,5	0,72	0,49	2,2	58

Fonte: Elaborado pelo autor

Em cronograma, optou-se por forçado desligado em todos os horários e todos os meses do ano de tal forma que a demanda por energia seja suprida preferencialmente pelo uso do biogás e painéis solares.

### 5.3.3 Painéis fotovoltaicos

Foram adicionados ao sistema painéis solares genéricos e especificados os custos de capital, reposição e operação além da capacidade de geração elétrica de cada painel. Na caixa de busca informou-se ao programa o tamanho pretendido em kW. Os valores inseridos estão descritos na Tabela 16.

Cada painel solar tem capacidade de captação de 275 Wp (Watt pico), e o custo para instalação de 1 kW é de R\$ 5.165,28 com manutenção de R\$ 10,00 por ano. A capacidade avaliada é de 0, 5, 13,75, 27,5, 55, 110... 330 e 350 kW, variando com vida útil do projeto de 25 anos, conforme especificação do fornecedor.

Tabela 16 – Dados informados ao programa referentes aos painéis solares

Capacidade por painel (kWp)	Custo por kW	Reposição	O&M/ano	Caixa de busca (kW)			Vida útil (anos)
				0	...	350	
0,275	R\$ 5.165,28	R\$ 0,00	R\$ 10,00	0	...	350	25

Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.3.4 Conjunto de baterias

Para o banco de baterias foram informados ao programa: quantidade, custo unitário, custo de reposição, operação e manutenção, período de vida útil, taxa de transferência de descarga (kWh), estado de carga inicial e estado mínimo de carga. Além disso, pode-se considerar para a manutenção, o procedimento, custo, tempo de inatividade e intervalo entre manutenções. A Tabela 17 apresenta os dados referentes ao conjunto de baterias.

Tabela 17 – Dados referentes ao conjunto de baterias

Quantidade	Custo capital	Reposição	O&M/ano	Caixa de busca (kW)				Vida útil (anos)
				0	20	40	80	
40	R\$ 43.960,00	R\$ 0,00	R\$ 10,00	0	20	40	80	5

Fonte: Elaborado pelo autor

A carga inicial do conjunto de baterias é de 100% e a carga mínima especificada no *software* é de 30%, ou seja, ao atingir a carga mínima o conjunto de baterias para de fornecer energia ao sistema.

### 5.3.5 Inversor

São informados ao programa a capacidade, custos de capital, reposição e manutenção. Dados como vida útil e eficiência do inversor e, eficiência e capacidade do retificador também são informados. Na Tabela 18 são apresentados os dados referentes ao inversor, para 1 kW.

Tabela 18 – Dados referentes ao inversor de frequência

Capacidade	Custo capital	Reposição	O&M/ano	Caixa de busca (kW)			Vida útil (anos)	Eficiência
				0	25	55		
1	R\$ 794,88	R\$ 0,00	R\$ 10,00	0	25	55	15	97%

Fonte: Elaborado pelo autor

O inversor de corrente está ligado em paralelo com os geradores onde a capacidade relativa é de 100% e a eficiência assumida é de 85%.

### 5.3.6 Rede

Para a avaliação *grid-tie* a rede elétrica foi adicionada, sendo possível optar entre taxas simples, taxas em tempo real, taxas programadas e extensão da rede. Neste trabalho optou-se pela extensão de rede onde foram inseridos o custo de extensão (\$/km), operação e manutenção (\$/a/km) e o preço de compra de energia da rede. No caso da avaliação *off grid* a extensão de rede foi removida. Optou-se por taxas simples onde o preço de compra e de venda de energia é de R\$ 0,60.

A análise dos resultados fornecidos pelo recurso computacional foi realizada a partir dos dados exportados em forma de planilhas e gráficos.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo estão apresentados na forma de dois artigos, encaminhados para publicação e apresentados em apêndice.

### 6.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE AMBIENTAL DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Este artigo foi submetido e publicado nos anais do 6° Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente – FIEMA 2018 – sob referência Zanoni, N. Schneider, V. E. **Análise de viabilidade ambiental de implantação de um sistema híbrido para geração de energia elétrica**. Bento Gonçalves, FIEMA 2018. Este trabalho objetivou, através de simulações com o *software* HOMER, avaliar os impactos ambientais, positivos ou negativos no que tange emissões atmosféricas e as configurações do sistema.

Sob aspecto ambiental, a melhor configuração é a que gera aproximadamente 49% de energia proveniente do biogás e 51% de energia proveniente de painéis solares, cuja capacidade instalada é de 330 kW. Nesta configuração, observasse redução na emissão de CO<sub>2</sub> na ordem de 291,4 t/ano, H<sub>2</sub>S na ordem de 1,9 t/ano, NO<sub>x</sub> ocorre redução de 0,5 t/ano, CO e material particulado apresentam pouca variação de emissões.

Para o estudo realizado com o *software* HOMER, a possibilidade de simulação de diferentes configurações sob ponto de vista ambiental, evidencia que a combinação de fontes geradoras de energia pode ser uma alternativa viável e ambientalmente mais eficiente frente a possibilidade de economia de combustíveis fósseis e garantindo uma confiável fonte de energia.

O artigo é apresentado na íntegra no Apêndice I e, o certificado no Apêndice I.I

### 6.2 ANALYSIS OF DIFERENT SETTINGS OF A HYBRID GENERATION SYSTEM – ABSTRACT

Neste resumo são apresentados os resultados referentes à viabilidade econômica de implantação do sistema híbrido de geração de energia. O resumo foi submetido ao 7th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY FROM BIOMASS

AND WASTE – Venice 2018. Esta síntese foi aceita para apresentação oral no evento que ocorrerá entre os dias 15 e 18 de outubro de 2018. Resumo apresentado na íntegra no Apêndice III.

### **6.2.1 Acceptance Therme**

E-mail de aceite do resumo submetido ao 7th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY FROM BIOMASS AND WASTE – Venice 2018, apresentado no Apêndice IV.

### **6.2.2 Analysis of deferent settings of a hybrid generation system - Full paper**

Artigo completo submetido ao 7th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY FROM BIOMASS AND WASTE – Venice 2018, encontra-se em análise junto aos membros do *International Advisory Board and the Executive Programme Committee*. Artigo apresentado no Apêndice V. A referência para citação deste artigo está apresentada a seguir:

ZANONI, N.; SHNEIDER, V. E.; BORTOLIN, T. A.; CARRA, S. H. Z.. **Analysis of deferent settings of a hybrid generation system**. in: 7th International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Venice, 2018.

Neste artigo apresentam-se os resultados referentes a configuração do SH, obtidos através do *software* HOMER e trata dos aspectos de viabilidade técnica e econômica das simulações realizadas.

A configuração ideal da estrutura do sistema híbrido consiste na geração elétrica a partir de painéis fotovoltaicos com 172,4 kW, gerador de biogás de 55 kW e inversor de 110 kW. Nesse cenário, o capital inicial é de R \$ 1.150.055,00, o custo presente líquido é de R \$ 1.150.003,00 e o custo de energia (COE) é de R \$ 0,22. Este sistema é capaz de gerar 681,078 kW/ano, mostrando-se uma fonte confiável de suprimento de energia.

## 7 CONCLUSÃO

As avaliações realizadas para elaboração deste estudo permitiram:

- definir a melhor localização do sistema biodigestor de uso comum para o tratamento dos efluentes produzidos nas propriedades analisadas;
- dimensionar o biodigestor cuja capacidade deve dar suporte ao tratamento dos resíduos de todas as propriedades em questão além de fornecer uma estimativa de custos de instalação, operação e manutenção, o que possibilita calcular o custo por m<sup>3</sup> de biogás produzido, fator que impacta diretamente no custo da energia elétrica;
- a quantificação de biogás, possibilitou a especificação do gerador a biogás, bem como seu dimensionamento, de modo a consumir todo o combustível (biogás) disponível;

No que tange os cálculos de otimização do sistema híbrido para geração de energia elétrica, através do *software* HOMER, comportaram dimensionar os equipamentos necessários visando a economia de combustíveis fósseis e, demonstram qual melhor forma de uso dos recursos frente a demanda do sistema, tornando o sistema mais vantajoso do que produzir a energia utilizando somente combustíveis fósseis.

Utilizar painéis fotovoltaicos para captação de energia solar favorece a redução do custo da energia produzida, porém ocorre o aumento do capital de investimento inicial do projeto, fator que deve ser considerado na elaboração do projeto, uma vez que dificilmente haja disponibilidade de todo recurso financeiro necessário.

A busca por formas alternativas e viáveis e confiáveis de fornecimento de energia resultou em uma combinação de gerador a biogás e painéis solares, que fornecem energia a um custo de R\$ 0,22/kWh. Dada a disponibilidade de biogás, e a captação de energia solar, a geração anual de energia é de 681,078 kW, estando divididos em aproximadamente 50% para cada fonte. Entretanto, a produção de biogás deve ser testada e, se necessário, inserir no biodigestor um sistema de aquecimento a ser utilizado quando a temperatura interna do biodigestor estiver abaixo do adequado. Este sistema de aquecimento pode ser alimentado com o próprio biogás produzido no biodigestor.

O SH poderia ter maior capacidade instalada de energia solar, o que baixa o custo da energia produzida, por outro lado, aumenta o capital de investimento inicial. Em caso de redução da capacidade solar, o que baixa o valor de investimento inicial, ocorre o aumento do custo da energia, portanto, selecionou-se a configuração onde há 100% de retorno financeiro acima do estipulado como parâmetro.

Há na área de estudo, recursos hídricos, de pequena vazão, ainda não avaliada experimentalmente, que poderia ser utilizada e favoreceria, além de outra fonte de suprimento, a redução do custo da energia produzida e a incorporação de outra tecnologia ao SH. Além disso, pode ser avaliado o potencial eólico na localidade, o que pode tornar o investimento ainda mais rentável e interessante sob ponto de vista ambiental, visto que as fontes citadas são renováveis e não poluentes.

Assim, as principais constatações deste estudo de caso são:

- 1) priorização do aproveitamento dos recursos disponíveis em cada região;
- 2) a combinação de tecnologias melhora a confiabilidade sistema, tornando-o melhor no sentido comercial do projeto;
- 3) o custo do fornecimento de energia de fontes renováveis pode ser uma boa opção na diversificação da matriz energética.

Embora este trabalho tenha um *software* como base de cálculo padrão, este vai além das aplicações convencionais dos *softwares* sistemáticos considerando as fases pré e pós-aplicação.

Na fase pré-HOMER, considerou-se uma demanda energética padrão, a qual considera diversas finalidades de uso (residenciais, institucionais, comercial, agrícola e industrial) e considerada sazonal variação na demanda. Como o HOMER leva a demanda como exata, encontra a combinação de menor custo de opções de fornecimento para atendê-la. Portanto, a estimativa de demanda assume um papel importante. Este estudo contribui nesta área, destacando este aspecto e incorporando um recurso detalhado de análise de demanda no estudo.

Na fase pós-HOMER, destaca-se o dimensionamento relacionado a capacidade dos equipamentos e os fatores que influenciam a entrega do projeto. Considerou-se também o desafio de levantar recursos e financiamentos e a seleção do modelo de negócio configurando uma tentativa de ir além da análise técnico-econômica.

## 8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Certamente, novos estudos são necessários tanto na fase pré quanto pós-utilização do software HOMER. Os resultados indicam potencialidades para o desenvolvimento de um modelo padrão de sistema híbrido para toda região, uma vez que esta é reconhecida pela elevada concentração de suinocultores. Há também na região de estudo, elevada concentração de criadores de aves, destinadas ao abate e postura além de bovinos para produção leiteira, criados em diferentes sistemas (confinamento, pastagens, campo aberto). Também podem ser incluídos diferentes cenários de demanda de energia e outras fontes de geração de energia, abordando a solução ideal para a problemática relacionada a micro geração de energia.

O aproveitamento dos sistemas de tratamento de dejetos existentes em cada propriedade, visando o transporte do biogás também é uma possibilidade para estudos futuros, o que facilitaria a retirada do efluente de saída do biodigestor, uma vez que no licenciamento ambiental da instalação suinícola o proprietário compromete-se a dar destinação adequada aos resíduos, atualmente utilizados como fertilizante agrícola. Além disso a legislação direciona a destinação adequada dos resíduos como de responsabilidade da fonte geradora. Tal avaliação evita possíveis desentendimentos quanto a quantidade de efluente retirada por cada agricultor ou até mesmo a não retirada, o que resultará na parada de operação do biodigestor.

Outros temas passíveis de estudos futuros:

- Aplicabilidade dos sistemas híbridos e viabilidade de aplicação em áreas maiores aliado as potencialidades de investimentos locais;
- avaliação experimental da quantidade de biogás proveniente dos resíduos, uma vez que há variações na concentração de metano, de acordo com a localização do sistema biodigestor em detrimento de variações nas condições de operação, tais como temperatura e composição da matéria prima;
- aspectos legais no que tange a formação de cooperativas para o consumo da energia produzida, pois atualmente a legislação não permite a comercialização.

- Potencialidades de negociações junto a distribuidora local para uso da rede disponível para a distribuição da energia gerada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULAH, M.; MATLOKOTSI, T.; CHOWDHURY, S. Techno-economic feasibility study of solar PV and biomass-based electricity generation for rural household and farm in Botswana. *PowerAfrica*, 2016 IEEE PES, 2016. IEEE. p.67-71.

ABPA. **Relatório anual 2016**. Associação Brasileira de Proteína Animal. São Paulo. 2016

AL MAMUN, M. R. et al. Methane enrichment of biogas by carbon dioxide fixation with calcium hydroxide and activated carbon. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 58, p. 476-481, 2016. ISSN 1876-1070.

ANEEL. **Atlas da energia no Brasil Parte II Fontes renováveis**. ENERGIA, M. D. M. E.: ANEEL.

\_\_\_\_\_. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002. 153 p. :il.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica 2012.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa Nº 687 de 24 de novembro de 2015**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica 2015.

\_\_\_\_\_. Matriz de Energia Elétrica. 2017. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm> >. Acesso em: 07/06/2016.

\_\_\_\_\_. **Matriz de energia elétrica**: Ministério de Minas e Energia 2018.

ANGELIS-DIMAKIS, A. et al. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 2, p. 1182-1200, 2011. ISSN 1364-0321.

ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; WELTER, R. A. Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 648-657, 2007. ISSN 0100-6916.

ANGONESE, A. R. et al. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 745-750, 2006.

ANP. **Resolução ANP Nº 8 DE 30/01/2015**. Brasília: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2015.

\_\_\_\_\_. **Biodiesel**: Agência Nacional de Petróleo 2016.

\_\_\_\_\_. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis : 2017**. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, G. N. E. B. Rio de Janeiro: ANP 2017.

APPELS, L. et al. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. **Progress in energy and combustion science**, v. 34, n. 6, p. 755-781, 2008. ISSN 0360-1285.

APS. A energia gerada pela suinocultura. Associação Paranaense de Suinocultores: Curitiba, 2012. Disponível em: < <http://www.aps.org.br/noticias/1-timas/357-a-energia-gerada-pelasuinocultura-.html> >. Acesso em: 28/09/1014.

BAGHDADI, F. et al. Feasibility study and energy conversion analysis of stand-alone hybrid renewable energy system. **Energy Conversion and Management**, v. 105, p. 471-479, 2015. ISSN 0196-8904.

BAJPAI, P.; DASH, V. Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 2926-2939, 2012. ISSN 1364-0321.

BALMANT, W. **Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biogestão anaeróbica**. 2009. p. 14 Tese de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BARBOSA, C. F. D. O.; PINHO, J. T.; PEREIRA, E. J. D. S. Situação da geração elétrica através de sistemas híbridos no estado do Pará e perspectivas frente à universalização da energia elétrica. **Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2004.

BHATT, A.; KAUSHIK, I. Development of an optimized hybrid system based on PV and biomass. **International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology**, v. 3, n. 6, p. 931-935, 2015. ISSN 2321-9653.

BHATT, A.; SHARMA, M.; SAINI, R. Feasibility and sensitivity analysis of an off-grid micro hydro–photovoltaic–biomass and biogas–diesel–battery hybrid energy system for a remote area in Uttarakhand state, India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 53-69, 2016. ISSN 1364-0321.

BLEY JR, C. J. **Curso de Atualização em Energias do Biogás**. Fóz do Iguaçu: Itaipú Binacional 2010.

BLEY JR, C. J. et al. Agroenergia da Biomassa Residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. **Itaipu Binacional**, v. 2, 2009.

BRANDONI, C.; BOŠNJAKOVIĆ, B. HOMER analysis of the water and renewable energy nexus for water-stressed urban areas in Sub-Saharan Africa. **Journal of Cleaner Production**, 2016. ISSN 0959-6526.

BRASIL. **PROINFA - Programa de incentivo as fontes alternativas de energia elétrica**. MME. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia 2002.

\_\_\_\_\_. **DECRETO Nº 5.025, DE 30 DE MARÇO DE 2004. Dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA**. Brasília: Ministério de Minas e Energia 2004.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 11.097/2005**. Brasília: Congresso Nacional 2005.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 13.263/2016**. Brasília: Poder Legislativo 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. **Projeções do Agronegócio - Brasil 2012/13 a 2022/23 Projeções de Longo Prazo**. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A.-A. D. G. E. Brasília: Mapa/ACS: 96 p. 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. **Usos de biodiesel no Brasil e no mundo / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. . Gabinete da Ministra. Brasília: MAPA/ACE: 38 p. 2015.

BUDKE, W. R.; GOMES FILHO, A.; SILVA, A. S. Gestão de resíduos sólidos ea produção de energia biomassa na região do Mato Grande. IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN, 2013.

CALZA, L. F. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 990-997, 2015. ISSN 0100-6916. Disponível em: <  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162015000600990&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162015000600990&nrm=iso) >.

CANCELIER, A. et al. Evaluation of biogas production of swine waste using response surface methodology. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 209-217, 2015. ISSN 1413-4152.

CASTELLANOS, J. et al. Modelling an off-grid integrated renewable energy system for rural electrification in India using photovoltaics and anaerobic digestion. **Renewable Energy**, v. 74, p. 390-398, 2015. ISSN 0960-1481.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S.; BUENO, O. D. C. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suínica para geração de energia elétrica. 2010.

COELHO, S. T.; VELAZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C. D. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**, 2006.

D'ROZARIO, J. et al. Cost effective solar-biogas hybrid power generation system. Industrial Technology (ICIT), 2015 IEEE International Conference on, 2015. IEEE. p.2756-2760.

DA SILVA, S. S. F. et al. Complementaridade hidro eólica: desafios e perspectivas para o planejamento energético nacional. **HOLOS**, v. 6, p. 32-53, 2015. ISSN 1807-1600.

DA SILVEIRA, J. R. K. et al. Estudo do comportamento do processo de biodigestão em lagoas facultativas, aplicado ao tratamento de dejetos suínos. **Salão do Conhecimento**, v. 2, n. 01, 2014. ISSN 2318-2385.

DE SOUZA, S. N. M. et al. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum Technology**, v. 26, n. 2, p. 127-133, 2004.

DESHMUKH, M.; DESHMUKH, S. Modeling of hybrid renewable energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 1, p. 235-249, 2008. ISSN 1364-0321.

ELLABBAN, O.; ABU-RUB, H.; BLAABJERG, F. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 748-764, 2014. ISSN 1364-0321.

ENERGÉTICA, E. E. D. P. **Balço Energético Nacional 2016: Relatório síntese | ano base 2015**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia – MME 2016.

ENERGIA, B. M. D. M. E. **Lei n 11.909 de 4 de março de 2009**. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, G. N. E. B. Brasília: ANP 2009.

\_\_\_\_\_. **Resenha Energética Brasileira 2016 - Ano Base 2015**. Brasília: Ministério de Minas e Energia 2016.

EPE. **Matriz energética e elétrica**. Empresa de Pesquisa Energética. 2018

ER-BR. **BIOGÁS / investimentos**: ER-BR Energias Renováveis e Biocombustíveis 2017.

ESEOSA, O.; ENFIOK, O. E. PV-Diesel Hybrid Power System for a Small Village in Nigeria. 2015.

FARHAD, S.; YOO, Y.; HAMDULLAHPUR, F. Effects of fuel processing methods on industrial scale biogas-fuelled solid oxide fuel cell system for operating in wastewater treatment plants. **Journal of Power Sources**, v. 195, n. 5, p. 1446-1453, 2010. ISSN 0378-7753.

FEPAM. **Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à suinocultura**. FEPAM 2014.

FNR, A. Ö. **Guide to biogas from production to use**. FEDERAL MINISTRY OF FOOD, A. A. C. P. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2010.

FRANCISCO, W. D. C. E. Energia Geotérmica. 2017. Disponível em: < <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-geotermica-1.htm> >. Acesso em: 04/03/2017.

GALÁN, E. M. **Renewable energy Policy Network for the 21st century. Energias Renováveis 2016, Relatório da Situação Mundial 2016**

GERVÁSIO, E. W. **Suinocultura - Análise da Conjuntura Agropecuária**. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB); Departamento de Economia Rural (DERAL). 2013

GOMES, A. C. A. et al. Incentivos para a viabilização do biogás a partir dos resíduos da pecuária leiteira no Estado de Minas Gerais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 30, 2014. ISSN 2176-9109.

HECK, A. C. **Potencial de geração de energia elétrica em biodigestores a partir de dejetos de suínos da cooperativa regional agropecuária de Campos Novos (Copercampos), Santa Catarina**. 2013. (Graduação em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

HOSSAIN, M. M.; BARUA, S.; MATIN, M. A pre-feasibility study for electrification in Nijhum Dwip using hybrid renewable technology. *Electrical & Electronic Engineering (ICEEE), 2015 International Conference on*, 2015. IEEE. p.225-228.

HUSSAIN, A.; ARIF, S. M.; ASLAM, M. Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 12-28, 2017. ISSN 1364-0321.

KOLHE, M. L.; RANAWEERA, K. I. U.; GUNAWARDANA, A. S. Techno-economic sizing of off-grid hybrid renewable energy system for rural electrification in Sri Lanka. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 11, p. 53-64, 2015. ISSN 2213-1388.

KUMAR, R.; PAL, N.; KUMAR, R. Techno-economic analysis of grid connected PV-biomass based hybrid system with feed-in tariffs for ISM, Dhanbad. *Energy Economics and Environment (ICEEE), 2015 International Conference on*, 2015. IEEE. p.1-6.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. D. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005. ISSN 0104-1096.

LEITE, R. A. et al. Avaliação do Biodigestor de Fluxo Tubular Contínuo Modelo Vinebiodigestor, Através de Análises Químicas Durante o Tratamento de Dejetos de Suínos. **UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 10, n. 1, 2014. ISSN 2317-4013.

LEON, H. R. et al. Design and economic feasibility analysis of autonomous hybrid energy system for rural Bangladesh. *Development in the in Renewable Energy*

Technology (ICDRET), 2016 4th International Conference on the, 2016. IEEE. p.1-6.

LIU, G. et al. Feasibility study of stand-alone PV-wind-biomass hybrid energy system in Australia. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, 2011. IEEE. p.1-6.

LÓPEZ, F. F.; AGEITOS, J. M. M.; CASTIÑEIRAS, J. P. **Energías renovables: ¿la energía del futuro?** Lugo: Unicopia, 2007. 59

MACEDO, I. D. C.; NOGUEIRA, L. A. H. Avaliação do biodiesel no Brasil. **Núcleo de Assuntos Estratégicos (NAE) da Presidência da República, Cadernos NAE**, n. 2, 2005.

MOTTA, K. U. Avaliação da geração de biogás de um biodigestor de dejetos bovinos e suínos. 2014.

MUDASSER, M.; YIRIDOE, E. K.; CORSCADDEN, K. Cost-benefit analysis of grid-connected wind–biogas hybrid energy production, by turbine capacity and site. **Renewable Energy**, v. 80, p. 573-582, 2015. ISSN 0960-1481.

MUNIZ, R. N. Educação e biomassa. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

NASIR, I. M.; MOHD GHAZI, T. I.; OMAR, R. Anaerobic digestion technology in livestock manure treatment for biogas production: a review. **Engineering in Life Sciences**, v. 12, n. 3, p. 258-269, 2012. ISSN 1618-2863.

NEOSOLAR. **Orçamento Energia Solar - GTIN - Estudo de caso, dissertação de mestrado - 2271**: Neosolar Energia 2017.

NREL. **HOMER Help Manual** Colorado, EUA: National Renewable Energy Laboratory 2015.

\_\_\_\_\_. **HOMER Energy User Manual**. Colorado, EUA: National Renewable Energy Laboratory 2016.

OLATOMIWA, L. et al. Economic evaluation of hybrid energy systems for rural electrification in six geo-political zones of Nigeria. **Renewable Energy**, v. 83, p. 435-446, 2015. ISSN 0960-1481.

PENA, R. F. A. Fontes renováveis de energia. Brasil Escola, Acesso em 23 de fevereiro de 2017. 2017. Disponível em: <  
<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm> >.

PHILIPPE, F.-X.; NICKS, B. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 199, p. 10-25, 2015. ISSN 0167-8809.

PINOTTI, C. **Sistema de coleta e tratamento integrado de efluentes de suinocultura com geração de créditos de carbono e biogás no município de Santa Tereza**. 2008. Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul.

PREMALATHA, M.; ABBASI, T.; ABBASI, S. Wind energy: Increasing deployment, rising environmental concerns. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 270-288, 2014. ISSN 1364-0321.

RAHEEM, A. et al. Economic feasibility of stand-alone wind energy hybrid with bioenergy from anaerobic digestion for electrification of remote area of Pakistan. **International Journal of Integrated Engineering**, v. 6, n. 3, 2015. ISSN 2229-838X.

RANZI, T. J. D.; ANDRADE, M. A. N. Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás. **Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2004.

RIAÑO, B.; GARCÍA-GONZÁLEZ, M. Greenhouse gas emissions of an on-farm swine manure treatment plant—comparison with conventional storage in anaerobic tanks. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 542-548, 2015. ISSN 0959-6526.

RITTER, C. M.; SANTOS, F. R.; CURTI, S. M. Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura: sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina. **Revista Tópos**, v. 7, n. 1, p. 32-40, 2014.

SAKUMA, A. C. **Desenvolvimento e análise experimental de Biodigestores modulares de baixo tempo de residência**. 2013. (Dissertação Mestrado). Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SANTANA, É. J. **Polos de aglomeração produtiva de milho, aves e suínos em Mato Grosso**. 2010. 108 p. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SANTOS, E. B. D.; JUNIOR, G. D. N. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. **Tekhne e Logos**, v. 4, n. 2, p. 80-90, 2013. ISSN 2176-4808.

SCHNEIDER, V. E. et al. **Potencial de geração de biogás e energia através do dejetos suíno na região Nordeste do Estado de Rio Grande do Sul, Brasil**. Veneza: ISAM/UCS 2014.

SCHNEIDER, V. E.; ZANONI, N.; CARRA, S. H. Z. **Clusters formation of potential assessment for swine manure treatment and biogas generation in an experimental watershed in Rio Grande do Sul/Brazil**. 8th International Conference on Waste Management. Valencia: Wessex Institute 2016.

SEN, R.; BHATTACHARYYA, S. C. Off-grid electricity generation with renewable energy technologies in India: An application of HOMER. **Renewable Energy**, v. 62, p. 388-398, 2014. ISSN 0960-1481.

SHUBEITA, F. D. M. et al. **Um Estudo sobre Monitoramento e Controle de Biodigestores de Pequena Escala**. 2014. (Pós-Graduação). Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, PUC - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul Porto Alegre.

SINGH, A.; BAREDAR, P.; GUPTA, B. Computational Simulation & Optimization of a Solar, Fuel Cell and Biomass Hybrid Energy System Using HOMER Pro Software. **Procedia Engineering**, v. 127, p. 743-750, 2015. ISSN 1877-7058.

SOUZA, C. D. F. et al. Produção volumétrica de metano: dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 219-224, 2008. ISSN 1413-7054. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542008000100032&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000100032&nrm=iso) >.

STEMAC. **Cotação**. Porto Alegre: Stemac S/A Grupos Geradores 2017.

TAQI, L. **Orçamento de tubos de PVC**. Farroupilha 2017.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: EPE 2016.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos - CEBRAP**, p. 47-69, 2007. ISSN 0101-3300. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-33002007000300003&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&nrm=iso) >.

USP, G. D. P. E. B.-. Biomassa moderna no Brasil. São Paulo, 2016. Acesso em: 06/05/2018.

VIEIRA, F. D.; DE FRANCISCO, A. C.; BITTENCOURT, J. V. M. Biometano e biogás como fontes de energia sustentável e ecologicamente viável. **Revista ESPACIOS**, v. 37 n. 18, 2016.

VIVAN, M. et al. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 320-325, 2010. ISSN 1415-4366. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662010000300013&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000300013&nrm=iso) >.

ZANONI, N. **Avaliação da geração de carga orgânica na atividade suinícola e potencialidades de geração de biogás e fertilizantes em uma bacia hidrográfica experimental**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul 2015.

ZANONI, N. et al. **Formação de clusters para tratamento de dejetos suínos e geração de energia em uma bacia experimental** Foz do Iguaçu: SIGERA 2017.

ZHANG, R. et al. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. **Bioresource technology**, v. 98, n. 4, p. 929-935, 2007. ISSN 0960-8524.

ZILLES, R. GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DA ENERGIA SOLAR SISTEMAS FOTOVOLTAICO. **O BRASIL QUER ENERGIAS RENOVÁVEIS**, p. 6, 2004.

ZUNIGA, A. D. G. et al. Situação atual e perspectivas do biodiesel no Estado do Tocantins. **DESAFIOS: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 1, n. 1, p. 263-278, 2015. ISSN 2359-3652.

## 9 APÊNDICE I: ANÁLISE DE VIABILIDADE AMBIENTAL DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

### ANÁLISE DA VIABILIDADE AMBIENTAL DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Zanoni, N.; Schneider, V. E.

**Resumo:** Sistemas híbridos consistem de duas ou mais fontes geradoras de eletricidade, normalmente uma ou mais fontes convencionais e uma ou mais fontes renováveis e, objetivam promover a economia de combustível e obter uma fonte confiável de suprimento de energia, podendo estar ou não conectados a rede de distribuição. Este trabalho objetiva avaliar através do *software* HOMER, a viabilidade ambiental de implantação de um sistema híbrido de geração de eletricidade. Este sistema é composto por gerador a biogás, gerador a biodiesel e captação de energia solar. Todo o sistema está localizado no município de Serafina Corrêa onde há elevada concentração de suinocultores que, através do tratamento dos resíduos suínos poderá levar a produção de biogás para ser aproveitado como combustível para geração de energia elétrica. A configuração ótima da estrutura do sistema híbrido onde ocorre a máxima redução de emissões de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e NO<sub>x</sub> é composta por geração elétrica a partir de painéis fotovoltaicos com 330 kW, gerador a biogás 55 kW e inversor de 275 kW. Neste cenário, o sistema é capaz de reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> em 291.474 kg/ano, além da redução na emissão de H<sub>2</sub>S na ordem de 1.920 kg/ano e, a emissão de NO<sub>x</sub> é reduzida em 560 kg/ano.

**Palavras-chave:** Sistemas híbridos. Energia elétrica. HOMER. Suinocultura. Energia renovável.

### ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF THE IMPLEMENTATION OF A HYBRID SYSTEM FOR GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY

**Abstract:** Hybrid systems consist of two or more electricity generating sources, usually one or more conventional sources and one or more renewable sources, and aim to promote fuel economy and obtain a reliable source of energy supply, whether or not connected to the grid distribution. This work aims to evaluate through the HOMER software the environmental feasibility of implementing a hybrid electricity generation system. This system consists of biogas generator, biodiesel generator and solar energy capture. The whole system is located in the municipality of Serafina Corrêa where there is a high concentration of swine farmers who, through the treatment of pig waste, could lead to the production of biogas to be used as fuel for electricity generation. The optimum configuration of the hybrid system structure where the maximum reduction of CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S and NO<sub>x</sub> emissions occurs is composed of electric generation from 330 kW photovoltaic panels, 55 kW biogas generator and 275 kW inverter. In this scenario, the system is able to reduce CO<sub>2</sub> emission by 291,474 kg/year, in addition to the reduction in H<sub>2</sub>S emission of about 1,920 kg/year, and NO<sub>x</sub> emissions are reduced by 560 kg/year.

**Keywords:** Hybrid systems. Electricity. HOMER. Swine farming. Renewable energy.



## INTRODUÇÃO

Resíduos de origem animal configuram uma potencial fonte de produção de biomassa e utilizá-la como matéria-prima na obtenção de energia mostra-se favorável frente a aspectos econômicos e ambientais (CALZA *et al.*, 2015). Além disso, aproveitamento da energia contida nos resíduos agropecuários configura-se como uma fonte limpa, sustentável, potencial e economicamente atrativa e agrega valor à cadeia produtiva rural (TOLMASQUIM, 2016) e é amparada pelo PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (BRASIL, 2002) descrito no Decreto nº 5.025, de 2004 (BRASIL, 2004).

De acordo com Da Silva *et al.* (2015), tendo por base o agravamento do cenário das alterações climáticas, a geração de energia é um dos temas mais abordados frente à expectativa de sustentabilidade, haja vista a importância de um planejamento da matriz energética que promova o aproveitamento das fontes renováveis.

Das atividades agropecuárias, a suinocultura configura-se como uma atividade com elevado potencial poluidor, frente à geração de ampla quantidade de efluentes líquidos, ricos em nutrientes, DBO, patógenos, sedimentos, metais pesados como, por exemplo, cobre e zinco (VIVAN *et al.*, 2010). Além disso, segundo Cancelier *et al.* (2015), tem-se no domínio microrregional, o desconforto causado pela presença de insetos e maus odores. A biodigestão anaeróbia configura-se como uma alternativa que proporciona o aproveitamento da biomassa como fonte de energia, a redução do potencial poluidor e dos riscos de contaminação sanitária.

Segundo Appels *et al.* (2008) e Farhad *et al.* (2010), o biogás proveniente do processo de biodigestão constitui uma fonte renovável de geração de energia e pode ser utilizado como alternativa para redução no consumo de combustíveis fósseis, os quais estão associados a problemática de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), causadores de poluição atmosférica. Ainda segundo os autores, a redução na emissão de GEE pode ser realizada através do emprego de outras fontes renováveis como: solar, biocombustíveis, eólica, biogás, dentre outras. O biogás, por exemplo, combustível que custa entre 80 e 90% menos que o gás natural, reduz em cerca de 90% a emissão de GEE, quando comparado com a combustão de gasolina (LIU *et al.*, 2011).

As formas de utilização dos recursos energéticos surgem como o mais importante dos problemas frente ao progresso causado pela modernização (HUSSAIN; ARIF; ASLAM, 2017). De acordo com dados do Relatório Energias Renováveis 2016, Relatório da Situação Mundial – REN21 (GALÁN, 2016), atualmente cerca de 1,2 bilhão de pessoas em todo o mundo ainda vivem sem eletricidade e se concentram principalmente na África e na Ásia, onde sistemas de micro geração distribuída desempenham papel importante no abastecimento energético dessa população. A melhoria nos padrões de vida em países desenvolvidos aliado ao aumento populacional nos países em desenvolvimento resulta, invariavelmente, em acréscimos na demanda por energia.

De acordo com Da Silva *et al.* (2015), tendo por base o agravamento do cenário das alterações climáticas, a geração de energia é um dos temas mais abordados frente à expectativa de sustentabilidade, haja vista a importância de um planejamento da matriz energética que promova o aproveitamento das fontes renováveis. Destaca-se também a necessidade de produzir energia próximo aos consumidores, o que reduz os investimentos e as perdas de energia nas redes de transmissão.

Para aumentar a capacidade instalada de geração de energia em pequenas propriedades há a possibilidade de utilização de mais de uma fonte geradora, o que configura um sistema híbrido (SH). SHs de geração elétrica normalmente consistem de duas ou mais fontes



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

energéticas sendo, uma ou mais fontes convencionais e uma ou mais fontes renováveis como, por exemplo, captação de energia solar em conjunto com geradores diesel e captação de energia eólica (BARBOSA; PINHO; PEREIRA, 2004).

Estes sistemas objetivam promover a economia de combustível e obter uma fonte confiável de suprimento de energia e podem estar ou não conectados à rede de distribuição. O uso de SHs está se tornando popular para promover a autonomia na geração de energia em locais isolados graças aos avanços nas tecnologias de aproveitamento de energias renováveis e de conversores eletrônicos usados para converter a energia não regulada, gerada a partir de fontes renováveis, em energia útil para a carga final. A característica importante de um SH é combinar duas ou mais tecnologias de geração de energia, de modo a permitir o melhor uso de suas características operacionais e obter ganhos mais elevados daqueles obtidos a partir de uma única fonte energética, embora possam apresentar desvantagens como limitações em termos de flexibilidade de combustível, eficiência, confiabilidade, emissões e economia (BAJPAI; DASH, 2012). Para o dimensionamento dos equipamentos destes sistemas, há diversos métodos e softwares utilizados em estudos de viabilidade técnica, econômica e de impactos ambientais de diferentes sistemas baseados em fontes renováveis variadas, equipamentos de armazenamento (baterias) e conversores que o compõe (LIU et al., 2011).

A análise de impactos ambientais é realizada através da redução das emissões de gás carbônico – CO<sub>2</sub> – e da fração de energia proveniente de fontes renováveis (LIU *et al.*, 2011). Tais análises são realizadas através de simulações que visam satisfazer a demanda utilizando as opções tecnológicas alternativas e disponibilidade de recursos. As simulações são efetivadas a partir de uma descrição matemática das condições de operação dos seus componentes e do fluxo de energia no sistema onde se incorpora a análise financeira da configuração predeterminedada, permitindo observar os efeitos da alteração do “tamanho” dos componentes, e dos seus parâmetros de operação inclusive ao longo do tempo e confrontando diferentes tecnologias.

Portanto, este trabalho objetiva-se em avaliar a viabilidade ambiental de otimização de um SH de geração de energia elétrica através da utilização do *software* HOMER como ferramenta facilitadora. Este SH visa o aproveitamento energético dos resíduos gerados pela atividade suínica, para tanto, será utilizado um biodigestor anaeróbio onde ocorrerá a conversão da matéria orgânica em biogás a ser aproveitado como combustível em conjunto gerador de energia.

## METODOLOGIA

### *Definição da área de estudo*

A bacia experimental utilizada para a realização deste trabalho é composta parcialmente por quatro municípios: Serafina Correa, Montauri, União da Serra e Guaporé, localizados no sítio hidrológico do rio Guaporé, na região do médio Taquari-Antas, no nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Esta bacia hidrográfica foi definida com base nas características de uso e cobertura do solo, pedologia, hidrografia, hipsometria, clinografia, pontos de localização e capacidade instalada de animais, plotados em uma única base. Nos municípios, as informações acerca dos rebanhos foram obtidas junto ao setor de licenciamento ambiental das prefeituras municipais. Na Figura 1 visualiza-se a Bacia Experimental e a localização dos



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

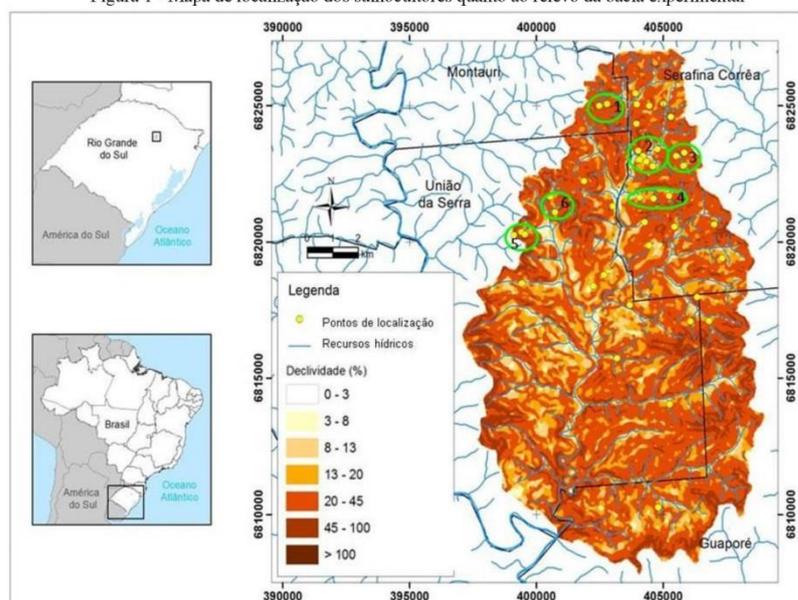
Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

suinocultores de acordo com o relevo da região. Este mapa permite a verificação da possibilidade de formação de *clusters*<sup>1</sup> para o tratamento dos dejetos.

De acordo com Schneider, Zanoni e Carra (2016), há na bacia experimental a possibilidade de formação de seis coletivos para tratamento dos dejetos e estes coletivos alocam 8.660 animais em cada lote produzido (e um total de 3,84 lotes por ano), estando divididos em diferentes fases de criação, sendo a fase de terminação a mais significativa. Neste estudo será abordado o maior *cluster* (*cluster* número 2, Figura 1) cuja distribuição dos animais conforme a fase de criação pode ser visualizada na Tabela 1.

Para determinação da localização do sistema biodigestor e geradores de eletricidade foi escolhido o local mais baixo, ou seja, com a menor cota, de tal forma que o transporte dos dejetos provenientes dos galpões de criação sejam conduzidos até o biodigestor utilizando apenas a gravidade como força motriz.

Figura 1 - Mapa de localização dos suinocultores quanto ao relevo da bacia experimental



Fonte: Elaborado por Santos (2015) adaptado de Schneider (2011)

Tabela 1 – Quantidade de animais por fase de criação no *cluster* avaliado

Fase	Número de animais por lote	Número de lotes por ano	Total
Matrizes	50	1	50
Ciclo completo*	1560	1	1560
Terminação**	2.900	3,84	11.136

Adaptado de Zanoni *et al.* (2017)

\* Correspondem ao ciclo completo os animais que permanecem na mesma propriedade desde o nascimento até que estejam prontos para o abate.

\*\* Número de animais em um lote. Para obter a quantidade de animais criados em um ano, multiplica-se por 3,84 lotes.

<sup>1</sup> Um *cluster* é uma concentração geográfica de qualquer companhia de um mesmo ramo de atividade, podendo ser expandido em canais de distribuição, compradores, produtores e outros que estejam relacionados por aptidão. Sendo assim, o conceito de *cluster* pode ser aplicado também na agricultura, agropecuária e na indústria a ela ligada (SANTANA, 2010).



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Dados climáticos (irradiação solar e temperatura média mensal) foram obtidos *on-line* de dados fornecidos pela NASA – *National Aeronautics and Space Administration* – diretamente pelo *software* e, o valor comercial dos componentes foram alcançados de fabricantes e/ou representantes comerciais, tanto dos conjuntos geradores a combustível quanto dos painéis solares.

### Descrição dos equipamentos

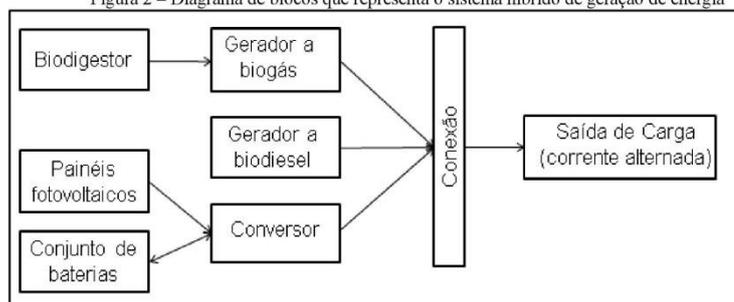
O sistema híbrido de geração de eletricidade e a seleção de equipamentos ocorrem de acordo com as fontes geradoras de energia, porém, consiste basicamente de biodigestor, necessário para produção de biogás utilizado como combustível, gerador a biogás, gerador a diesel/biodiesel, placas fotovoltaicas, conversor e, opcional, conjunto de baterias. A

A otimização, dimensionamento, custos de depreciação, manutenção e reposição de equipamentos foram avaliados utilizando o *software* HOMER de modo a permitir a simulação de diversas combinações para o sistema gerador de eletricidade, sendo possível optar por conectá-lo ou não à rede de distribuição, definindo, portanto a necessidade ou não de conjunto de baterias.

Figura 2 esquematiza os equipamentos que formam o sistema (neste sistema está incluso o conjunto de baterias).

A otimização, dimensionamento, custos de depreciação, manutenção e reposição de equipamentos foram avaliados utilizando o *software* HOMER de modo a permitir a simulação de diversas combinações para o sistema gerador de eletricidade, sendo possível optar por conectá-lo ou não à rede de distribuição, definindo, portanto a necessidade ou não de conjunto de baterias.

Figura 2 – Diagrama de blocos que representa o sistema híbrido de geração de energia



Elaborado pelo autor (2016)

Para variações de “tamanho” dos equipamentos utiliza-se a caixa de busca do *software*. São adicionados diferentes equipamentos para a mesma finalidade somente se for para avaliação de desempenho ou para comparar diferentes tecnologias. Por exemplo, dois modelos de gerador a biogás onde seja necessário comparar eficiência, desempenho, etc.

### Biodigestor

Optou-se pelo modelo canadense de biodigestor. Considerou-se para o dimensionamento a produção média diária de dejetos de 5,6 kg/animal.dia (0,0056 m<sup>3</sup>/d) em fase de terminação (Zanoni, 2015) e utilizou-se o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de 30



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

dias conforme adotado por Souza *et al.* (2008) e, o cálculo do volume do biodigestor adaptado de Calza *et al.* (2015), conforme Equação 1.

$$VB = VD \cdot TRH \cdot NA \quad (1)$$

Onde:

VB = volume do biodigestor (m<sup>3</sup>)

VD = volume diário de dejetos (m<sup>3</sup>/animal.d)

TRH = tempo de retenção hidráulica (d)

NA = número de animais

A localização do biodigestor foi definida de acordo com o local de menor cota, nas proximidades do ponto de localização 7, distante aproximadamente 230 metros do recurso hídrico, fator importante a ser considerado no licenciamento ambiental do empreendimento. Na Figura 3 observa-se a declividade entre a localização dos galpões de criação.

Os dados referentes a valores do sistema de biodigestão compõem os custos do biogás, obtido através da Equação 2.

$$Cb = \frac{CB}{pb \cdot t} \quad (2)$$

Onde:

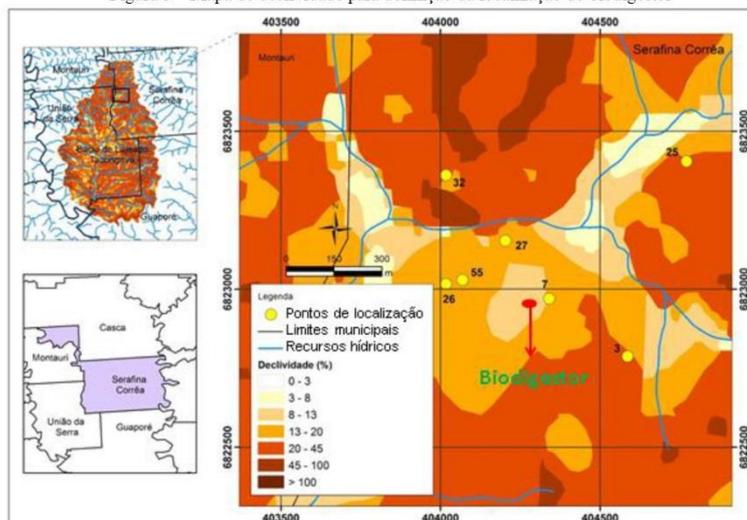
Cb = custo do biogás (R\$/m<sup>3</sup>)

CB = custo do biodigestor (incluindo tubulação para condução dos resíduos e todos os demais equipamentos que o compõe); (R\$)

pb = produção de biogás (m<sup>3</sup>/ano)

t = tempo de vida útil do biodigestor (anos)

Figura 3 – Mapa de declividade para definição da localização do biodigestor





## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Elaborado por Santos (2017)

Para os cálculos preliminares, adotou-se o custo estimado<sup>2</sup> do biodigestor de R\$ 100.000,00, incluindo a tubulação de transporte dos dejetos e a instalação de todo sistema. Adotou-se vida útil de 10 anos e custos de operação e manutenção mensal de 1% do valor total, somando-se o valor total de operação e manutenção ao custo do biodigestor para cálculo do preço do m<sup>3</sup> de biogás. Na Tabela 2 são apresentados: o valor do biodigestor já acrescido do percentual referente à manutenção e operação (adotado mensalmente 1% do valor do biodigestor), a geração de biogás em 10 anos e a respectiva tarifa do biogás. Neste cálculo não é considerada a inflação.

Tabela 2 – Custo do biodigestor incluindo operação e manutenção no período de 10 anos

Custo total do conjunto biodigestor	Produção anual de biogás (m <sup>3</sup> )	Produção de biogás em 10 anos (m <sup>3</sup> )	Custo por m <sup>3</sup> de biogás
R\$ 220.000,00	368.603	3.686.030	R\$ 0,059

Conforme apresentado na Tabela 3 no período de vida útil considerado para o conjunto biodigestor, há produção de 3.686.030 m<sup>3</sup> de biogás ao valor de R\$ 0,059/m<sup>3</sup>.

A distância entre os galpões de criação varia de 280 a 600 metros, tendo como média aproximada de 405 metros, sendo necessários, portanto, 2.840 metros de tubulação de PVC rígido de 100 mm de diâmetro para condução dos resíduos. Estes dutos foram instalados a profundidade média de 0,7 m necessitando de abertura de vala com auxílio de retroscavadeira.

*Geradores e cotações*

Definiu-se a capacidade do gerador a biogás a partir da quantidade disponível de combustível, fazendo com que este seja um parâmetro fixo, afim de consumir todo biogás gerado na degradação dos dejetos e manter uma margem de segurança de 2,5% de excedente de biogás. Este excedente pode ser utilizado em sistemas de aquecimento do biodigestor nos meses de inverno e, caso a concentração de metano no biogás seja menor que 60%, consequentemente aumentará o consumo diário de combustível e assim, há garantia de que o equipamento pode operar ininterruptamente. A capacidade das demais fontes geradoras foi variada de modo a alcançar o ponto ótimo do sistema, ou seja, ponto onde o NPC seja positivo ou igual a ZERO (nulo), isto é, no ponto igual a ZERO é um investimento que não tem prejuízos nem benefícios financeiros.

O gerador a biogás foi orçado junto à empresa ER-BR Energias Renováveis e Biocombustíveis. Optou-se por um grupo gerador com painel manual marca MWM 80 kVA/55kW com capacidade de geração líquida<sup>3</sup> de 36.300 kW/mês. Este gerador consome, segundo o fornecedor, 984 m<sup>3</sup>/d de biogás com concentração de 60% de metano e de 528 m<sup>3</sup>/d se a concentração for de 75%, operando 24 horas/dia (*base load*). O equipamento pode ainda ser configurado para atender a algumas cargas prioritárias, pois na geração distribuída em caso de falta de energia da concessionária seria automaticamente desligado para prevenção de acidentes e, podendo atender através de manobra manual, cargas predefinidas como, por exemplo, uma ou mais residências. Esta manobra manual é também conhecida como manobra de ilhamento. O equipamento de proteção de geração distribuída consiste de um painel URP – 75 kWh (120 kVA).

<sup>2</sup> Valor estimado para simulação do custo do combustível exigível pelo software.

<sup>3</sup> Limitado a 36.300 kW/mês operando em média 22 horas diárias, considerando-se paradas para manutenção preventiva e corretiva do equipamento. Mês de 30 dias.



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Para remoção do  $H_2S$  do biogás é necessária a utilização de um sistema de filtro TEKOLL BIOFILTR H<sub>2</sub>S MASTER 100, 1500 ppm (ER-BR Energias Renováveis e Biocombustíveis). Este equipamento é um cilindro de dimensões 1,6 m de altura e 0,45 m de diâmetro, carregado com 100 kg de material adsorvente não regenerável e pode operar a vazão máxima de 70 m<sup>3</sup>/h, regulada por compressor radial de 5 CV. A duração esperada do material filtrante é de um ano considerando a máxima vazão e máxima concentração de  $H_2S$  operando 24 horas/dia.

O conjunto gerador a diesel/biodiesel foi cotado com a empresa Stemac e é formado por dois geradores Cummins modelo C20D6, 25 kVA – 20 kW com capacidade de geração de energia de 26.400 kWh/mês considerando operação de 22 horas diárias e mês de 30 dias.

Todo sistema de captação de energia fotovoltaica foi orçado junto a empresa NEOSOLAR Energia. Este sistema é composto por painéis marca Yingly Solar com capacidade de 275 Wp (Watt pico) por painel, inversores Fronius cuja capacidade é dimensionada pelo *software*, de acordo com a quantidade de energia solar captada.

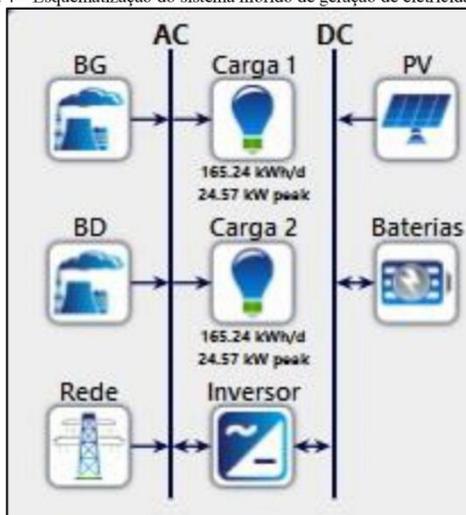
A vida útil do projeto foi fixada em 25 anos, tempo correspondente à vida útil dos equipamentos que compõem o sistema de captação de energia solar. Avaliou-se também vida útil do sistema para 10 anos, de acordo com a vida útil do biodigestor e do gerador a biogás.

### Combinação de equipamentos

Considerou-se a combinação das seguintes tecnologias: gerador a biogás, gerador a diesel/biodiesel e placas de captação de energia solar ligadas a inversor (de corrente contínua para corrente alternada), demanda por energia e rede de distribuição. Esta combinação pode ser visualizada na Figura 4.

Note-se que o gerador a diesel/biodiesel (BD) e o gerador a biogás (BG) estão ligados diretamente à rede de abastecimento (Carga 1 e Carga 2), enquanto as células fotovoltaicas (PV) estão conectados a um conversor de corrente contínua para corrente alternada e só então a energia é direcionada à distribuição.

Figura 4 – Esquematização do sistema híbrido de geração de eletricidade *grid tie*



Elaborado pelo autor utilizando o *software* HOMER (2017)



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

*Dados informados ao programa*

É necessário informar ao HOMER dados iniciais que descrevem o projeto, incluindo o autor, o título e a descrição do projeto. Também pode-se atribuir um local para o projeto no mapa, facilitando o acesso a dados climáticos e de radiação solar, utilizados para elaboração de projeto de energia solar, eólica ou ainda sobre possíveis implicações no uso da biomassa como fonte de energia. Na página inicial também são informados: taxa de desconto, que é a taxa mínima de retorno para um investimento seguro (por exemplo, títulos governamentais), inflação, capacidade anual de armazenamento de energia e o período de avaliação do projeto. Os dados informados nesta etapa estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados iniciais informados ao HOMER e coordenadas de localização do projeto

Taxa de desconto (%)	Inflação (%)	Capacidade de armazenamento	Período de avaliação (anos)	Coordenadas geográficas	
8	7	0,00	10,0	28°43'10"	51°58'46"

Foram definidos perfis de carga (Perfil de Carga 1 e 2) idênticos, necessários para simular a demanda elétrica do sistema, ressalta-se que estes dados são fictícios, uma vez que a operadora de energia que atende a região de estudo não forneceu dados sobre a demanda, conforme solicitado oficialmente pelo Instituto de Saneamento Ambiental (ISAM/UCS).

Dados sobre custos do gerador biogás estão dispostos na Tabela 4. Valores do gerador diesel são apresentados na Tabela 5 e, dos painéis solares e inversor(es), também expressos para uma unidade de energia (kW) estão dispostos na Tabela 6. Todos os custos estão expressos em R\$/kW, ou seja, o custo para instalação de 1 kW de potência.

Tabela 4 – Custos de instalação de 1 kW para gerador a biogás

Capacidade biogás (kW)	Custo por kW	Reposição		O&M	Caixa de busca (kW)		
1	R\$ 3.646,67	R\$ 3.646,67		R\$ 0,75	0	25	55
Carga mínima de acionamento	Vida útil (h)	Custo do combustível (R\$/m <sup>3</sup> )		Período mínimo de funcionamento (minutos)			
30 %	87.600	0,057	0,1134	600			

Tabela 5 – Custos de instalação de 1 kW para gerador a diesel

Capacidade diesel (kW)	Custo por kW	Reposição		O&M	Caixa de busca (kW)		
1	R\$ 1.990,00	R\$ 0,00		R\$ 1,74	0	20	40
Carga mínima de acionamento	Vida útil (h)	Custo do combustível (R\$/m <sup>3</sup> )		Período mínimo de funcionamento (minutos)	Limite de consumo (L)		
25 %	87.600	2,70	2,85	3,00	1.000		

Tabela 6 – Custos de instalação de 1 kW para captação de energia solar

Capacidade por painel (kWp)	Custo por kW	Reposição	O&M/ano	Caixa de busca (kW)*	Vida útil (anos)
0,275	R\$ 5.165,28	R\$ 0,00	R\$ 10,00	0 - 357	25

\* Variou-se a quantidade de painéis de 0 (zero) a 1.273 iniciando com 0, 10, 25, 50, 100, 200, ..., 1273

Outros dados referentes a consumo de combustíveis e emissões atmosféricas foram suprimidos devido à limitação de espaço neste artigo.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para otimização do SH no que tange “tamanho” de equipamentos, diversas configurações foram avaliadas tendo como parâmetro o menor custo de investimento e a maior taxa de retorno (payback). Em todas as configurações, a TMA (taxa mínima de atratividade) foi mantida constante, baseada em títulos governamentais.

A análise de impactos ambientais teve por base as emissões de gases poluentes, material particulado e hidrocarbonetos de combustão incompleta avaliados para cada configuração de sistema, desde 5 kW a 350 kW de capacidade de captação de energia solar, o que corresponde a aproximadamente 50% da energia gerada pelo sistema. Os resultados destas avaliações estão dispostos na Tabela 7.

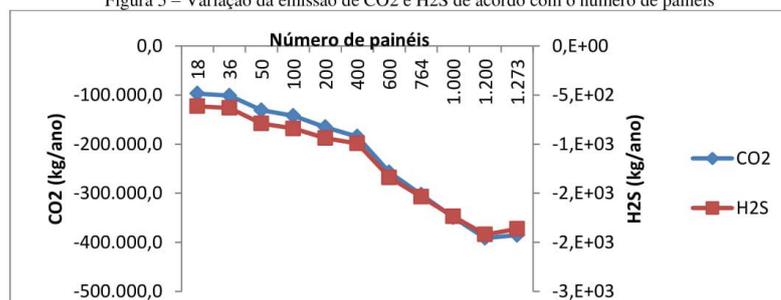
Tabela 7 – Variação das emissões atmosféricas como resposta da variação da quantidade de painéis solares

kW energia solar	Emissão CO <sub>2</sub> (kg/ano)	Emissão CO (kg/ano)	Hidrocarbonetos de combustão incompleta (kg/ano)	Material Particulado (kg/ano)	H <sub>2</sub> S (kg/ano)	NO <sub>x</sub> (kg/ano)	número de painéis
5	-96.922	1.848	205	139	-613	2.845	18
10	-101.102	1.848	205	139	-631	2.476	36
13,75	-130.872	2.140	237	161	-790	2.837	50
27,5	-142.348	2.140	237	161	-840	2.813	100
55	-165.274	2.140	237	161	-939	2.764	200
110	-184.709	1.848	205	139	-993	2.299	400
165	-257.373	2.140	237	161	-1.339	2.570	600
210	-302.983	2.140	237	161	-1.536	2.473	764
275	-349.295	2.140	237	161	-1.737	2.375	1.000
330	-391.474	2.140	237	161	-1.920	2.285	1.200
350	-385.265	1.848	205	139	-1.863	1.873	1.273

De acordo com a Tabela 7, observa-se a redução da emissão de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e NO<sub>x</sub> em todas as configurações em que é aumentado o número de painéis, enquanto que as emissões de CO, hidrocarbonetos de combustão incompleta e material particulado mantem-se praticamente estáveis.

A Figura 5 mostra a variabilidade de emissões em CO<sub>2</sub> (eixo principal) e H<sub>2</sub>S (eixo secundário) e, a Figura 6 representa a variabilidade da emissão de CO, hidrocarbonetos de combustão incompleta e material particulado.

Figura 5 – Variação da emissão de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S de acordo com o número de painéis

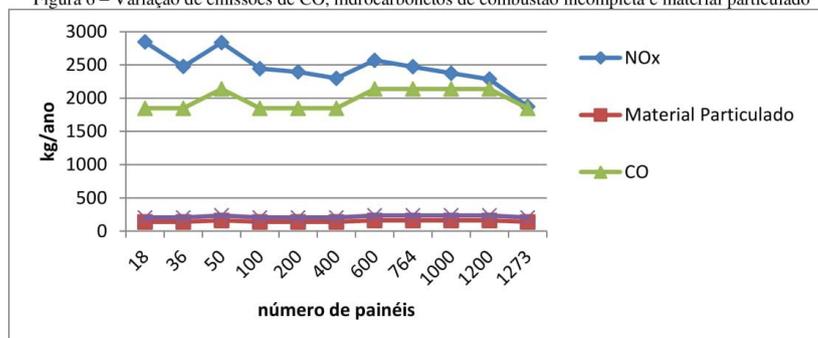




## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

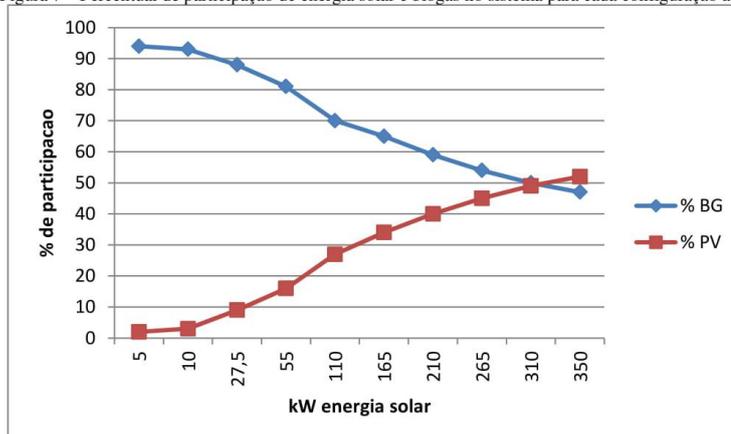
Figura 6 – Variação de emissões de CO, hidrocarbonetos de combustão incompleta e material particulado



De acordo com a Figura 5 a melhor configuração na qual ocorre a redução máxima de emissão de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S se dá com 1.200 painéis e, a estrutura do sistema híbrido é composta por: captação de energia solar de 330 kW, gerador a biogás 55 kW e inversor de 275 kW e energia importada da rede em percentual inferior a 1%. A utilização do sistema de captação de energia solar permite a redução de 291.474 kg/ano de CO<sub>2</sub>, redução na emissão de H<sub>2</sub>S na ordem de 1.920 kg/ano e, a emissão de NO<sub>x</sub> é reduzida em 20%. Em estudo semelhante, porém em SH com menor capacidade, Hossain, Barua e Matin (2015), alcançaram a redução de 3.422 t na emissão de CO<sub>2</sub>. Também em estudo semelhante, Bhatt, Sharma e Saini (2016) obtiveram redução na emissão de carbono 15,93 t/ano.

O percentual de energia gerada por equipamento do SH proposto é apresentada na Figura 7, onde se excetua a participação da energia proveniente da rede.

Figura 7 – Percentual de participação de energia solar e biogás no sistema para cada configuração avaliada



Nota-se que o percentual de energia proveniente da geração a biogás é decrescente em virtude do incremento de painéis solares, igualando-se quando a capacidade de captação de energia solar é de 330 kW (1.200 painéis).



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

No que tange emissões atmosféricas e é observado na Tabela 8, há redução de lançamento de gases poluentes na ordem de 136.886 kg/ano de CO<sub>2</sub> e redução de 786 kg/ano de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S).

### CONCLUSÃO

Em vista da escassez mundial de energia e dos impactos ambientais associados a utilização de combustível fóssil, o conceito de sistema híbrido com vistas a descentralização e diversificação da matriz energética apresenta-se como uma oportunidade, tanto de fornecimento de energia quanto para mitigação dos impactos ambientais associados. Sistemas híbridos apresentam-se como uma opção viável em diferentes aspectos, em especial no que tange os impactos ambientais, favorecendo a redução de emissão de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e NO<sub>x</sub>. Neste sentido, o sistema estudado é aplicável na área em questão, ainda que sejam necessários novos estudos, os quais englobem maior demanda por energia, redução da quantidade comprada da rede e até mesmo aumento na disponibilidade energia em ambas fontes geradoras. Da mesma forma, uma abordagem sistemática de considerar a solução de questões relacionadas à entrega (venda) de energia para a rede, no intuito de aumentar a valorização geral, bem como fomentar a indústria a ligada aos sistemas de microgeração de energia.

A análise com o *software* HOMER permitiu simular diversas configurações do sistema do ponto de vista ambiental, frente às possíveis combinações analisadas. A solução encontrada mostra que uma combinação híbrida de geradores de energia pode ser uma alternativa técnica e economicamente viável e ambientalmente mais eficiente, fazendo da sustentabilidade uma estratégia para o desenvolvimento e manutenção da cadeia produtiva.

### REFERÊNCIAS

- APPELS, L. et al. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. **Progress in energy and combustion science**, v. 34, n. 6, p. 755-781, 2008. ISSN 0360-1285.
- BAJPAI, P.; DASH, V. Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 2926-2939, 2012. ISSN 1364-0321.
- BARBOSA, C. F. D. O.; PINHO, J. T.; PEREIRA, E. J. D. S. Situação da geração elétrica através de sistemas híbridos no estado do Pará e perspectivas frente à universalização da energia elétrica. **Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2004.
- BHATT, A.; SHARMA, M.; SAINI, R. Feasibility and sensitivity analysis of an off-grid micro hydro–photovoltaic–biomass and biogas–diesel–battery hybrid energy system for a remote area in Uttarakhand state, India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 53-69, 2016. ISSN 1364-0321.
- BRASIL. **PROINFA - Programa de incentivo as fontes alternativas de energia elétrica**. MME. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia 2002.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

\_\_\_\_\_. **DECRETO Nº 5.025, DE 30 DE MARÇO DE 2004. Dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA.** Brasília: Ministério de Minas e Energia 2004.

CALZA, L. F. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 990-997, 2015. ISSN 0100-6916. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162015000600990&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162015000600990&nrm=iso) >.

CANCELIER, A. et al. Evaluation of biogas production of swine waste using response surface methodology. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 209-217, 2015. ISSN 1413-4152.

DA SILVA, S. S. F. et al. Complementaridade hidro eólica: desafios e perspectivas para o planejamento energético nacional. **HOLOS**, v. 6, p. 32-53, 2015. ISSN 1807-1600.

DE SOUZA, S. N. M. et al. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum Technology**, v. 26, n. 2, p. 127-133, 2004.

DOS SANTOS, G. M. **Mapas da bacia experimental: arroio Tacongava.** *ArcMap 10.* Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul 2015.

FARHAD, S.; YOO, Y.; HAMDULLAHPUR, F. Effects of fuel processing methods on industrial scale biogas-fuelled solid oxide fuel cell system for operating in wastewater treatment plants. **Journal of Power Sources**, v. 195, n. 5, p. 1446-1453, 2010. ISSN 0378-7753.

GALÁN, E. M. **Renewable energy Policy Network for the 21st century. Energias Renováveis 2016, Relatório da Situação Mundial 2016**

HOSSAIN, M. M.; BARUA, S.; MATIN, M. A pre-feasibility study for electrification in Nijhum Dwip using hybrid renewable technology. *Electrical & Electronic Engineering (ICEEE), 2015 International Conference on, 2015.* IEEE. p.225-228.

HUSSAIN, A.; ARIF, S. M.; ASLAM, M. Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 12-28, 2017. ISSN 1364-0321.

LIU, G. et al. Feasibility study of stand-alone PV-wind-biomass hybrid energy system in Australia. *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, 2011.* IEEE. p.1-6.

RAHEEM, A. et al. Economic feasibility of stand-alone wind energy hybrid with bioenergy from anaerobic digestion for electrification of remote area of Pakistan. **International Journal of Integrated Engineering**, v. 6, n. 3, 2015. ISSN 2229-838X.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

SANTANA, É. J. **Polos de aglomeração produtiva de milho, aves e suínos em Mato Grosso**. 2010. 108 p. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SCHNEIDER, R. M. et al. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó-doi: 10.4025/actascitechnol. v33i3. 8385. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011. ISSN 1807-8664.

SCHNEIDER, V. E.; ZANONI, N.; CARRA, S. H. Z. **Clusters formation of potential assessment for swine manure treatment and biogas generation in an experimental watershed in Rio Grande do Sul/Brazil**. 8th International Conference on Waste Management. Valencia: Wessex Institute 2016.

SOUZA, C. D. F. et al. Produção volumétrica de metano: dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 219-224, 2008. ISSN 1413-7054. Disponível em: <  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542008000100032&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000100032&nrm=iso) >.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: EPE 2016.

VIVAN, M. et al. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 320-325, 2010. ISSN 1415-4366. Disponível em: <  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662010000300013&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000300013&nrm=iso) >.

ZANONI, N. et al. **Formação de clusters para tratamento de dejetos suínos e geração de energia em uma bacia experimental** Foz do Iguaçu: SIGERA 2017.



## Certificado

Conferimos ao autor **Naubert Zanoni** o presente certificado, relativo a publicação do trabalho intitulado **Análise da Viabilidade da Implantação de um Sistema Híbrido para Geração de Energia Elétrica** no 6º Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente, realizado em Bento Gonçalves, RS, de 10 a 12 de abril de 2018.

Neri Gilberto Basso  
Presidente da Proamb

Jones Favretto  
Presidente da Fiemabrazil

Lademir Luiz Beal  
Diretor do Congresso Internacional

Odacir Deonísio Gracioli  
Vice-reitor da Universidade de Caxias do Sul

---

### Realização:



## 9.1 APÊNDICE II



## Certificado

Conferimos ao autor **Naubert Zanoni** o presente certificado, relativo a publicação do trabalho intitulado **Análise da Viabilidade da Implantação de um Sistema Híbrido para Geração de Energia Elétrica** no 6º Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente, realizado em Bento Gonçalves, RS, de 10 a 12 de abril de 2018.



**Neri Gilberto Basso**  
Presidente da Proamb



**Jones Favretto**  
Presidente da Fiema Brasil



**Lademir Luiz Beal**  
Diretor do Congresso Internacional



**Odacir Deonísio Gracioli**  
Vice-reitor da Universidade de Caxias do Sul

Realização:



**UCS**  
UNIVERSIDADE  
DE CAXIAS DO SUL



fundação  
**PROAMB**  
conhecimento e tecnologia

## 10 APÊNDICE III: ANALYSIS OF DIFERENT SETTINGS OF A HYBRID GENERATION SYSTEM – ABSTRACT

### ANALYSIS OF DIFFERENT SETTINGS OF A HYBRID ENERGY GENERATION SYSTEM

N. ZANONI\*, V. E. SCHNEIDER\*, T. BORTOLIN\*, S. CARRA\*

\*Environmental Sanitation Institute, University of Caxias do Sul, Rio Grande do Sul State, Brazil.

The increase of the impacts caused by the use of non-renewable energies, brings the need to evaluate the use of an energy matrix that increasingly promotes the use of renewable sources (DA SILVA et al., 2015). In this context, promoting the generation of energy in small properties through the combination of different sources of energy, the system called hybrid system (HS), is presented as an alternative to reduce the current deficiency in the energy system, also minimizing the environmental impacts generated. Hybrid Systems aim to promote fuel economy and obtain a reliable source of energy supply, whether or not they are connected to the electric grid distribution (BARBOSA; PINHO; PEREIRA, 2004).

In this context, this paper presents a preliminary assessment of the economic feasibility of optimization of a HS for electricity generation, composed by the association between the use of biogas, produced in the anaerobic biodigestion of swine residues, and solar panels. The HOMER software was used as a facilitating tool. The study area encompasses seven rural properties, located in the northeastern region of the State of Rio Grande do Sul, Brazil, where pig farming is highlighted. It should be noted that the State of Rio Grande do Sul is responsible for about 20% of national pork production (ABPA, 2016).

HOMER software is an optimization model for micro power plants. This software acts through consulting and analytical services for the implementation of power plants that promote the use of renewable energy coming from the potential of each region. It simulates the system through a mathematical description of the operating conditions of its components and the energy flow in the system, incorporating a financial analysis of the predetermined configuration.

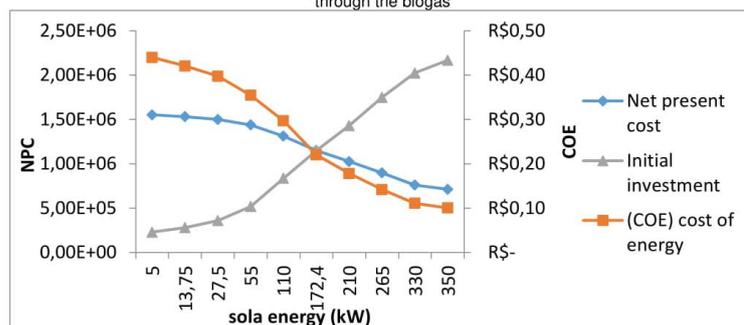
In order to optimize the HS dimensioning, different configurations were evaluated by considering the Net Present Cost (NPC), the highest rate of return, the lowest cost of investment and the lower Cost of Energy (COE), prioritization of the biogas (fixed parameter) and capture of solar energy. In all configurations, the Minimum Attraction Rate (MAR) was kept constant at 10%.

Figure 1 shows the curve constructed from the values of NPC versus installed power of solar, on the main axis, and the COE on the secondary axis. These results are derived from the variation of installed capacity of solar energy capture, with the use of biogas as a fixed parameter.

It is observed that, by increasing the capacity to capture solar energy, there is a reduction in energy costs as well as a reduction of NPC which, in this case, represents a lower financial return on the project. This factor is related to the increase in the initial investment of the project. It should be noted that even if the NPC is equal to zero, there is still economic feasibility of the project. According to Kassai et al. (2007), NPC equal to zero means that the project has

the capacity to pay the invested amounts and presents profit exactly equal to the minimum required by the MAR, which in this study is 10%.

Figure 1 - Different combinations with variation of the capacity of capture of energy alone added to the generation through the biogas



In this assessment, the NPC is equal to the initial capital when the installed capacity of solar energy is 172.4 kW. In this configuration, the Internal Rate of Return (IRR) is 11.5%, the return of the investment is 19.8%, the single payback is 7.15 years and the payback discounted is 8.95 years.

It is observed that all the NPC results are positive, showing that all the sizing configurations of evaluated equipments are viable, having as source generators the use of biogas and solar panels. However, the configuration with 172.4 kW of solar energy (627 panels) is the one with a financial return of 100% above the MAR. The configurations with less than 627 panels present higher financial returns but, on the other hand, they also present higher COE. In the configurations with the highest number of panels, that is, above 627 units, they present lower financial return and lower COE, however, high initial investment.

The HS proposed is capable of supplying 681,078 kW/year, constituting a safe source of energy supply. Testing, through the HOMER software, provides the simulation of several results, which allows the adaptation of the project according to the needs of the place, capacity of supply and demand of energy, availability of resources, equipment dimensioning, besides financial evaluation of each configuration contributing to greater precision of the need for financial resources to execute the project.

In this evaluation, it is observed that the combined use of solar energy and biogas generation favors the reduction of COE, however, increases the value of invested capital. Therefore, we sought a balance point, defined by the point where there is a 100% financial return above the MAR.

#### References

- ABPA. **Relatório anual 2016**. Associação Brasileira de Proteína Animal. São Paulo. 2016
- BARBOSA, C. F. D. O.; PINHO, J. T.; PEREIRA, E. J. D. S. Situação da geração elétrica através de sistemas híbridos no estado do Pará e perspectivas frente à universalização da energia elétrica. **Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2004.
- DA SILVA, S. S. F. et al. Complementaridade hidro eólica: desafios e perspectivas para o planejamento energético nacional. **HOLOS**, v. 6, p. 32-53, 2015. ISSN 1807-1600.

- DE SOUZA, S. N. M. et al. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum Technology**, v. 26, n. 2, p. 127-133, 2004.
- KASSAI, J. R. et al. **Retorno de Investimento: Abordagens Matemática e Contábil do Lucro Empresarial**. 3 ed. SãoPaulo: Editora Atlas S.A., 2007.

## 10.1 APÊNDICE IV: ACCEPTANCE THERME

 [inglês](#) > [português](#) > [Traduzir mensagem](#) [Desativar para: inglês](#) X

Dear N. Zaroni,

Many thanks for submitting an abstract for presentation at the forthcoming Venice 2018 Symposium.

All abstracts received have undergone a thorough selection process, having been reviewed and evaluated both by members of the International Advisory Board and the Executive Programme Committee according to their scientific quality, innovation and relevance of the subject. Final destination (Oral or Poster) has been established according to the following criteria: request by the author, topic relevance, characteristics of the paper (highly specific, preliminary results, case study) and number of papers received on the same topic.

On the basis of the above-mentioned criteria, your abstract "ANALYSIS OF DIFFERENT SETTINGS OF A HYBRID ENERGY GENERATION SYSTEM" has been accepted for Oral presentation.

The number assigned to this abstract is: 113. Please refer to this number in any future correspondence with us.

In order to secure their place in the conference programme, presenting authors must register and pay their registration fee to the Symposium no later than April 27th, by filling in the form available at: <http://www.venicesymposium.it/en/registration-form>

Terms and conditions, as well as detailed information about registration fees, are outlined on the official Symposium website: <http://venicesymposium.it/>. Please note that only one presenting author can be appointed for each paper.

All the authors are requested to send the full paper by May 31st and those scheduled for oral presentation are requested to provide a PowerPoint of their article by October 5th.

Should you need further details or clarifications, please do not hesitate to contact the Organising Secretariat on [papers@venicesymposium.it](mailto:papers@venicesymposium.it)

Thank you for your collaboration, we look forward to welcoming you to Venice.

Kindest regards,  
Laura Contessi

Venice 2018 Organising Secretariat  
Eurowaste Srl

[Via Beato Pellegrino 23](#)  
[35137 Padova, Italy](#)

t. +39 049 8726986

f. +39 049 8726987

e. [papers@venicesymposium.it](mailto:papers@venicesymposium.it)

www. [www.venicesymposium.it](http://www.venicesymposium.it)

## 10.2 APÊNDICE V: ANALYSIS OF DEFERENT SETTINGS OF A HYBRID GENERATION SYSTEM - FULL PAPER

### ANALYSIS OF DIFFERENT SETTINGS OF A HYBRID ENERGY GENERATION SYSTEM

\*Environmental Sanitation Institute, University of Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil.

**Abstract:** Hybrid systems consist of two or more electricity generating sources, usually one or more conventional sources and one or more renewable sources, and aim to promote fuel economy and obtain a reliable source of energy supply, whether or not they are connected to distribution network. This work aims to evaluate through the HOMER software, the technical, economic feasibility of implementing a hybrid electricity generation system. This system consists of a biogas generator, biodiesel generator and solar energy capture. The whole system is located in the municipality of Serafina Corrêa where there is a high concentration of swine farmers who, through the treatment of pig waste, can lead to the production of biogas to be used as fuel for electric power generation. The optimum configuration of the hybrid system structure consists of electric generation from photovoltaic panels with 172.4kW, 55 kW biogas generator and 110 kW inverter. In this scenario, the initial capital amounts to R\$ 1,150,055.00, net present cost of R\$ 1,150,003.00 and the cost of energy (COE) is R\$ 0.22.

**Keywords:** electric power, HOMER software, swine breeding, renewable energy.

#### INTRODUCTION

Driven by the need to maintain the quality of life as well as to move the economy, the demand for energy grows rapidly. Meeting this demand has become a challenge and at the same time an opportunity. Challenge for socioeconomic development and energy supply. Opportunity regarding the planning of the energy matrix, favoring the use of alternative and renewable sources, which should, inevitably, prioritize low cost and low environmental impact (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

The use of energy resources appears to be the most important problem in the face of the progress made by modernization (HUSSAIN, ARLI, ASLAM, 2017). According to data from the 2016 Renewable Energy Report, World Situation Report - REN21 (GALÁN, 2016), currently about 1.2 billion people worldwide still live without electricity and are mainly concentrated in Africa and Asia, where hybrid systems play an important role in the energy supply of this population. In Brazil, according to the National Electric Energy Agency - ANEEL, in Portuguese (ANEEL, 2018), the Brazilian energy matrix is predominantly renewable, with hydroelectric generation accounting for 60.7% of the domestic supply. The sum of renewable sources represents 75.4% of the total electricity produced in Brazil, which is the result of the sum of the amounts referring to domestic production plus imports, mainly of renewable origin.

According to Da Silva et al. (2015), based on the worsening scenario of climate change, the generation of energy is one of the most addressed issues facing the expectation of sustainability, given the importance of planning the energy matrix that promote the use of renewable sources.

Using biomass as a source of energy was essential for human evolution. Biomass refers to the various types of organic matter of animal or plant origin, which can be converted into energy (BUDKE; GOMES FILHO; SILVA, 2013). Animal residues, in turn, constitute a potential source of biomass production and use it as raw material in obtaining energy is

favorable to economic and environmental aspects (CALZA et al., 2015). In addition, utilization of the energy contained in agricultural residues is a clean, sustainable, potential and economically attractive source and adds value to the rural productive chain (TOLMASQUIM, 2016) and is supported by PROINFA, in Portuguese - Incentive Program for Alternative Energy Sources (BRASIL, 2002) described in a Federal Law n°. 5,025/2004 (BRASIL, 2004). According to ANEEL (2018) the energy from biomass consists of combustion of sugar cane bagasse, forest residues, biogas from urban waste, among other sources. Biogas from agricultural residues appears as the fifth renewable source with 14 plants installed, responsible for 4,481 kW, representing 0.0027% of the energy consumed in the country.

The use of small power plants, which take advantage of the resources available in each region, favors the reduction of investments in long distribution networks in addition to energy losses. In this context, we highlight the generators that use renewable sources, since they do not demand high technology or specialized labor, both for implantation and for operation (DE SOUZA et al., 2004; HECK et al., 2013). In order to increase installed capacity in small power plants, more than one generating source can be used, which constitutes a Hybrid System (HS). HSs of electrical generation usually consist of two or more energy sources. Usually one or more conventional sources and one or more renewable sources, such as solar energy capture in conjunction with diesel generators, wind energy capture and biogas utilization (BARBOSA; PINHO; PEREIRA, 2004).

HSs are designed to promote fuel economy and obtain a reliable source of energy supply and may or may not be connected to the distribution network. The important feature of an HS is to combine two or more power generation technologies in order to allow the best use of its operational characteristics and obtain higher gains from those obtained from a single power source, although they may present drawbacks such as limitations in terms of fuel flexibility, efficiency, emissions and economy (BAJPAI; DASH, 2012). For the sizing of the equipment of these systems, there are several methods and software used in studies of technical feasibility, economic and environmental impacts of different systems based on various renewable sources, storage equipment (batteries) and converters that compose it (LIU et al., 2011).

The optimization of these systems is done through economic and environmental analysis, under several parameters such as: Life Cycle Cost (LCC) or Net Present Value (NPV) composed of the initial capital cost, the cost of installation, replacement of equipment and operation over the life of the system, in addition to the Cost Of Energy (COE), which is the cost per unit of useful energy produced. The analysis of environmental impacts is carried out by reducing the emissions of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and the fraction of energy from renewable sources (LIU et al., 2011). Such analyzes are carried out through simulations aimed at satisfying the demand using the alternative technological options and availability of resources. The simulations are carried out based on a mathematical description of the operating conditions of its components and the energy flow in the system where the financial analysis of the predetermined configuration is incorporated, allowing to observe the effects of changing the capacity of the components and their parameters operation over time and confronting different technologies.

Therefore, this work aims at evaluating the technical, economic and environmental feasibility of optimizing an HS for electric power generation through the use of HOMER software as a facilitating tool. This HS is aimed at the energy utilization of the residues generated by the swine activity. For this purpose, an anaerobic biodigester will be used, where the organic matter will be converted into biogas to be used as fuel in the whole energy generator.

## METHODOLOGY

### Definition of the study area

The experimental basin used to perform this study is composed of four municipalities: Serafina Correa, Montauri, União da Serra and Guaporé, located in the hydrological site of the Guaporé river, in the region of the middle Taquari-Antas, in the northeast of Rio Grande do Sul State, Brazil where, among other factors, the location and installed capacity of animals were considered. Information about the herds was obtained from the Environmental Departments of the municipalities. Figure 1 shows the Experimental Basin and the location of the pig farms according to the relief of the region. This map allows the verification of the possibility of formation of clusters for the treatment of the wastes.

According to Schneider, Zanoni and Carra (2016), there is a possibility in the experimental basin to create six collectives for the treatment of wastes, and these collectives allocate 8,660 animals in each batch produced, being divided in different breeding phases. In this study the largest cluster (cluster number 2, Figure 1) will be approached and the distribution of the animals according to the breeding phase can be visualized in Table 1.

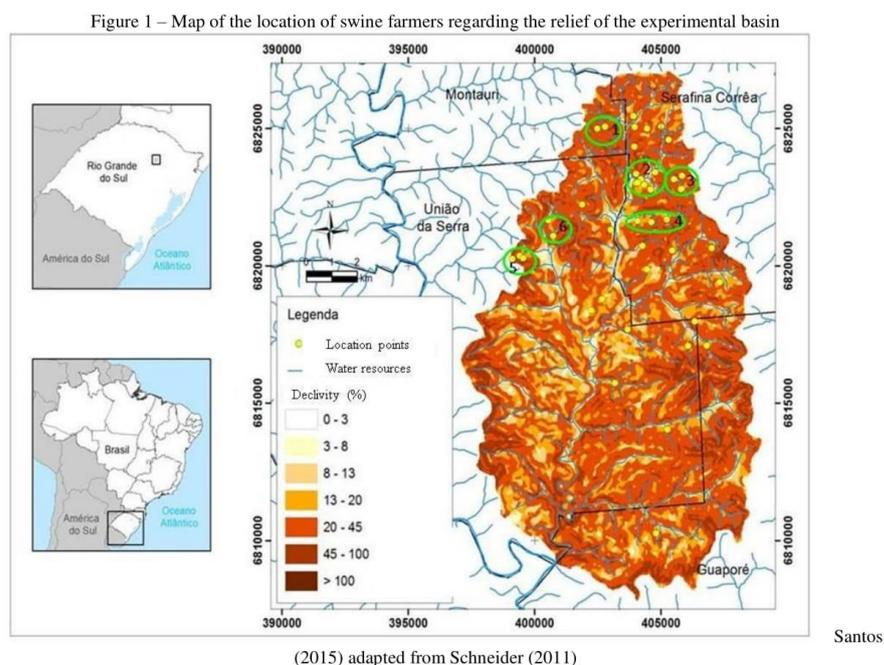


Table 1 - Number of animals per breeding phase in the evaluated cluster

Phase	Number of animals per lot	Number of animals per lot per year	Total
Matrices	50	1	50
Full Cycle *	1560	1	1560
Termination**	2.900	3,84	<b>11.136</b>

Adapted from Zanoni et al. (2017)

\* Correspond to the complete cycle of animals that remain on the same property from birth until they reach the age of slaughter.

\*\* Number of animals in a lot. To get the amount of animals bred in a year, multiply by 3.84 lots..

In order to determine the location of the biodigester system and electricity generators, the lowest location was chosen, that is, with the lowest quota, in such a way that the transportation of the waste from the breeding sheds is conducted to the biodigester using only gravity as a force driving.

Climatic data (solar irradiation and average monthly temperature) were obtained online from data provided by NASA - National Aeronautics and Space Administration - directly by the software and the commercial value of the components were achieved by manufacturers and / or trade representatives, as well as the values of the fuel generating sets.

### Biodigester

It was chosen the Canadian biodigester model. The average daily production of 5.6kg/animal.day (0.0056 m<sup>3</sup>/d) in the termination phase (Zanoni, 2015) was used for the design and the Hydraulic Retention Time (HRT) (Souza et al., 2008), and the calculation of the volume of the biodigester adapted from Calza et al. (2015), according to Equation 1.

$$VB = DVW \cdot HRT \cdot NA \quad (1)$$

Where:

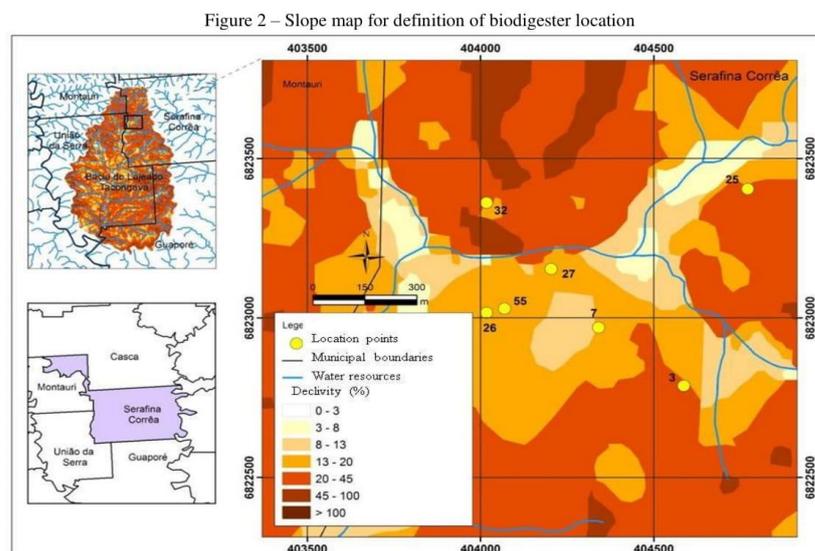
VB = volume of the biodigester (m<sup>3</sup>)

DVW = daily volume of waste (m<sup>3</sup> / animal.d)

HRT = hydraulic retention time (d)

NA = number of animals

The location of the biodigester was defined according to the location with the lowest level, in the vicinity of the location 7, distant approximately 230 meters from the water resource, an important factor to be considered in the environmental licensing of the project. Figure 2, shows the slope between the location of breeding sheds.



The data referring to values of the biodigestion system compose the biogas costs, obtained through Equation 2.

$$Cb = \frac{CB}{bp \cdot t} \quad (2)$$

Where:

$C_b$  = cost of biogas (R\$/m<sup>3</sup>)

CB = cost of the biodigester (including piping for conducting waste and all other equipment that compose it); (R\$)

bp = biogas production (m<sup>3</sup>/year)

t = lifetime of the biodigester (years)

For the preliminary calculations, the estimated cost of the biodigester of \$ 26,600.00 was adopted, including the pipeline for the transport of the waste and the installation of any system. A 10-year useful life and operating and monthly maintenance costs of 1% of the total value were adopted, adding the total value of operation and maintenance to the cost of the biodigester to calculate the price of m<sup>3</sup> of biogas. Table 2 shows the value of the biodigester already added to the percentage referring to the maintenance and operation (monthly adoption of 1% of the biodigester value), the generation of biogas in 10 years and the respective biogas tariff. Inflation is not considered in this calculation.

As shown in Table 2 over the useful life considered for the biodigester set, there is production of 3,686,030 m<sup>3</sup> of biogas at the price of \$ 0.015/m<sup>3</sup>.

Table 2 - Cost of the biodigester including operation and maintenance in the 10 year period

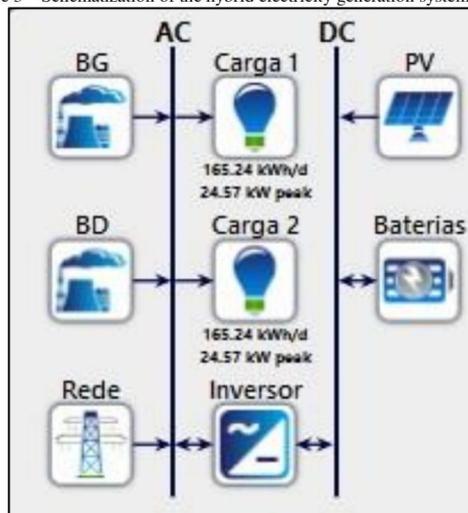
Total cost of biodigester set	Annual biogas production (m <sup>3</sup> )	Biogas production in 10 years (m <sup>3</sup> )	Cost per m <sup>3</sup> of biogas
\$ 58,510,00	368.603	3.686.030	\$ 0,015

Definition of the capacity of the generator to biogas from the available amount of fuel, causing the consumption pressure of a biogas to increase again and a margin of safety of 2.5% of biogas surplus. This surplus can be used in biodigester heating systems in the winter months and, if the methane concentration in the biogas is less than 60%, consequently the daily consumption of fuel will increase and thus, there is a guarantee that the equipment can operate without interruption. The capacity of the other generating sources was varied in order to reach the optimal point of the system, that is, point where the NPC is positive or equal to zero (null), that is, an investment that the financial return is at least equal the determined rate.

### Combination of equipment

The following technologies were considered: biogas generator, defined as a fixed parameter, in order to consume all available biogas. Diesel / biodiesel generator and inverter-connected solar energy capture plates (from direct current to alternating current), demand for energy and distribution network. This combination can be seen in Figure 3.

It should be noted that the diesel / biodiesel generator (BD) and the biogas generator (BG) are connected directly to the supply network (Charge 1 and Charge 2), while the PV cells are connected to a current converter alternating current and only then the energy is directed to the distribution.

Figure 3 – Schematization of the hybrid electricity generation system *grid tie*

Prepared by author using HOMER software (2017)

### Data reported to the program

It is necessary to inform HOMER of initial data describing the project, including the author, title and description of the project. It is also possible to assign a location for the project on the map, facilitating access to climatic and solar radiation data, used for the design of solar energy, wind energy or possible implications for the use of biomass as an energy source. On the home page are also reported: discount rate, which is the minimum rate of return for a secure investment (for example, government bonds), inflation, annual energy storage capacity and the project evaluation period. The data reported in this step are presented in Table 3.

Table 1 – Initial data reported to HOMER and project location coordinates

Discount rate (%)	Inflation (%)	Storage capacity	Valuation period (years)	Geographical coordinates	
8	7	0,00	25,0	28°43'10"	51°58'46"

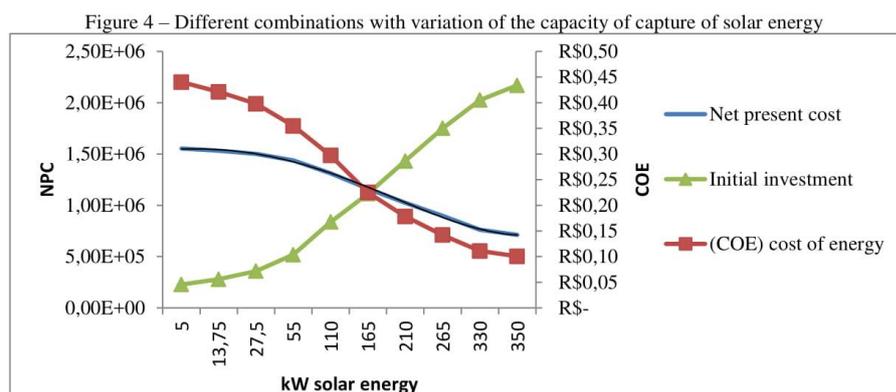
Similar load profiles (Load Profile 1 and 2) were defined, necessary to simulate the electrical demand of the system, it is emphasized that these data are fictitious due to the lack of information available on the part of the operator of energy that attends the region of study . Data on costs of the biogas generator, expressed in \$/kW, are shown in Table 4.

Table 2– Installation costs of 1 kW for biogas generator

Biogas capacity (kW)	Cost per kW	Reposition		O&M	Search box (kW)		
1	\$ 969,86	\$ 969,86		\$ 0,2	0	25	55
Minimum drive load	Life cycle (h)	Cost of fuel (\$/m <sup>3</sup> )		Minimum period of operation (minutes)			
30 %	87.600	0,015	0,030	600			

Valores do gerador diesel, expressos em \$/kW, são apresentados na Tabela 5.

panels. However, the configuration with 172.4 kW of solar energy (627 panels) is the one that presents a financial return of 100% above the TMA (minimum rate of attractiveness). In the configurations with less than 627 panels they present higher financial return, but, on the other hand, they also present higher COE. In the configurations with the highest number of panels, that is, above 627, they present a lower financial return and lower COE, however, a high initial investment. In Figure 4 we observe the curve constructed from the values of NPC versus installed power of solar energy on the main axis and COE on the secondary axis.



As shown in Figure 4, the increase in the capacity to capture solar energy reduces the NPC (main axis) as well as favors the reduction of COE (secondary axis), behavior opposite the initial investment (main axis).

In this combination of equipment we have the investment per component described in Table 8.

Table 6 – Investment by SH component for 172.4 kW of solar energy and 55 kW of biogas.

Component	Capital (\$)	Reposition (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	229.255,32	-	3.581,65	-	86.384,57	146.452,39
Biogás	53.342,29	41.387,77	688.181,38	38.783,51	5.583,24	816.111,44
Rede	-	-	677.369,95	-	-	-677.369,95
Homer LF*	-	-	-	-	-	-
Inversor	23.254,26	-	5.713,30	-	4.867,82	20.671,81
Sistema	305.851,86	41.387,77	16.678,46	38.783,51	86.197,61	305.865,69

\*Homer LF (load following) is the dispatch load tracking strategy whereby, whenever a generator operates, it produces only enough power to supply the primary load.

The negative value of O & M for network refers to the import of power from the network to the system. The sale value refers to the sale of the equipment after the end of the project.

Introducing COE from \$ 0,058, the initial investment \$ 305,851.86, (considering the exchange rate of the R\$ 3,76) required for installation of 172.4kW of solar energy capture and 55kW of biogas generation. For this scenario the NPC is \$ 305,865.69. For the other configurations with solar energy participation, there is use of diesel generators and / or batteries and, for this reason, they were not selected. For the configuration where only the biogas is used, the initial investment is lower (\$ 53,342.02), however the energy cost is high \$ 0.037, although the NPC indicates economic viability of the system. With this data, it can be observed that the inclusion of solar energy reduces the cost of generating energy due to the low maintenance costs, which basically consists of the washing of the panels, in addition, solar energy does not depend on the use of fuel.

The SH proposed in this configuration consists of:

- Solar panels: 172.4kW.
- Biogas generator: 55 kW.
- Inverter: 110kW.
- Distribution network: 999,999 kW (software is understood as unlimited supply capacity).

Table 9 presents the generation of energy from the proposed system.

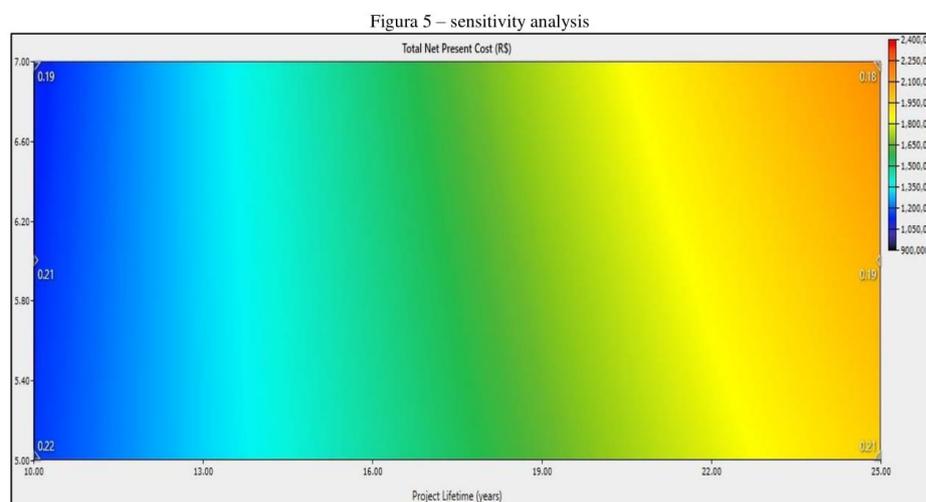
Table 7 – Generation of energy in the proposed system

Produção	kWh/year	%
Solar	234.449	34,42
Biogas	441.650	64,85
Network purchases	4.979	0,73
Total	681.078	100

According to Table 9, there is a generation of 234,449 kWh / year of solar energy corresponding to 43.42% of the energy of the system. With a generation of 441,650 kWh / year from the use of biogas there is a participation of 64.85% and, with 0.73% totaling 4,979 kWh / year of energy purchased from the grid, SH operates with 681,078 kWh / year.

For this configuration, the sensitivity analysis exposed in Figure 6 shows the variation of the NPC and COE according to the expectation of inflation, comprising the period between 10 and 25 years of project life.

According to Figure 5, with the lowest inflation rate there is the highest NPC, indicating better financial viability of the project at any time. With the increase of inflation, there is a reduction in the value of the NPC, indicating a lower financial return, especially when inflation reaches the level of 7% a.a. In this case, the best result would be for inflation expectations of 5% and project life of 25 years.



The energy generation of each component for each month of the year is shown in Figure 7.

According to Figure 6, in the months between November and February the capture of solar energy reaches approximately 30 kW whereas in the month of June occurs the lowest capture. The generation from biogas remains stable because it is a fixed parameter due to the amount of biogas collected.

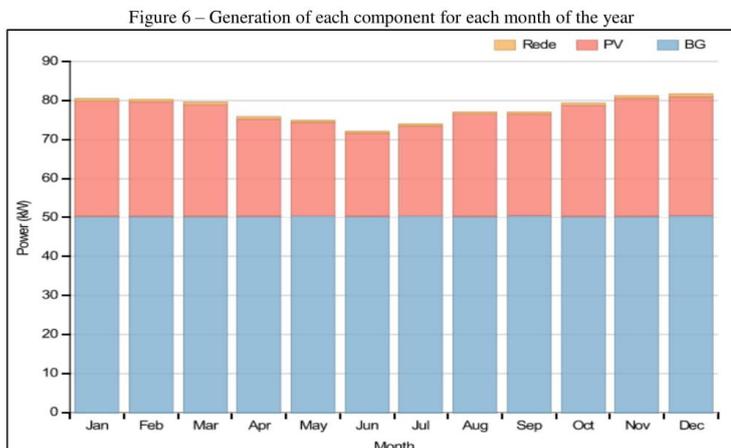
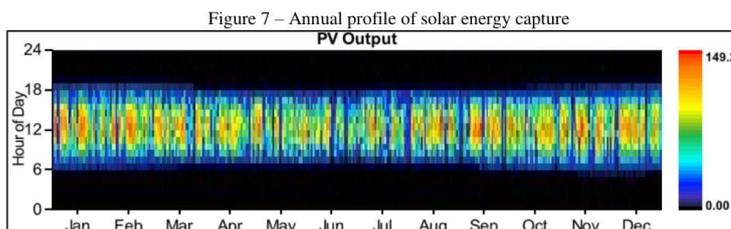


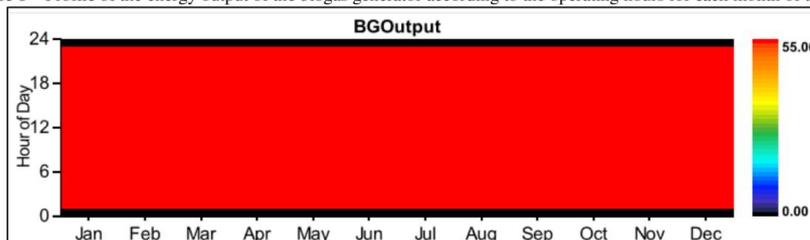
Figure 7 represents the capture of solar energy.



According to Figure 7, it is observed that in the month of June the lowest photovoltaic energy is captured, and the highest catch occurs between November and February. The black color, predominant between 7:00 p.m. and 6:00 p.m. represents the absence of sunlight.

Figure 8 shows the charge output of the generator to biogas.

Figure 8 – Profile of the energy output of the biogas generator according to the operating hours for each month of the year



According to Figure 9 the biogas generator operates at maximum capacity, providing 55 kW between 01:00 and 23:00.

Figures 9 and 10 show respectively the import and export of power from the grid.

Figure 9 – Importing power from the network to the system

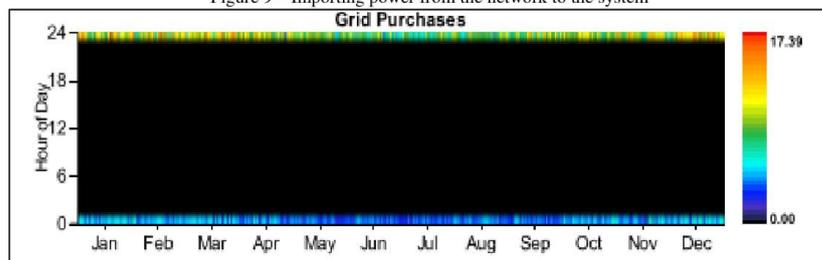


Figure 10 – Exporting system power to the network

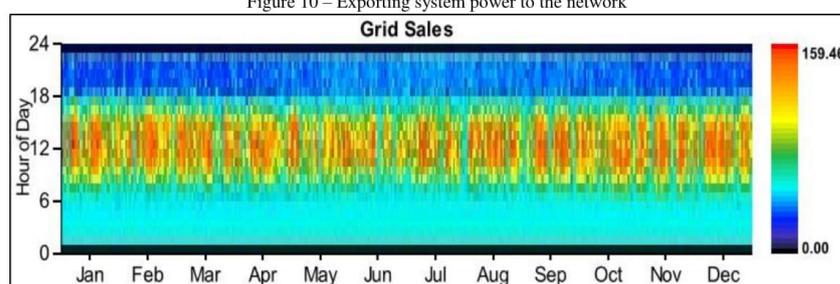


Figure 10 shows the purchase of energy between 11:00 and 1:00 p.m., reaching peaks of 159.46 kW in the summer months, that is, from October to March. These times coincide with the times when the biogas generator will be switched off. For energy sales, peaks of 320.23 kW occur in all months of the year, between 09:00 and 17:00, coinciding with the times when all SH equipment is generating energy.

Table 8 shows results from other case studies conducted with HOMER for hybrid systems using various energy sources.

Table 8 – Case studies performed with HOMER by other authors

COE (\$/kWh)	NPC (\$)	Autor
0,23	41.618,00	Singh, Baredar e Gupta (2015)
0,44	673.147,00	Sen e Bhattacharyya(2014)
0,289	62.149,00	Castellanos <i>et al.</i> (2015)
0,30	553.000,00	Kolhe, Ranaweera e Gunawardana(2015)
0,191	48.000,00	D'Rozarioet <i>al.</i> (2015)
0,547	249.318,00	Olatimiwaet <i>al.</i> (2015)
1.902	499.224,00	Bhatt e Kaushik(2015)
4,096	1.357.033,00	Eseosa e Enefiok(2015)
0,14	925.971,00	Kumar, Pal e Kumar(2015)
0,157	29.247,00	Abdulah, Matlokotsi e Chowdhury(2016)

Observing the results of other authors, the SH proposed for the study area presents the lowest COE. In this sense, the proposed SH can be used favoring the integration of the use of renewable energy sources which aim to meet a certain energy demand. Investments in the

use of these energy sources for the study area are profitable. The integration between photovoltaic panels and a biogas fueled internal combustion engine can be a reliable source of energy supply. The proposed solutions can make a major contribution to sociopolitical security, both in domestic and cross-border contexts. In addition, the introduction of hybrid systems can foster investments in companies that supply equipment and labor, a factor that contributes to the development of the economy in regional scale.

Regarding environmental impacts, in this configuration there is a reduction in the CO<sub>2</sub> emission of 257,373 kg / year, a reduction in H<sub>2</sub>S emission of 1,339 kg / year. For CO emissions, NO<sub>x</sub> and incomplete combustion hydrocarbons remain stable at 2,140 kg / year, 2,570 kg / year and 161 kg / year respectively. These reductions are compared with system emissions without solar energy increment.

## CONCLUSION

The proposed hybrid system is capable of delivering 681,078 kW / year, providing a safe source of energy supply.

Testing through the software allows the observation of several results, allowing the adaptation of the project according to the needs of the place, capacity of supply and demand of energy, availability of resources, dimensioning of equipment, besides financial evaluation of each configuration contributing to greater the need for financial resources to execute the project.

In this work the best configuration consists of the generation of energy from biogas (55 kW) and capture of solar energy (172.4 kW). In this hybrid system the return on investment is 19.8% and it has an IRR of 11.5%, the simple payback is 7.15 years and the payback discounted is 8.95 years.

Notably, new studies from the economic point of view are needed that relate the necessary investments to equipment installation inputs, such as construction materials for protection against the elements. It is also possible to verify the feasibility of installing a biodigester in each property, aiming to transport the biogas to a single plant, thus reducing the risk of environmental impacts caused by possible rupture in the pipelines carrying the waste. In this case, the need for slope is eliminated and the cluster can cover greater distances, including being able to be installed in a higher location, which would favor the insertion of wind power in the system.

## BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- ABDULAH, M.; MATLOKOTSI, T.; CHOWDHURY, S. Techno-economic feasibility study of solar PV and biomass-based electricity generation for rural household and farm in Botswana. *PowerAfrica*, 2016 IEEE PES, 2016. IEEE. p.67-71.
- ANEEL. **Matriz de energia elétrica**: Ministério de Minas e Energia 2018.
- BAJPAI, P.; DASH, V. Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 2926-2939, 2012. ISSN 1364-0321.
- BARBOSA, C. F. D. O.; PINHO, J. T.; PEREIRA, E. J. D. S. Situação da geração elétrica através de sistemas híbridos no estado do Pará e perspectivas frente à universalização da energia elétrica. **Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2004.
- BHATT, A.; KAUSHIK, I. Development of an optimized hybrid system based on PV and biomass. **International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology**, v. 3, n. 6, p. 931-935, 2015. ISSN 2321-9653.
- BRASIL. **PROINFA - Programa de incentivo as fontes alternativas de energia elétrica**. MME. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia 2002.

- \_\_\_\_\_. **DECRETO Nº 5.025, DE 30 DE MARÇO DE 2004. Dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA.** Brasília: Ministério de Minas e Energia 2004.
- BUDKE, W. R.; GOMES FILHO, A.; SILVA, A. S. Gestão de resíduos sólidos ea produção de energia biomassa na região do Mato Grande. IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN, 2013.
- CALZA, L. F. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 990-997, 2015. ISSN 0100-6916. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162015000600990&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162015000600990&nrm=iso)>.
- CASTELLANOS, J. et al. Modelling an off-grid integrated renewable energy system for rural electrification in India using fotovoltaics and anaerobic digestion. **Renewable Energy**, v. 74, p. 390-398, 2015. ISSN 0960-1481.
- D'ROZARIO, J. et al. Cost effective solar-biogas hybrid power generation system. Industrial Technology (ICIT), 2015 IEEE International Conference on, 2015. IEEE. p.2756-2760.
- DA SILVA, S. S. F. et al. Complementaridade hidro eólica: desafios e perspectivas para o planejamento energético nacional. **HOLOS**, v. 6, p. 32-53, 2015. ISSN 1807-1600.
- ESEOSA, O.; ENEFIOK, O. E. PV-Diesel Hybrid Power System for a Small Village in Nigeria. 2015.
- GALÁN, E. M. **Renewable energy Policy Network for the 21st century. Energias Renováveis 2016, Relatório da Situação Mundial 2016**
- HUSSAIN, A.; ARIF, S. M.; ASLAM, M. Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 12-28, 2017. ISSN 1364-0321.
- KASSAI, J. R. et al. **Retorno de Investimento: Abordagens Matemática e Contábil do Lucro Empresarial.** 3 ed. SãoPaulo: Editora Atlas S.A., 2007.
- KOLHE, M. L.; RANAWEERA, K. I. U.; GUNAWARDANA, A. S. Techno-economic sizing of off-grid hybrid renewable energy system for rural electrification in Sri Lanka. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 11, p. 53-64, 2015. ISSN 2213-1388.
- KUMAR, R.; PAL, N.; KUMAR, R. Techno-economic analysis of grid connected PV-biomass based hybrid system with feed-in tariffs for ISM, Dhanbad. Energy Economics and Environment (ICEEE), 2015 International Conference on, 2015. IEEE. p.1-6.
- LIU, G. et al. Feasibility study of stand-alone PV-wind-biomass hybrid energy system in Australia. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, 2011. IEEE. p.1-6.
- OLATOMIWA, L. et al. Economic evaluation of hybrid energy systems for rural electrification in six geo-political zones of Nigeria. **Renewable Energy**, v. 83, p. 435-446, 2015. ISSN 0960-1481.
- SANTANA, É. J. **Polos de aglomeração produtiva de milho, aves e suínos em Mato Grosso.** 2010. 108 p. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.
- SCHNEIDER, V. E.; ZANONI, N.; CARRA, S. H. Z. **Clusters formation of potential assessment for swine manure treatment and biogas generation in an experimental watershed in Rio Grande do Sul/Brazil.** 8th Internacional Conference on Waste Management. Valencia: Wessex Institute 2016.
- SEN, R.; BHATTACHARYYA, S. C. Off-grid electricity generation with renewable energy technologies in India: An application of HOMER. **Renewable Energy**, v. 62, p. 388-398, 2014. ISSN 0960-1481.

- SINGH, A.; BARENDAR, P.; GUPTA, B. Computational Simulation & Optimization of a Solar, Fuel Cell and Biomass Hybrid Energy System Using HOMER Pro Software. **Procedia Engineering**, v. 127, p. 743-750, 2015. ISSN 1877-7058.
- SOUZA, C. D. F. et al. Produção volumétrica de metano: dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 219-224, 2008. ISSN 1413-7054. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542008000100032&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000100032&nrm=iso)>.
- TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: EPE 2016.
- TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos - CEBRAP**, p. 47-69, 2007. ISSN 0101-3300. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-33002007000300003&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&nrm=iso)>.
- ZANONI, N. et al. **Formação de clusters para tratamento de dejetos suínos e geração de energia em uma bacia experimental** Foz do Iguaçu: SIGERA 2017.