

CASE
------

**PRÊMIO GLP INOVAÇÃO E TECNOLOGIA**

Título

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE GLP PARA  
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COMPLEMENTAR PARA  
USINAS SOLARES EM SISTEMAS ISOLADOS**

Categoria

**APLICAÇÕES DE GLP**

**SINOPSE**

O uso de fontes de energias renováveis e alternativas vem sendo estimulado e tem crescido nos últimos anos, tendo a energia solar gerando 2,6% da matriz energética nacional. Porém, para poder democratizar e expandir o uso em regiões afastadas do território nacional, é preciso realizar a busca por alternativas que possam viabilizar o uso de sistemas isolados. Para tanto, neste estudo propõe-se analisar a viabilidade técnica e econômica de se utilizar gases combustíveis como fonte complementar de energia em sistemas isolados, de modo a substituir os sistemas de armazenamento em baterias atualmente utilizados. Dessa forma, esse estudo consiste em verificar por meios tradicionais e de simulações uma usina híbrida de geração de energia elétrica composta pelas fontes solar e gás LP, voltada para aplicações isoladas a rede.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Off Grid, On Grid, Usinas Híbridas, Gás Liquefeito de Petróleo

## SUMÁRIO

1.	BREVE HISTÓRICO DA UNIVERSIDADE E DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO.....	3
1.1.	Participantes do Case .....	4
2.	INTRODUÇÃO.....	5
3.	CONCEITOS BÁSICOS .....	6
4.	VIABILIDADE DO USO DO SISTEMA OFF GRID .....	8
4.1.	Possibilidades do uso do GLP .....	8
4.2.	Viabilidade técnica de equipamentos híbridos ou alimentados a Gás Liquefeito de Petróleo.....	11
5.	ESTUDO DE CASO: VIABILIDADE TÉCNICA NO OFF GRID.....	13
6.	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	15
6.1.	Custos básicos para um sistema solar Off-Grid tradicional .....	15
6.2.	Custos básicos para um sistema híbrido Off-Grid Gás e Solar .....	15
6.3.	Índices econômicos.....	16
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18

## 1. BREVE HISTÓRICO DA UNIVERSIDADE E DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

O Campus Experimental de Sorocaba iniciou suas atividades em 2003 com a criação de dois cursos de graduação: Engenharia Ambiental e Engenharia de Controle e Automação (ECA). No ano de 2015, o Campus de Sorocaba (CS) teve seu processo de consolidação em unidade universitária da UNESP, sendo denominado Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba. Essa consolidação resultou diretamente da qualidade da atuação do Campus nas dimensões de ensino, pesquisa e extensão.

O curso de ECA, embora tenha algumas características multidisciplinares, é fortemente ligado à área de Engenharia Elétrica. De fato, isso pode ser observado pela formação de seus docentes, sendo que dos 19 docentes atuais do curso, 11 têm formação (Graduação e Pós-graduação) em Engenharia Elétrica. Como foi exposto anteriormente, desde o início um corpo docente de excelência tem sido formado, o que pode ser comprovado nesta proposta através da produção científica dos seus docentes.

A mesma afirmação pode ser feita com relação aos docentes do Campus Experimental de São João da Boa Vista (CESJBV), que iniciou suas atividades em 2013, mesclando juventude e experiência na formação de seus docentes, predominantemente na área de Engenharia Elétrica, e com produção científica expressiva, o que também pode ser constatado nesta proposta. O CESJBV possui um curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações, fortemente ligado a área de Engenharia Elétrica.

Embora o CS e o CESJBV não possuam programa de pós-graduação na área de Eng. Elétrica, parte de seus docentes tem conseguido atuar em programas de pós-graduação na UNESP, ou fora da UNESP, coorientando trabalhos na UNICAMP, USP ou ITA. Ademais, além da produção científica expressiva, os docentes também têm consistentemente obtido financiamento para suas pesquisas por parte de agências de fomento, como pode ser observado nessa proposta. Com isso, importa dizer que esses docentes, embora atuem em programas com sede fora dos campi de Sorocaba e de SJBV, sempre realizaram suas pesquisas em seus campi de origem, obtendo financiamento e contribuindo para o desenvolvimento dos campi.

Com isso fica claro que a atividade de pesquisa e atuação na pós-graduação está presente entre os docentes do CS, e entre os docentes do CESJBV. A criação do curso de Pós-graduação Inter unidades em Engenharia Elétrica, envolvendo ambos os campi e outros que possam ter interesse futuro no programa, certamente impulsionará a atividade de pesquisa nesses Campi, permitindo a forte ampliação da formação de recursos humanos nessas áreas – neste momento Sorocaba e de SJBV – e proporcionando uma aceleração no desenvolvimento dos Campi e suas regiões

### 1.1. Participantes do Case

**Eduardo Verri Liberado**, Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela UNESP (2009), com Mestrado em Engenharia Elétrica pela UNESP (2012), e doutorado em Engenharia Elétrica pela UNICAMP, atua como docente na UNESP desde 2019, tendo ministrado disciplinas nos cursos de Graduação em Engenharia de Energia e Engenharia de Controle e Automação. Docente credenciado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica ICTS/SJBV-UNESP, atuando na linha de pesquisa de Sistemas de Energia e ministrando a disciplina "Fontes Renováveis de Energia" a partir de março de 2022.

E-mail: [verri.liberado@unesp.br](mailto:verri.liberado@unesp.br), Telefone: (15) 3238-3463

**Wellington César de Araújo**, Mestrando em Engenharia Elétrica na área de Sistemas de Energia. Engenheiro Produto com 10 anos de experiência no desenvolvimento de aplicações para o mercado de gases combustíveis. Graduado em Tecnologia em Projetos Mecânicos e bacharel em Engenharia Mecânica, especialista em Gestão de Projetos e Inovação

E-mail: [wellington.c.araujo@unesp.br](mailto:wellington.c.araujo@unesp.br)

## 2. INTRODUÇÃO

A busca por matrizes energéticas mais sustentáveis vem aumentando nos últimos anos, e o uso de energia proveniente de fontes solares alternativas está no radar quando se pensa neste assunto, com a capacidade anual de produção de energia solar ultrapassando 488 GWp em 2020 [1], mas no Brasil a capacidade no mesmo período era de 2.416 MW de potência instalada, aumentando para 15.001 MW em março de 2022 [2]. Dessa forma, é possível verificar que o Brasil ainda tem muito potencial a explorar, considerando que em sua matriz energética a Energia Solar Fotovoltaica representa 2,6% ou 4.974 MW [2]. Diante desse cenário de possibilidades de expansão da matriz, há necessidade de atender demandas em localidades remotas onde a eletricidade convencional não tem condições de atender a população, seja por dificuldades na instalação de linhas de transmissão de energia elétrica ou por dispendiosos sistemas solares off-grid baseados em baterias [3]. Assim, este artigo apresenta uma simulação básica de uma usina solar híbrida com sistema de backup complementar de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), considerando aplicações em locais que não possuem outra fonte de energia elétrica. A próxima seção apresenta definições básicas de conceitos importantes, a terceira e quarta seções descrevem os parâmetros técnicos de viabilidade e um estudo de caso do sistema híbrido solar-GLP, e na quinta seção é apresentada uma viabilidade econômica do sistema híbrido com comparações com um sistema tradicional sistema solar fora da rede, e na última seção são feitas conclusões.

### 3. CONCEITOS BÁSICOS

Fontes Alternativas de Energia podem ser definidas como fontes de energia não convencionais, ou seja, diferentes daquelas utilizadas na maior parte da matriz energética (geralmente hidrelétricas, termelétricas a carvão e petróleo e nucleares). Alguns exemplos de fontes alternativas são pequenas centrais hidrelétricas, geradores eólicos, sistemas solares térmicos, sistemas fotovoltaicos e usinas termelétricas e microturbinas movidas a gás natural. [4]

Fontes de Energia Renováveis são fontes de energia cuja reserva é sempre renovada, ou seja, inesgotável segundo os padrões humanos de utilização. Pode ou não ser uma alternativa, já que, por exemplo, a Energia Hidrelétrica, que é a maior matriz energética do Brasil, é uma fonte de energia que depende de reservatórios de água e só cessaria com uma intervenção que esgotasse a bacia hidrográfica da usina elétrica. Outra fonte é o Sol, que fornece a energia primária para que a vida na Terra seja possível, e seu fechamento como estrela acabaria com a vida no planeta. Assim, outros exemplos são a Energia Solar Fotovoltaica (PV) e a energia eólica como fontes de obtenção de energia elétrica. [4]

Fontes de energia não renováveis são fontes de energia que dependem de uma reserva finita de matéria-prima para serem obtidas. Como exemplo, existem os combustíveis fósseis, incluindo gás natural, gás liquefeito de petróleo, gasolina e carvão. Estas energias devem ser utilizadas com algum critério, porém, em alguns casos têm a grande vantagem de serem utilizadas em locais de difícil acesso e serem armazenadas para abastecimentos de emergência. [4]

As fontes de energia limpa estão sempre associadas a fontes de energia renováveis e alternativas, mas não é possível considerar uma verdade absoluta. Por exemplo, a energia eólica pode ter um impacto ambiental através da morte de pássaros, do ruído e da modificação da paisagem. Os painéis solares em sua fabricação utilizam componentes tóxicos. As usinas hidrelétricas causam grande impacto ambiental na região onde estão instaladas suas barragens. Por outro lado, a energia nuclear pode ter menos impacto na sua construção e operação padrão, mas pode causar grandes impactos quando há falhas nas operações, dado o histórico de acidentes ocorridos em todo o mundo (e.g., Chernobyl, Fukushima).

Porém, quando se trata de geração de eletricidade, as fontes alternativas e renováveis causam impactos ambientais muito menores em comparação com as fontes de energia fósseis. [4]

O sistema off-grid, também conhecido como sistema autônomo ou sistema isolado, é um tipo de sistema em que a fonte de energia elétrica não está conectada à rede principal [4]. É um sistema que pode ser utilizado em qualquer lugar do planeta, inclusive em locais isolados. No caso de uma fonte de energia solar fotovoltaica fora da rede, ela consiste basicamente em painéis, inversores, controlador de carga e baterias. Pode ser utilizado em diversas aplicações e atende regiões onde a eletricidade tradicional ainda não chegou. [4]

O Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), também chamado no Brasil de gás de cozinha devido ao seu uso na culinária de alimentos, é uma das frações mais leves do petróleo e sua queima é muito limpa, com baixíssima emissão de poluentes. [5] É um gás que está presente em 90% das residências brasileiras e em 100% das cidades. Portanto, é uma das fontes de energia mais acessíveis à população, com a vantagem de ser transportável e armazenável em contentores para utilização futura. [6]

As Usinas Híbridas (UHs) podem ser definidas como uma usina com duas ou mais fontes de energia complementares. [7] Em todo o mundo, existem alguns estudos sobre UHs compostas por uma combinação de fontes de energia, por exemplo, utilizando biogás, energia eólica e solar na África do Sul [8]; ou solar e eólica, que é a associação mais popular de fontes de energia como uma UHE, como ocorre na Noruega [9] e na Califórnia nos EUA [10], por exemplo. Neste trabalho, a Usina Híbrida consiste em associar a energia solar ao GLP.

#### 4. VIABILIDADE DO USO DO SISTEMA OFF GRID

Para analisar alternativas aos sistemas fotovoltaicos off-grid com baterias, é necessário considerar dois aspectos: técnico e financeiro. Do ponto de vista técnico, o sistema de gás combustível deve garantir o fornecimento contínuo de energia quando a fonte fotovoltaica estiver desligada, atendendo às necessidades básicas do usuário. Do ponto de vista financeiro, será necessário analisar se, depois de comprovada a viabilidade técnica, a utilização de gases combustíveis como complemento da energia solar é de facto mais barata do que a utilização de baterias, considerando os custos iniciais e o período de retorno (retorno do investimento). O foco deste estudo serão as pequenas unidades agrícolas, que na sua maioria podem nem ter acesso à eletricidade.

##### 4.1. Possibilidades do uso do GLP

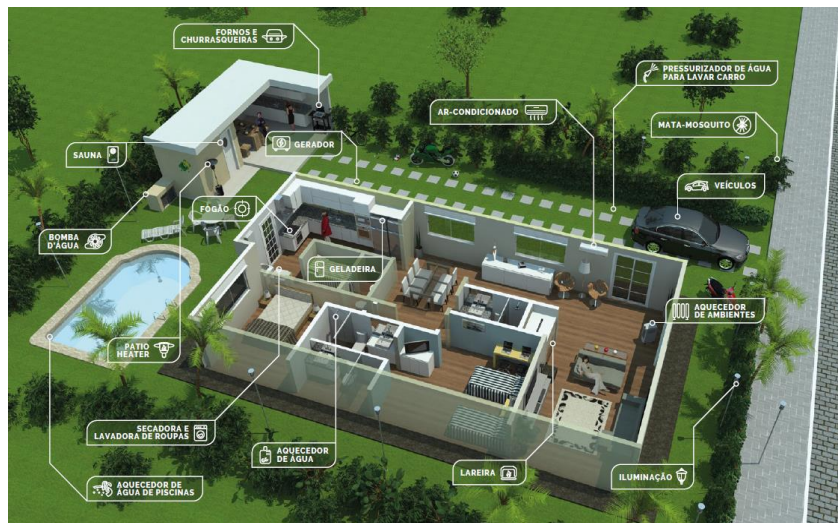
Apesar de acessível na maior parte do país, ao pensar no uso do gás liquefeito de petróleo, lembra seu uso mais comum (cozinhar alimentos), por isso seu nome popular no Brasil é gás de cozinha. Contudo, esta é uma visão extremamente simplificada das possibilidades de utilização do GLP.

Segundo cartilha do SINDIGAS (Sindicato Nacional dos Distribuidores de Gás Liquefeito de Petróleo), também existe a possibilidade de utilização do gás para aquecimento de água; na climatização de ambientes internos e externos; em lareiras; grelhadores; geladeiras e freezers; ar-condicionado; lavadoras e secadoras de roupas; aquecimento de piscina; saunas, geradores etc. Vale lembrar que atualmente existe por lei a proibição de seu uso no aquecimento de piscinas, saunas, motores e caldeiras. Esta proibição remonta ao período da Guerra do Golfo e deveu-se ao receio de escassez de petróleo no mercado e não necessariamente a restrições técnicas. [6]

A Figura 1 apresenta os diferentes campos de aplicação nos quais é possível utilizar Gás LP ou outro gás combustível similar.



Figura 1 - Possibilidades de uso do GLP



Fonte: SINDIGAS, 2022

Uma aplicação que pode ser vista como destaque é o Gerador de Energia movido a gás. Esses geradores podem ser de diferentes tamanhos e capacidades e podem ser utilizados como back-up para complementar sistemas de energia, conforme modelo apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Modelo de gerador a gás



Fonte: SINDIGAS, 2022

É possível dividir os ramos de aplicações de GLP em dois grupos principais:

- Uso direto: quando o gás é queimado diretamente para a aplicação do usuário final, como cozinhar alimentos, aquecer água, controlar a temperatura do ambiente
- Uso indireto: quando o gás é transformado em outra forma de energia para atender às necessidades do usuário, como ocorre, por exemplo, em geradores de energia elétrica.

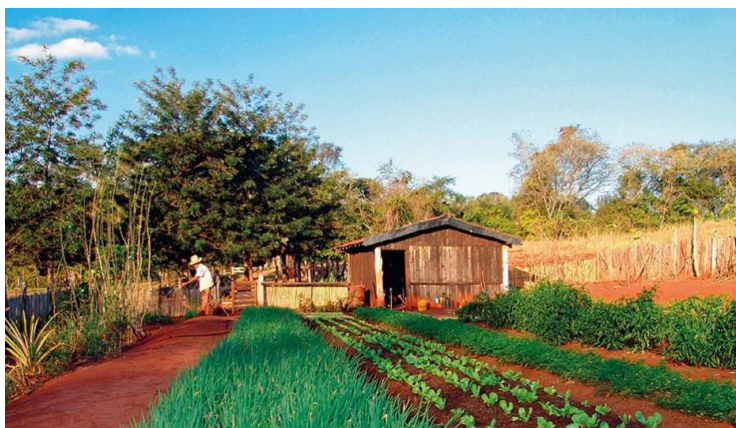
Neste case, o foco da análise de viabilidade será verificar a possibilidade de utilização de ambos os tipos de aplicação em pequenas localidades rurais (ou agricultura familiar). A título de informação, a agricultura familiar é responsável por uma extensão de 80,9 milhões de hectares, o que corresponde a 23% da extensão agrícola total no Brasil [12]. Esse tipo de propriedade é responsável pelo emprego de mais de 10 milhões de pessoas no Brasil e fornece 48% do café e da banana, 69% do abacaxi, 42% do feijão e 80% da produção de mandioca no Brasil [12]. Uma pequena localização rural é definida como uma extensão de um máximo de quatro módulos fiscais e utilização de emprego familiar [12]. Um módulo fiscal tem dimensão de 5 a 110 hectares e é determinado para cada regulamentação estadual. [13] Nas Figura 3 e Figura 4 é apresentada uma visão geral de pequenas localidades rurais.

Figura 3 - Trabalho em uma pequena propriedade ou Agricultura Familiar



Fonte: G1.globo.com,2023

Figura 4 - Visão geral de uma pequena propriedade rural



Fonte: masterjuris.com.br

Estima-se que existam 141 mil casas no Brasil sem acesso à energia elétrica. Mas é uma base de dados subestimada porque na região Norte e Noroeste do país não há dados precisos. Na Amazônia Legal, 990 mil pessoas não têm acesso à energia elétrica. [16] O ponto principal deste artigo é apresentar alternativas para fornecer acesso à energia elétrica a esta grande parte da população brasileira.

#### **4.2. Viabilidade técnica de equipamentos híbridos ou alimentados a Gás**

##### **Liquefeito de Petróleo**

Os equipamentos que seriam de primeira necessidade para um dia a dia confortável e que atendem às necessidades básicas em áreas remotas podem ser agrupados da seguinte forma:

##### 4.2.1. Cozinhar e refrigerar alimentos:

Para cozinhar alimentos, os fogões a gás são os mais difundidos no mercado e não são difíceis de conseguir. A maior dificuldade está em encontrar geladeiras e freezers a gás, modelos utilizados em autocaravanas e reboques, onde não há acesso à energia elétrica. O modelo ideal para esse tipo de aplicação seria o modelo híbrido, que poderia utilizar energia solar durante o dia e ser complementado com gás LP durante a noite. Um modelo de exemplo é o DOMETIC DM2862 2 vias (Figura 5) [17].

##### 4.2.2. Aparelhos a gás

Chuveiros a gás ou chuveiros equipados com aquecedor a gás são fáceis de obter no mercado e seu preço é relativamente acessível, conforme discutido nos resultados. Existe também a opção de instalação de chuveiros com mais de um registro para obtenção de água aquecida de forma híbrida (tanto aquecimento a gás quanto possível aquecimento solar durante o dia).

##### 4.2.3. Aquecimento e resfriamento de ambientes:

A utilização de equipamentos de ar-condicionado a gás já é uma realidade em

alguns estados do Brasil, especialmente na região metropolitana de São Paulo. Então, do ponto de vista técnico, não haveria restrição ao uso de ar-condicionado a gás em áreas remotas, mas é preciso verificar a sua viabilidade econômica.

Figura 5 - Refrigerador modelo híbrido



Fonte: Dometic

#### 4.2.4. Iluminação e demais eletrodomésticos

Esses equipamentos não são alimentados diretamente por GLP, sendo necessária a utilização de geradores a gás. Para reduzir a necessidade de demanda energética do gerador a gás, considera-se que as máquinas de lavar só seriam utilizadas quando a energia da base solar estivesse disponível, assim como os carregadores de celulares e notebooks possuem baterias internas para uso emergencial durante a noite. Assim, o gerador de gás seria responsável por alimentar as lâmpadas LED e demais aparelhos de baixo consumo (ventiladores elétricos, televisores etc.) durante a noite.

Portanto, do ponto de vista técnico, é possível considerar a utilização do GLP como fonte de energia complementar à energia solar fotovoltaica em sistemas off-grid. A próxima seção apresenta um estudo de caso de viabilidade técnica com cálculos de consumo.

## 5. ESTUDO DE CASO: VIABILIDADE TÉCNICA NO OFF GRID

A Tabela 1 apresenta o consumo médio diário das famílias (adaptado de [18]) que será usado como base para projetar um sistema híbrido de combustível solar e gás fora da rede.

Tabela 1 - Consumo residencial, adaptado de RENDEIRO

Aparelhos elétricos	Qtd.	Período de uso	Potência (W)	Consumo médio diário (kWh)
Aparelho de som 3 em 1	1	09:00-12:00	80	0,2400
Batedeira	1	11:00-11:30	120	0,0600
Bomba d'água 1/4 cv	1	06:00-06:15; 18:00-18:15	335	0,1675
Cafeteira elétrica	1	06:00-06:30; 15:00-15:30	600	0,6000
Chuveiro elétrico	1	06:30-06:40; 18:00-18:20	3500	1,7500
Circulador ar pequeno/médio	1	22:00-06:00	90	0,7200
Computador/impressora/estabilizador	1	19:00-22:00	180	0,5400
Ferro elétrico automático	1	15:00-16:00	1000	1,0000
Geladeira 1 porta	1	00:00-24:00	90	2,1600
Lâmpada fluorescente compacta - 11W	9	19:00-24:00	11	0,4950
Lavadora de roupas	1	09:00-10:00	500	0,5000
Liquidificador	1	07:00-07:15	300	0,0750
Secador de cabelos pequeno	1	19:00-19:15	600	0,1500
TV em cores - 20"	2	11:00-13:00; 19:00-22:00	90	0,9000
Ventilador de teto	2	12:00-14:00; 23:00-05:00	120	1,9200
Ventilador pequeno	1	12:00-14:00; 23:00-05:00	65	0,5200
VCR/ DVD Player	2	21:00-23:00	10	0,0400
TOTAL				11,8375

Fonte: elaborado pelo autor

Considerando que a energia solar estará disponível durante o dia, e sem utilizar um sistema de baterias, o cálculo da energia que deverá ser fornecida por geradores a gás ou diretamente a gás é apresentado na Tabela 2. O uso de computadores foi excluído do cálculo considerando que a bateria do equipamento pode ser totalmente carregada durante o dia, para reduzir o uso de gás.

Dos 6,0217 kWh de energia total da Tabela 2, o consumo do chuveiro elétrico pode ser reduzido com a instalação de um chuveiro a gás para uso noturno (1,1667 kWh), que aqueceria a água diretamente. Portanto, a energia necessária do gerador elétrico a gás seria de 4,8550 kWh. Durante pesquisa em um local de venda de geradores, foi encontrado um modelo com capacidade de até 6,5 kWh e consumo de 1,8 kg/h de GLP em sua capacidade máxima (Figura 6 - Gerador a gás LP SP8000EB).

Tabela 2 - Capacidade a ser suprida pelo gerador

Aparelhos elétricos	Qtd.	Período de uso	Potência (W)	Consumo médio diário (kWh)
Chuveiro Elétrico	1	18:00-18:20	3500	1,1667
Circulador de ar pequeno/médio	1	22:00-06:00	90	0,7200
Geladeira 1 porta	1	00:00-06:00; 18:00-24:00	90	1,0800
Lâmpada fluorescente compacta 11W	9	19:00-24:00	11	0,4950
Secador de cabelos pequeno	1	19:00-19:15	600	0,1500
TV em cores - 20"	2	19:00-22:00	90	0,5400
Ventilador de teto	2	23:00-05:00	120	1,4400
Ventilador pequeno	1	23:00-05:00	65	0,3900
VCR / DVD Player	2	21:00-23:00	10	0,0400
TOTAL				6,0217

Fonte: elaborado pelo autor

Considerando um fator de simultaneidade de 50%, o consumo mensal de gás é de 324 kg de GLP, que pode ser abastecido por recargas mensais de 2 botijões P190 ou 8 botijões P45, que também possuem capacidade de vaporização natural superior a 2,0 kg/h de GLP. (P45 dois cilindros em série), o que mostra que a opção pela utilização do gás LP como energia suplementar é tecnicamente possível. O projeto do sistema solar fotovoltaico é apresentado na próxima seção.

Figura 6 - Gerador a gás LP SP8000EB



Fonte: lojassgeradores.com.br, 2022

## 6. VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica é realizada comparando o sistema híbrido proposto com um sistema solar fotovoltaico equivalente fora da rede que inclui um sistema de bateria estacionária. É calculada a quantidade de baterias estacionárias para suprir o consumo fora do período de geração de energia solar e seus custos de instalação são comparados aos custos do gerador a gás projetado anteriormente. O consumo considerado é o mesmo apresentado na Tabela 1.

### 6.1. Custos básicos para um sistema solar Off-Grid tradicional

A abordagem para projetar o sistema fotovoltaico e as baterias estacionárias é definida em [4]. Os dados de radiação solar adotados foram da cidade de Sorocaba (SP). Além disso, considerando uma autonomia padrão de 2 dias, o sistema off-grid projetado é composto por 16 módulos fotovoltaicos e 96 baterias estacionárias de 12 V. A Tabela 3 apresenta os custos estimados dos componentes projetados.

Tabela 3 - Custos básicos de para utilização sistema Off-Grid

Produto	Fornecedor	Preço	Qtd.	Preço por produto
Módulo Fotovoltaico	Canadian	R\$ 941,42	16	R\$ 15.062,72
Bateria Estacionária	Moura 12V	R\$ 1.580,07	92	R\$ 145.366,44
Controlador de carga 40A	NeoSolar Energia	R\$ 1.299,00	1	R\$ 1.299,00
Inversor Solar	NeoSolar Energia	R\$ 1.499,00	1	R\$ 1.499,00
Custo total				R\$ 163.227,16

Fonte: elaborado pelo autor

### 6.2. Custos básicos para um sistema híbrido Off-Grid Gás e Solar

No sistema híbrido, temos o gerador a gás e a central de gás possui 4 cilindros P45, sendo 2 para uso simultâneo e 2 de reserva, com média de consumo aproximada de 2 cilindros por mês, considerando um fator de simultaneidade de 25% a noite. O fator de simultaneidade é a probabilidade de uso de todos os aparelhos ao mesmo tempo, e que deve ser estimada pelo projetista no início do projeto. O sistema solar é composto por 8 módulos, e para evitar falta de energia durante 6 horas do dia, também foi projetado o uso de 6 baterias estacionárias. A Tabela 4 apresenta os custos estimados para os componentes que compõem o sistema.

**Tabela 4 - Custos do sistema Off-Grid com GLP complementar**

Produto	Fornecedor	Preço	Qtd.	Preço por produto
Módulo Fotovoltaico	Canadian	R\$ 941,42	8	R\$ 7.531,36
Bateria Estacionária	Moura 12V	R\$ 1.580,07	6	R\$ 9.480,42
Controlador de carga 40A	NeoSolar Energia	R\$ 1.299,00	1	R\$ 1.299,00
Inversor Solar	NeoSolar Energia	R\$ 1.499,00	1	R\$ 1.499,00
Central de gás com 4 P45	Consigaz Peças	R\$ 1.076,10	1	R\$ 1.076,10
Cilindro P45	Ultragaz	R\$ 850,00	4	R\$ 3.400,00
Gerador a Gás	Tekna	R\$ 6.855,00	1	R\$ 6.855,00
Custo total				R\$ 31.140,88

Fonte: elaborado pelo autor

### 6.3. Índices econômicos

Das Tabela 3 e Tabela 4, é possível encontrar o *Break-Even Point* (BE), em português Ponto de Equilíbrio, entre o custo do sistema solar fotovoltaico Off-Grid (OG) e o sistema híbrido solar e gás LP Off-Grid (OG\_LPG). Nesse caso, o BE corresponde ao período em anos para equalizar os custos em ambos os sistemas.

$$OG(t) = OG\_LPG(t)$$

$$CAPEXOG + OPEXOG * t = CAPEXOG\_LPG + OPEXOG\_LPG * t \quad (1)$$

Onde CAPEX são os custos iniciais totais de cada sistema (Tabela 3 e Tabela 4) e OPEX são os custos operacionais anuais de cada sistema. Para a energia solar fotovoltaica off-grid,  $OPEXOG = (0,005 * CAPEXOG)$ , enquanto para a energia solar híbrida e gás LP off-grid também é necessário considerar o custo de recarga do botijão de gás, estimado em R\$ 290,00 por recarga, com 2 recargas por mês. Então:  $OPEXOG\_LPG = 0,005 * CAPEXOG\_LPG + R\$6.960,00$ . Ao isolar t na eq. (1) e aplicando os valores de CAPEX e OPEX de cada sistema:

$$BE = t = (163.227,16 - 31.140,88) / (7.115,70 - 816,14)$$

$$BE = 20.96 \text{ Years}$$

Com o atual preço de recarga de cilindros P45, o custo do sistema híbrido solar e GLP irá se equalizar com o custo do sistema Off-Grid solar fotovoltaico in quase 21 anos, mas com um investimento inicial muito menor. Então, o sistema híbrido solar e gás Off-Grid pode ser considerado viável do ponto de vista econômico.

Entretanto, a análise econômica pode ser aprimorada com o cálculo de outros índices econômicos, como o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno



(TIR) e *payback* simples. Assim, as seguintes estimativas foram feitas:

A. O fluxo de caixa líquido anual é calculado como a diferença entre o custo anual da energia conforme foi consumida da rede (consumo de energia\*tarifa de serviços públicos) e o OPEX anual de cada sistema fora da rede.

B. O período de análise adotado é de 30 anos, para os quais o consumo anual de energia é fixo, mas a tarifa da concessionária aumenta anualmente de acordo com uma taxa fixa de reajuste tarifário. Essa taxa de reajuste foi calculada como uma média de 10 anos da taxa média de reajuste tarifário brasileira [20], considerando o período entre 2013 e 2022.

C. O ano de *payback* é o primeiro ano com fluxo de caixa acumulado positivo no período de análise.

D. A taxa de desconto adotada para o cálculo do VPL e da TIR é de 1%, uma vez que é o valor da taxa de juros comumente adotado para o financiamento de sistemas solares fotovoltaicos [21].

Assim, a Tabela 5 apresenta os dados utilizados para calcular o fluxo de caixa líquido anual, o VPL, a TIR e o *payback*, enquanto a Tabela 6 apresenta os resultados dos índices econômicos para os dois sistemas fora da rede.

Os resultados da Tabela 6 mostram que em ambos os casos o VPL é positivo e a TIR é maior que a taxa de desconto, indicando que ambos os sistemas são viáveis. O ano de retorno de ambos os sistemas está próximo da vida útil operacional dos módulos solares fotovoltaicos, o que pode reduzir a atratividade do investimento. No entanto, a tarifa de energia pode ser mais elevada em outras regiões rurais do Brasil do que a adotada neste estudo de caso, o que pode melhorar a viabilidade econômica do sistema híbrido fora da rede proposto em relação a um sistema ligado à rede em áreas remotas.

Tabela 5 - Parâmetros iniciais para calcular VPL, TIR e *payback* simples

Consumo anual de energia	4630.69 kWh
Tarifa de energia (instalação rural)	R\$ 0,73/kWh
Taxa de reajuste de tarifa anual	7,50%
Taxa de desconto	1,00%
CAPEX <sub>OG</sub>	R\$ 163.227,16
OPEX <sub>OG</sub>	R\$ 816,14/year
CAPEX <sub>OG_LPG</sub>	R\$ 31.140,88
OPEX <sub>OG_LPG</sub>	R\$ 7.115,70

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 6 - Índices econômicos para os sistemas Off-Grid

<b>Sistema Off-Grid</b>	<b>VPL</b>	<b>TIR</b>	<b>Payback simples</b>
Solar fotovoltaico + Baterias	R\$ 82.377,52	3%	24 anos
Híbrido solar fotovoltaico & GLP	R\$ 51.886,37	4%	25 anos

Fonte: elaborado pelo autor

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste case foi possível ter uma melhor perspectiva do cenário nacional brasileiro para a realização de instalações off-grid e encontrar alternativas para a democratização da energia elétrica no país, de forma sustentável.

O primeiro obstáculo é a necessidade de investimento, que num país em desenvolvimento tende a ser um fator de difícil concretização. Quanto à utilização de fontes suplementares, é de extrema importância que os sistemas possuam estoque de reserva para emergências, e a utilização de gases combustíveis surge como uma alternativa para esse fim. Especificamente para o gás LP, foi possível observar, do ponto de vista econômico e técnico, a sua possibilidade como fonte complementar de Energia Solar off-grid, como alternativa à grande quantidade de baterias do sistema tradicional, e com um menor investimento inicial.

No entanto, importa referir que, por se tratar de uma análise inicial, deverão ser feitas mais análises com cenários mais alargados, incluindo a participação das comunidades alvo, ou seja, analisando as reais necessidades das populações atualmente não servidas pela rede principal, de forma a ter total conformidade e verificação da quantidade exata de energia que deve ser gerada, e para isso testes práticos de aplicação serão de grande valia. Além disso, alternativas para reduzir o valor OPEX do sistema híbrido solar fotovoltaico e gás combustível, como melhorias na cadeia de abastecimento de gás combustível, podem ser discutidas em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

- [1] FRAUNHOFER. “Relatório anual 2019-2020”. Disponível em: <[https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/annual\\_reports/fraunhofer-ise-annual-report-2019-2020.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/annual_reports/fraunhofer-ise-annual-report-2019-2020.pdf)> Acesso em 28 Ago. 2022
- [2] ABSOLAR. “Infográfico Abril 2022”. Disponível em: <[https://www.absolar.org.br/wpcontent/uploads/2022/04/Infografico\\_abril-768x1086.jpg](https://www.absolar.org.br/wpcontent/uploads/2022/04/Infografico_abril-768x1086.jpg)> Acesso em 06 Jun. 2022
- [3] NREL. “Guia tecnológico anual”. Disponível em: <<https://atb.nrel.gov/>>. Acesso em 14 Fev. 2023.
- [4] M. VILLALVA. “Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações”. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2015.
- [5] “Informações sobre GLP”. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/nossasatividades/produtos/domesticos/gas-liquefeito-de-petroleo-glp/>>. Acesso em 29 Ago. 2022
- [6] SINDIGAS. “Acesso ao GLP e a luta contra a pobreza energética”. Disponível em: <[https://www.sindigas.org.br/Download/PUBLICACOES\\_SINDIGAS/CARTILHA%20SINDIGAS%2012.pdf](https://www.sindigas.org.br/Download/PUBLICACOES_SINDIGAS/CARTILHA%20SINDIGAS%2012.pdf)> Acesso em 27 Ago. 2022.
- [7] ANEEL. “Resolução Normativa nº 954, 30 de novembro de 2021”. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021954.html>> Acesso em 12 Ago. 2023.
- [8] A. Boadzo, S. K. Kibaara and S. Chowdhury, "A study on dairy farm-based hybrid renewable energy systems in South Africa," 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, USA, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESGM.2016.7741223.
- [9] N. JAKOB JOHANNESSEN, M. LAL KOLHE and A. DOLVEN JACOBSEN, "Correlation Analysis of Potential Solar Photovoltaic Power Plant Integration at Wind Farm with Grid Connection Limits," 2023 8th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), Split/Bol, Croatia, 2023, pp. 1-6, doi: 10.23919/SpliTech58164.2023.10193149.
- [10] A. -H. LE, A. GIOURDJIAN, A. FRANKYAN, V. MANDANY and HA THU LE, "Design, sizing and operation of a hybrid renewable energy system for farming," 2016 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), Minneapolis, MN, USA, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISGT.2016.7781209.
- [11] SINDIGAS. “Utilidades do GLP Moradia Volume 1”. Disponível em: <[https://www.sindigas.org.br/Download/PUBLICACOES\\_SINDIGAS/20220819-caderno-moradia.pdf](https://www.sindigas.org.br/Download/PUBLICACOES_SINDIGAS/20220819-caderno-moradia.pdf)> Acesso em 27 Ago. 2022.
- [12] “Agricultura Familiar”. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-agricultura-familiar/sobre-o-tema>> Acesso em 19 Ago. 2023.

[13] “Agricultura familiar, tamanhos e características”. Disponível em: <<https://institutoagro.com.br/agricultura-familiar/>> Acesso em 19 Ago. 2023.

[14] “Agricultura familiar”. Disponível em: <<https://g1.globo.com/politica/noticia/2023/07/12/senado-aprova-projeto-que-incentiva-agricultura-familiar.ghtml>> Acesso em 19 Ago. 2023.

[15] “Pequenas propriedades rurais”. Disponível em: <<https://masterjuris.com.br/pequena-propriedade-familiar-rural/>> Acesso em 20 Ago. 2023.

[16] “Acesso a energia elétrica no Brasil”. Disponível em: <<https://outraspalavras.net/outrasmidias/retrato-das-injusticas-no-acesso-a-energia-eletrica/>> Acesso em 19 Ago. 2023.

[17] “Geladeira a Gás”. Disponível em: <<https://macamp.com.br/geladeira-a-gas-volta-ao-mercado-brasileiro/>> Acesso em 10 Nov. 2022

[18] G. RENDEIRO. “Geração de Energia Elétrica em Localidades Isoladas na Amazônia utilizando Biomassa como recurso energético”. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011

[19] “Gerador a gás SP8000EB”. Disponível em: <<https://www.lojassgeradores.com.br/geradores-de-energia/geradores-de-energia-a-gas/partida-eletrica/gerador-de-energia-a-gas-monofasico-8-kva-partida-eletrica-sp8000eb-lpg-shanguai-amazonas>> Acesso em 10 Nov. 2022.

[20] ANEEL, Índice de reajuste tarifário anual. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/tarifas-e-informacoes-economico-financeiras>>. Acesso em 20 Ago. 2023.

[21] BANCO DO BRASIL. “Informações sobre financiamento solar” Disponível em: <[https://www.bb.com.br/pbb/pagina-inicial/imprensa/n/64269/banco-do-brasil-lanca-solucoes-para-estimular-o-uso-de-energia-renovavel-no-pais#](https://www.bb.com.br/pbb/pagina-inicial/imprensa/n/64269/banco-do-brasil-lanca-solucoes-para-estimular-o-uso-de-energia-renovavel-no-pais#/)>. Acesso em 20 Ago. 2023.