

Estudo de Viabilidade de Implementação para um Sistema de Geração de Energia Híbrida em Propriedades Rurais

Orlei Petry Junior* Lucas dos Santos Luiz* Regis Cardoso**
Rodrigo Marques de Figueiredo***

* Centro Universitário e de Faculdades - Uniftec, RS, (e-mail: orleipetry@gmail.com / lucas.s.luz@hotmail.com).

** Instituto Senai de Inovação em Sistemas Embarcados - ISI-SE, SC, (e-mail: regis.cardoso@sc.senai.br. Centro Universitário e de Faculdades - Uniftec, RS, (e-mail: regiscardoso@acad.ftec.com.br).

*** Departamento de Engenharia Elétrica - Escola Politécnica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), RS, (e-mail: marquesf@unisinós.br).

Abstract: When dealing with electric energy, its production and distribution in rural regions, its production and distribution in rural regions, it is relevant to observe peculiar aspects from the lack of infrastructure or the seasonality of the climate in our country. Both points must be observed in the face of difficulties in accessing electricity generation for rural producers in more isolated regions. As an alternative, hybrid electrical energy systems have been studied and used. The objective is to seek the supply of electricity in areas where the distribution networks do not reach, or as a way of generating credit to reduce energy consumption. Therefore, this study presents the dimensioning of two forms of electric energy generation, solar energy and biomass energy. Making consumers in the same concession area benefit from production. For the theoretical basis, research from different authors was used, as well as technical documents from the National Electric Energy Agency to determine the predicted electric energy generation in kWh. The maximum energy demand, in Watt, was also evaluated to supply up to 20 properties with an average monthly consumption of 450 kWh.

Resumo: Tratando-se de energia elétrica, sua produção e distribuição em regiões rurais, torna-se relevante observar aspectos peculiares desde a ausência de infraestrutura ou a sazonalidade do clima em nosso país. Ambos pontos devem ser observados diante de dificuldades no acesso a geração de energia elétrica para os produtores rurais de regiões mais isoladas. Como alternativa, tem-se estudado e utilizado de sistemas híbridos de energia elétrica. O objetivo é buscar o fornecimento de energia elétrica em áreas aonde as redes de distribuição não chegam, ou ainda como forma de geração de crédito para abatimento no consumo energético. Sendo assim, este estudo apresenta o dimensionamento de duas formas de geração de energia elétrica, energia solar e energia de biomassa. Fazendo com que consumidores de uma mesma área de concessão se beneficiem da produção. Para o embasamento teórico, utilizou-se das pesquisas de diferentes autores, assim como documentos técnicos da Agência Nacional de Energia Elétrica para determinar a geração de energia elétrica prevista em kWh. Avaliou-se também a demanda máxima de energia, em Watt, para atender até 20 propriedades com consumo médio mensal de 450 kWh.

Keywords: Electric Power Generation; Hybrid Generation; Solar Energy; Biomass Energy.

Palavras-chaves: Geração de Energia Elétrica; Geração Híbrida; Energia Solar; Energia Biomassa.

1. INTRODUÇÃO

O setor de distribuição de energia elétrica teve uma considerável expansão nos últimos anos, gerando uma ampliação no fornecimento desta, na qual acarretou um conjunto de ações aliadas com investimentos, que visam estabelecer novas fontes de energia elétrica. Diante de um contexto global que busca por tecnologias mais sustentáveis, cada vez mais o mercado prima pela produção e o uso de energias renováveis (Sampaio et al. (2021) e ANEEL (2015)).

Temos, portanto, uma prospecção em âmbito universal que almeja o suprimento energético de forma eficiente, sustentável e com custos competitivos, substituindo as energias de fontes não renováveis por fontes renováveis de energia, tais como a solar e a biomassa. Dessa forma, segundo Al-Shahri et al. (2021), a biomassa é o único recurso carbonáceo renovável do mundo. A partir da conversão de biomassa é possível a obtenção de produtos químicos e combustível, permitindo a geração de energia elétrica.

Partindo do pressuposto que a descarbonização tem como um dos objetivos fundamentais proteger o planeta, podemos considerar a viabilidade na combinação das energias renováveis mais competitivas, como no estudo aqui delineado, no qual utilizamos um sistema de geração de energia híbrida, que tem como finalidade a utilização de mais de um tipo de geração elétrica, de forma simultânea ou não. Apresentamos um sistemas híbrido de geração de energia elétrica a partir da energia fotovoltaica e a biomassa, as quais podem ser complementadas ou não com sistemas de armazenamentos, constituindo assim, como ferramenta para fornecer energia limpa e eficiente.

O principal objetivo na utilização de sistemas híbridos é a compensação de um ou mais métodos de geração de energia elétrica na eventual flutuação ou falta dela. Sabe-se que tanto a intermitência quanto o grau de aleatoriedade (desordem de um sistema) são grandes desafios na utilização de geração de energia solar. Aplicando-se sistemas de armazenamento de energia, esse problema pode ser mitigado, porém, há um aumento considerável do valor para instalação desses sistemas. Diante desta barreira, verifica-se que a razão pela qual, alguns pesquisadores têm estudado sistemas de geração de energia híbrida (Ghayoor et al. (2021)).

Apesar de todas as vantagens que a utilização de sistemas de geração solar e por biomassa podem trazer, os investimentos para suas implementações podem ser altos. Dessa forma, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu a resolução normativa n° 482 de 2012, permitindo que os consumidores gerem sua própria energia elétrica e mantenham-se conectadas na rede de distribuição de energia elétrica. A compensação de crédito é um exemplo de incentivo gerado pela ANEEL, sendo esse o principal responsáveis pelo aumento da capacidade instalada em território nacional (ANEEL (2012)).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção serão apresentados os principais conceitos necessários para o desenvolvimento do estudo proposto.

2.1 Geração Solar

Para iniciar-se um projeto fotovoltaico existem algumas informações relevantes que precisam ser observadas, como explica Pinho et al. (2014) “o projeto de um sistema fotovoltaico envolve orientação dos módulos, disponibilidade de área, estética, disponibilidade do recurso solar, demanda a ser atendida e diversos outros fatores”. Apesar de vários pontos importantes que precisam ser levados em consideração, Yoro et al. (2021) explica que a instalação e a manutenção dos sistemas de geração fotovoltaicos podem ser consideradas simples.

Para conseguir mensurar uma estimativa de produção de energia elétrica, é comum não utilizar a irradiação instantânea (energia por unidade de área) uma vez que o cálculo é muito complexo pela grande variação ao longo do dia, conforme ilustrado na Figura 1. Para facilitar esse dimensionamento utiliza-se o conceito de Horas de Sol Pleno (HSP), que reflete quantas horas ao longo do dia a irradiação solar é igual a $1\text{kW}/\text{m}^2$, tornando o dimensionamento mais simples (Pinho et al. (2014)).

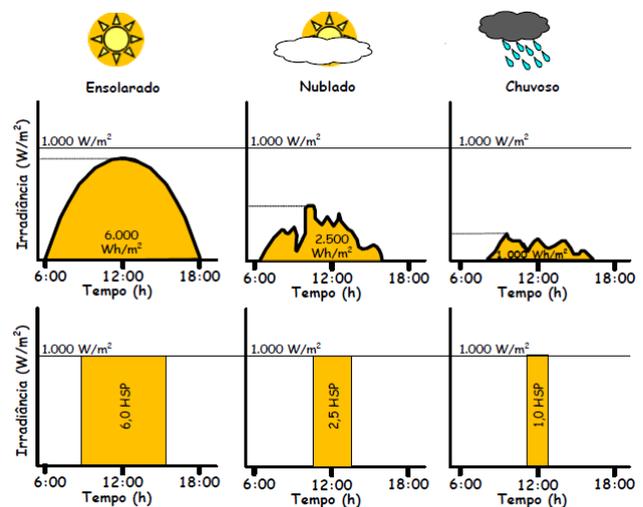


Figura 1. Exemplo de radiação solar diária instantânea e sua equivalente em HSP conforme Pinho et al. (2014)

Assim como, verificar a irradiação do local onde o sistema será instalado, a localização também é importante, conhecer a área para prever os possíveis sombreamentos oriundos de outras construções ou elementos naturais, ou ainda a existência de superfícies reflexivas afeta diretamente a eficiência dos módulos fotovoltaicos, e consequentemente de todo o sistema (Pinho et al. (2014)).

Ao analisarmos todos os componentes que compõem o sistema de geração fotovoltaico percebe-se diversos motivos que acabam diminuindo a eficiência do sistema, sendo as principais: “a queda de tensão no lado DC, queda no lado AC, eficiência do inversor, diodos e conexões, degradação por incidência inicial da luz, transformadores de isolamento, sombreamento e dados incorretos de placa” (Sousa Gomes et al. (2021)).

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos os autores trazem várias equações diferentes, mas que resultam em um valor muito próximo. Para esse trabalho será adaptado

a fórmula de Pinho et al. (2014) e de Sousa Gomes et al. (2021) resultando na equação 1.

$$N_{painéis} = \frac{\text{Consumo}}{30 \cdot HSP} (1 + P) \cdot P_{painéis} \quad (1)$$

No qual:

$N_{painéis}$: é o número de painéis necessário para suprir a demanda;

Consumo : é a média do consumo de energia elétrica em kWh;

HSP : é a média anual de sol pleno incidente no plano do painel fotovoltaico;

P : é todas as perdas envolvidas no sistema fotovoltaico

$P_{painéis}$: é a potência da placa a ser utilizada em kW.

Em posse da Equação 1 é possível calcular a potência instalada do sistema ao multiplicar o número de painéis pela sua potência. Além disso é possível com essas informações dimensionar o inversor de frequência que será instalado junto com os módulos fotovoltaicos para garantir o correto funcionamento do sistema. Para a escolha do inversor algumas questões iniciais precisam ser observadas, como o ambiente onde o equipamento será instalado (interno ou externo), a potência total em módulos, as características ambientais do local de instalação (SANTOS et al. (2016)).

Um dos fatores chave no dimensionamento de um inversor fotovoltaico é a tensão de entrada, sendo ela a soma de tensão de todos os módulos ligados em série. Ao calcular-se a tensão máxima de entrada, ela nunca deve ultrapassar o limite permitido pelo fabricante do inversor, sendo este um dos motivos que mais resulta em danos ao equipamento (Pinho et al. (2014))

Para fazer a associação em série dos módulos fotovoltaicos, deve-se utilizar o pior cenário no qual o sistema irá operar, nesse caso, considerar o inverno, pois a temperatura baixa influencia na alta tensão em corrente contínua (cc), o inversor não se conectou a rede, pela baixa irradiância no local, ou por falhas na rede e para esse cenário deve ser considerado a tensão em circuito aberto. Dessa forma, a associação fica condicionada a tensão em circuito aberto não ultrapassar a tensão máxima de entrada ou a tensão máxima suportada pelo módulo (Pinho et al. (2014))

Além de analisar a tensão em circuito aberto, a corrente de curto-circuito da associação em paralelo dos módulos fotovoltaicos deve ser observado. Cada inversor possui uma corrente máxima de entrada suportada, podendo ela ser independente ou ainda possuir mais de uma entrada conectada. Nestes casos, o fabricante indica qual os limites a serem observados em cada uma das entradas (Pinho et al. (2014)).

2.2 Geração Biomassa

Para o correto dimensionamento de sistemas de geração por meio de biogás devemos considerar primeiramente qual o melhor modelo de biodigestor de acordo com características oriundas de cada tipo de gerador, tais características

deverão ser consideradas na implementação do projeto pois serão particulares de cada propriedade.

Biodigestor modelo Indiano, conforme Figura 2 (a): Caracteriza-se por possuir um gasômetro metálico formando uma campânula no biodigestor, além de manter uma pressão constante em seu interior oriundo do mecanismo de deslocamento vertical do gasômetro este modelo garante um funcionamento adequado com uma concentração de sólidos totais abaixo dos 8%. Por fim uma característica importante deve ser levada em consideração para a escolha deste biodigestor que é o custo mais elevado em relação a outros biodigestores em razão de seu gasômetro metálico (de Luca Bonturi and Van Dijk (2012)).

Biodigestor modelo Chinês, conforme Figura 2 (b): Este modelo de biodigestor é construído basicamente em alvenaria com uma tampa vedada e ele deve ser inteiramente impermeabilizado para evitar vazamentos de gás de seu interior. Diferente do modelo anteriormente citado, este não necessita de um gasômetro para estabelecer o controle de pressão, esta versão basicamente atua no modelo de prensa hidráulica onde o aumento da pressão executa a movimentação do efluente da caixa de fermentação para a caixa de saída e fazendo o processo inverso em caso de descompressão. Em contraponto a biodigestor indiano este possui um custo de implementação menor, porém mais cuidados na implementação devem ser tomados em relação a vedação deste tipo de biodigestor (de Luca Bonturi and Van Dijk (2012)).

Biodigestor tipo Batelada, conforme Figura 2 (c): Este modelo dispõe de uma baixa exigência operacional, sendo que seu abastecimento é necessário somente uma vez por ciclo de produção de biogás ao contrário dos modelos anteriormente apresentados que possuem uma produção contínua e por consequência a alimentação também deve ser contínua, sendo necessária apenas uma alimentação de dejetos por ciclo e é indicada para pequenas produções onde a coleta de dejetos tem longos espaçamentos entre as alimentações dos biodigestores. Pode ser construído em tanques anaeróbios (de Luca Bonturi and Van Dijk (2012)).

Após determinar o melhor modelo de biodigestor conforme a aplicação é necessário estimar o correto número de suínos do rebanho para a implementação do biodigestor, sendo que para tal utilizaremos além da Equação 2, a Tabela 2 também é necessária para o correto dimensionamento de produção (Gonzaga and Barbosa (2016)).

$$P_b = 365 N_s D_s V_{bs} \quad (2)$$

No qual:

P_b : produção anual de biogás (m^3 ano⁻¹);

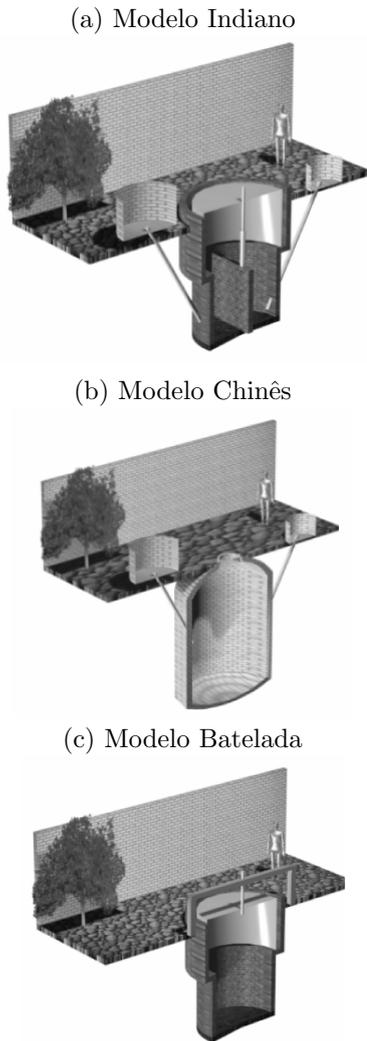
N_s : número total de suínos da granja (adimensional);

D_s : produção diária de dejetos por suíno (kg);

V_{bs} : volume de biogás por quilo de dejetos de suíno (m^3 kg⁻¹).

Com a obtenção do biogás é necessário dimensionar a produção em kw/h que conseguirá produzir a partir deste gás considerando um dado tipo de conversão, em termos

Figura 2. Vista tridimensional dos biodigestores modelos Indiano, Chinês e Batelada.



práticos essa conversão se dará por meio de um motor ciclo Otto e microturbina onde o resultado em Mw/h pode ser obtido por meio da Equação 3 (Gonzaga and Barbosa (2016))

$$E_{mco} = 0,001t PCI B_{restante} n_{motor} \quad (3)$$

No qual:

E_{mco} : energia elétrica gerada por motor ciclo Otto (MWh);

PCI : poder calorífico inferior do biogás (kJ m⁻³);

$B_{restante}$: biogás restante (m⁻³ s⁻¹);

n_{motor} : rendimento do motor ciclo Otto (adimensional);

t : tempo de operação do sistema (h ano⁻¹).

2.3 Geração Híbrida de Energia Elétrica

Chamamos de sistema de geração de energia elétrica híbrida, aquele composto por dois ou mais tipos de geração

de energia interconectados a uma mesma rede de energia elétrica (Reis (2011)).

Os sistemas híbridos podem ser classificados como Geração isolada, o qual não possui conexão com a rede elétrica e Geração distribuída, o qual está conectado junto à rede elétrica (Reis (2017)).

A vantagem da utilização de um sistema híbrido, está na utilização de mais de uma fonte de geração de energia, estas fontes geradoras podem se complementar e reduzir fatores como oscilação e falta de uma das fontes geradoras. Dessa forma na próxima seção será apresentado um sistema de geração de energia híbrida, o qual utiliza geração por biomassa e solar.

3. SISTEMA PROPOSTO

Este trabalho baseia-se na premissa de caracterizar todo o empreendimento por meio de um consórcio ou de uma cooperativa, com o objetivo de enquadrar como geração distribuída de energia elétrica na REN 482/2012, para que os integrantes do empreendimento possam fazer uso da geração compartilhada, sendo “caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão” (ANEEL (2012)).

Com base nisso, escolheu-se a cidade de Palmitinho, localizado no Noroeste do estado do Rio Grande do Sul, por ser o segundo maior produtor de suínos no RS em 2020 (ACSURS - Associação de Criadores de Suínos do Rio Grande do Sul (2020)). E ressalta-se que todos os dimensionamentos de geração de energia elétrica neste estudo podem ser replicados e escalonados, até o montante máximo de 5 MW de potência instalada, aumentando dessa forma a geração de energia elétrica local. A Figura 3 ilustra um fluxo orientativo para dimensionamento de um sistema híbrido de geração de energia elétrica.

Inicialmente foi feito o dimensionamento do sistema de geração de energia por biomassa. Para dimensionar o galpão que irá abrigar no mínimo 60 porcos machos, utilizou-se do site da Embrapa, para encontrar as dimensões mínimas para suportar os animais, e em posse dessas informações, montou-se um galpão medindo 12 metros largura por 25 metros de comprimento e com isso calculou-se a área útil do telhado, com uma inclinação de 30° (J. A. FÁVERO (2003)).

Diante das evidências trazidas e pelos dados analisados, dimensionou-se o telhado para suportar 104 módulos fotovoltaicos de 540 W, mantendo uma distância entre as fileiras para possíveis manutenções e limpezas. Analisando o HSP da cidade, no site da CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (2018), constatou-se que irradiação solar é equivalente a 4,66.

Nesse sistema proposto, somente a geração solar é responsável por uma potência energética instalada de 50,16 kW, produzindo aproximadamente 72,589 MWh ao ano, convertendo essa geração para mês, nota-se uma geração média mensal de 6.049 KWh. Na Tabela 1 é possível visualizar os custos totais da implementação de um sistema fotovoltaico.

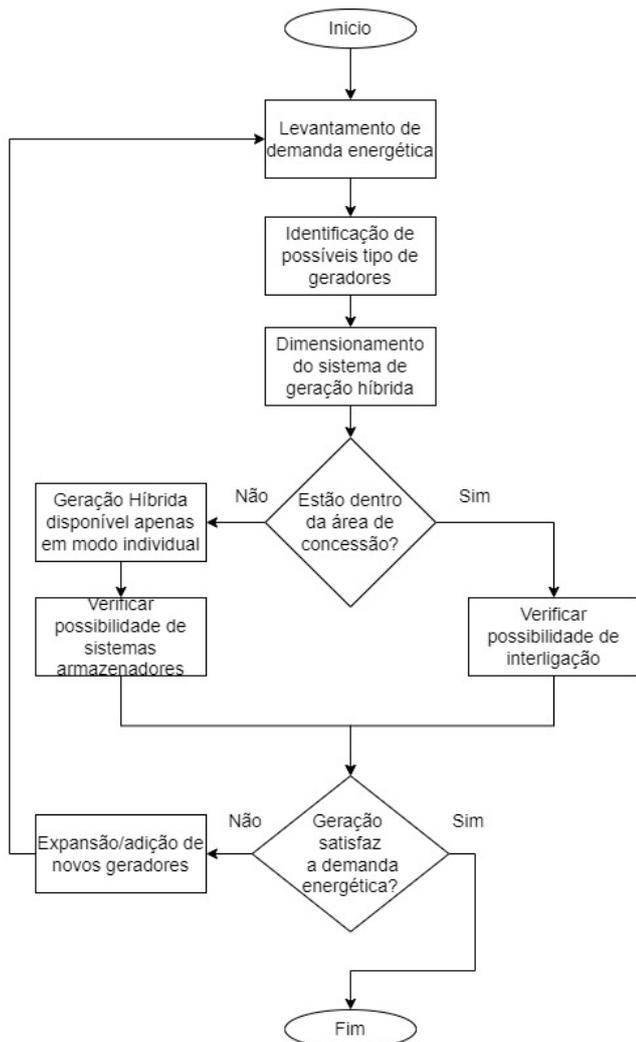


Figura 3. Fluxograma para implementação de um sistema Híbrido de Geração de Energia Elétrica

Para o dimensionamento do biodigestor, utilizou-se como base os trabalhos disponíveis na literatura, tais como Anoune et al. (2018), Wegener et al. (2021), Herdem et al. (2020) e Cano et al. (2020). Para este estudo, usou-se como base 60 suínos machos, produzindo, conforme a Tabela 2 um montante de 180 kg de esterco suíno ao dia, com uma concentração de 25% de sólidos totais. Para reduzir a concentração, utiliza-se 1,852 m³ de água, com Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de 50 dias, com uma capacidade de produzir 0,35 m³ de biogás por kg de esterco.

O modelo de biodigestor escolhido foi o modelo indiano, pois se trata do modelo com maior confiabilidade em confinamento do biogás. Dada a natureza da implementação do sistema, sendo do tipo de geração distribuída, a ocorrência de perdas é um problema que deve ser evitado principalmente em maiores escalas.

Com base nestas informações a produção de biogás diária é equivalente a aproximadamente 63 m³. Para obtermos a produção de energia elétrica diária faremos uma estimativa baseando-se nos dados técnicos fornecido no estudo de REFOSCO (2011), cujo consumo apresentado é estimado em 30 m³/h para uma potência nominal de 50 kW. Com a

Tabela 1. Custos para se construir o sistema solar.

Material	Unid.	Quant.	Preço	Total	%
Módulo Foto-voltaico	Pç	104	R\$ 1.640,72	R\$ 170.634,88	64%
Inversor kW tri	Pç	1	R\$ 16.209,50	R\$ 16.289,50	6%
Cabo Solar	metro	600	R\$ 6,85	R\$ 4.110,00	2%
Conector MC4	Par	12	R\$ 7,00	R\$ 84,00	0%
Fuse ent	Box	6	Pç 2 R\$ 180,00	R\$ 360,00	0%
Estrutura módulos	Pç	26	R\$ 101,25	R\$ 2.632,50	1%
Outros Custos	—	—	—	R\$ 20.000,00	7%
Total de Materiais				R\$ 214.090,88	80%
Mão de obra eletricista	dia	15	R\$ 1.000,00	R\$ 15.000,00	6%
Mão de obra ajudante	dia	15	R\$ 600,00	R\$ 9.000,00	3%
Engenharia	Projeto	1	R\$ 7.200,00	R\$ 7.200,00	3%
Outros Custos	—	—	—	R\$ 22.000,00	8%
Total serviços				R\$ 53.200,00	20%
Total geral				R\$ 267.290,88	100%

Tabela 2. Produção de desejos de suínos conforme .

Categoria	Esterco (kg dia -1)	Esterco + urina (kg dia -1)	Dejetos líquidos (litros dia -1)
Suínos (25-100 kg)	2,30	4,90	7,00
Porca gestão	3,60	11,00	16,00
Porca lactação + leitões	6,40	18,00	27,00
Cachaço	3,00	6,00	9,00
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40

produção diária estimada em 63 m³ de biogás a produção elétrica se dará em um total de 100 kW/h considerando a carga total do gerador e totalizando 2 h de operação diárias.

Após o dimensionamento dos dois geradores de energia elétrica, solar e biodigestor, nota-se que a produção média mensal esperada é igual a 9.049 kWh, se considerado um consumo médio por residência unifamiliar de 450 kWh por mês, esse conjunto de geradores, é suficiente para abastecer 20 residências.

A ligação elétrica e a distribuição das cargas estão representadas na Figura 2. Mostrando que nos períodos em que

Tabela 3. Custos para se construir o biodigestor modelo indiano.

Material	Unid.	Quant.	Preço	Total	%	
Tijolo maciço comum	mil	5,75	R\$ 730,00	R\$ 4.197,5	22%	
Cimento	saco	48	R\$ 31,90	R\$ 1.531,2	8%	
Areia grossa	m ³	1	R\$ 194,90	R\$ 194,90	1%	
Areia fina	m ³	3	R\$ 194,90	R\$ 194,90	3%	
Brita 2	m ³	1,5	R\$ 119,95	R\$ 179,93	1%	
Brita 1	m ³	0,5	R\$ 187,90	R\$ 93,95	0%	
Impermeabilizante	L	27	R\$ 16,66	R\$ 449,85	2%	
Tubo PVC 150 mm	Barra	2	R\$ 302,40	R\$ 604,80	3%	
Registro 50 mm	Esfera	Pç	1	R\$ 28,98	R\$ 28,98	0%
Gasômetro	Pç	1	R\$ 5.486,00	R\$ 5.486,00	29%	
Mangueira cristal 3/4	metro	4	R\$ 3,77	R\$ 15,08	0%	
Ferro galvanizado 3/8	Barra	2	R\$ 26,78	R\$ 53,56	0%	
Tubo galvanizado	Barra	0,5	R\$ 320,58	R\$ 160,29	1%	
Junções	Pç	16	R\$ 4,03	R\$ 64,48	0%	
Registro 32 mm	esfera	Pç	1	R\$ 29,90	R\$ 29,90	0%
Tubo PVC 32 mm	Barra	5	R\$ 60,94	R\$ 304,70	2%	
Tubo PVC 50 mm	Barra	4	R\$ 117,1	R\$ 468,40	2%	
Total de Materiais				R\$ 14.448,22	75%	
Escavação	horas	2,5	R\$ 100,00	R\$ 250,00	1%	
Mão de obra pedreiro	dia	20	R\$ 150,00	R\$ 3.000,00	16%	
Mão de obra sergente	dia	20	R\$ 75,00	R\$ 1.500,00	8%	
Total serviços				R\$ 4.750,00	25%	
Total geral				R\$ 19.198,22	100%	

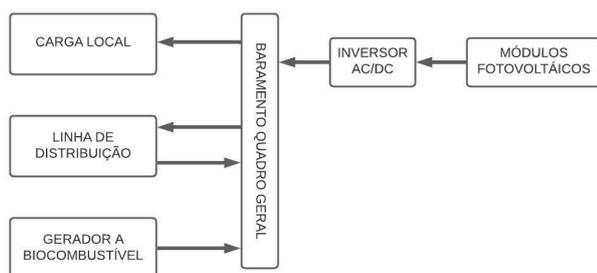


Figura 4. Interconexão elétrica do sistema proposto

a geração não for suficiente para abastecer a granja, a energia consumida será drenada da rede de distribuição. Enquanto, nos períodos que a geração for maior que o consumo instantâneo a potência excedente será enviada para a Linha de distribuição da concessionária.

Nota-se que no sistema proposto, não se faz o uso de baterias para manter o sistema funcionando no caso de falta de rede da concessionária. Isso foi proposital para diminuir os custos iniciais de implementação, bem como, para manter o cerne da proposta que é a implementação de um sistema distribuído de energia no formato de cooperativa. Trazer a fonte de geração para um sistema mesmo que híbrido

em termos de *on-grid* e *off-grid* não beneficiaria todos os cooperados além do alto custo inclusive de manutenção, dadas as trocas de bateria ao longo da vida do sistema.

Por meio de um sistema relativamente compacto dadas as dimensões médias de uma propriedade rural atinge-se uma densidade energética considerável, isso é denotado pelo número de propriedades que podem ser beneficiadas através de um único sistema de geração híbrida. O sistema pode ainda operar na forma de geração de crédito no formato de geração distribuída ou de forma ininterrupta para alimentação direta de propriedades por exemplo. Isso se dá graças ao armazenamento e utilização do biogás, eliminando assim a necessidade de utilização de bancos de bateria reduzindo custos no sistema.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o dimensionamento de um sistema híbrido compostos por energia solar e biomassa, buscando propagar entre os agricultores, uma nova maneira de gestão de recursos, principalmente dos dejetos produzidos pela criação de suínos. Mesmo que de forma lenta, faz-se necessário a compreensão de que aspectos científicos, tecnológicos, socioeconômicos, ambientais e mercadológicos emergentes, apontam que interligados constituem-se como vetores de transformação que influenciam a tendência pela busca constante por processos mais intensivos e sustentáveis.

Uma das vantagens encontradas nesse modelo de geração é a fácil replicação em maiores escalas. Da mesma forma, a adaptação da quantidade de painéis solares e quantidade de suínos, estão interligadas, ou seja, aumentando a quantidade de suínos, terá mais espaço para os módulos solares, aumentando dessa forma a geração de ambos os tipos de energia.

Sendo uma das propostas iniciais do trabalho a criação de uma cooperativa (união entre proprietários próximos) ou de um consórcio, não nos limitamos a encontrar uma geração mínima, uma vez que, quanto mais convenientes ou sócios, maior será a demanda de geração. Entretanto, ao analisar a viabilidade econômica da planta, além de um bom proveito dos recursos, o investimento é justificável pelo payback (retorno do investimento) em torno de 3 anos e 9 meses.

REFERÊNCIAS

- ACSURS - Associação de Criadores de Suínos do Rio Grande do Sul (2020). Abate de suínos no rs 2020. Disponível em: <https://acsurs.com.br/suinocultura/producao-e-abate/>. Acessado em: janeiro de 2022.
- Al-Shahri, O.A., Ismail, F.B., Hannan, M., Lipu, M.H., Al-Shetwi, A.Q., Begum, R., Al-Muhsen, N.F., and Soujeri, E. (2021). Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 284, 125465.
- ANEEL (2012). Resolução normativa número 482.
- ANEEL (2015). “proret - submódulos,” em submódulo 2.3 base de remuneração regulatória.
- Anoune, K., Bouya, M., Astito, A., and Abdellah, A.B. (2018). Sizing methods and optimization techniques for pv-wind based hybrid renewable energy system: A

- review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 652–673.
- Cano, A., Arévalo, P., and Jurado, F. (2020). Energy analysis and techno-economic assessment of a hybrid pv/hkt/bat system using biomass gasifier: Cuenca-ecuador case study. *Energy*, 202, 117727.
- CRESESEB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (2018). Produção suínos. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>. Acessado em: novembro de 2021.
- de Luca Bonturi, G. and Van Dijk, M. (2012). Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais. *Revista Ciências do Ambiente On-Line*, 8(2).
- Ghayoor, F., Swanson, A., and Sibanda, H. (2021). Optimal sizing for a grid-connected hybrid renewable energy system: A case study of the residential sector in durban, south africa. *Journal of Energy in Southern Africa*, 32(4), 11–27.
- Gonzaga, D.A. and Barbosa, R.C. (2016). Estimativa do tamanho mínimo de rebanho suíno para a implementação de sistema de geração de energia elétrica de 35 kwh, 150 kwh, 275 kwh e 590 kwh, usando biogás como combustível para grupos de geradores.
- Herdem, M.S., Mazzeo, D., Matera, N., Wen, J.Z., Nathwani, J., and Hong, Z. (2020). Simulation and modeling of a combined biomass gasification-solar photovoltaic hydrogen production system for methanol synthesis via carbon dioxide hydrogenation. *Energy Conversion and Management*, 219, 113045.
- J. A. FÁVERO, A. KUNZ, A.F.G.C.J.M.J.D.K.J.V.L.N.M.P.G.d.A.e.P.R.S.d.S. (2003). Produção suínos. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/construcao.html>. Acessado em: novembro de 2021.
- Pinho, J.T., Galdino, M.A., et al. (2014). Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. *Rio de Janeiro*, 1, 47–499.
- REFOSCO, D. (2011). Utilização de resíduos da suinocultura para produção de energia através do biogás e fertilizantes orgânicos estudo de caso: Granja marmentini - dois vizinhos - pr. Disponível em: <https://lactec.org.br/dissertacoes/>. Acessado em: novembro de 2021.
- Reis, L.B.D. (2011). Geração de energia elétrica (2nd edição). In *Editora Manole*.
- Reis, L.B.D. (2017). Geração de energia elétrica (3rd edição). In *Editora Manole*.
- Sampaio, A.S. et al. (2021). Planejamento da expansão de sistemas de distribuição de energia elétrica considerando a aplicação do índice de aproveitamento de subestações.
- SANTOS, F.A., SOUZA, C.A.d., and DALFIOR, V.A.O. (2016). Energia solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em ipatinga-mg. *Simpósio de excelência em Gestão e Tecnologia, XIII, Rio de Janeiro, RJ*.
- Sousa Gomes, F., Sousa, A.P.C., Avelino, L.C.D.C., Gomes, R.F., and Miranda, J.E.S. (2021). Instalação de sistema fotovoltaico na faculdade de iporá-fai.
- Wegener, M., Schneider, J.V., Malmquist, A., Isalgue, A., Martin, A., and Martin, V. (2021). Techno-economic optimization model for polygeneration hybrid energy storage systems using biogas and batteries. *Energy*, 218, 119544.
- Yoro, K.O., Daramola, M.O., Sekoai, P.T., Wilson, U.N., and Eterigho-Ikelegbe, O. (2021). Update on current approaches, challenges, and prospects of modeling and simulation in renewable and sustainable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111506.