

SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA PARA COMUNIDADES RURAIS: ESTUDO DE CASO DE ANGOLA

Claudio A. C. Cambambi, Geraldo Lucio Tiago Filho

Universidade federal de Itajubá, UNIFEI

Itajubá, MG, Brasil

adrianocambambi91@gmail.com

Resumo Nos países em crescimento o sector da energia encontra-se debilitado, com as redes eléctricas a não serem capazes de oferecer energia a todas as zonas destes países, sobretudo as regiões mais afastadas dos centros urbanos. É esta a situação de Angola país sobre o qual o presente estudo se debruça. Estima-se que em Angola apenas cerca de 40% da população tem acesso a energia eléctrica, onde a maior parte desta energia é fornecida aos centros urbanos, encontrando-se as regiões do interior praticamente sem acesso a energia eléctrica. A electrificação rural é uma medida de política estratégica na inclusão social, que serve para promover o desenvolvimento humano e que é factor determinante para o desenvolvimento harmonioso do território nacional. Sendo assim o presente trabalho teve o objetivo de simular um sistema autónomo utilizando a geração eólica/solar, juntamente com um sistema de armazenamento de energia, para alimentar a rede de iluminação pública, um hospital e escolas da comunidade rural de rivungo/Angola. A simulação do projeto foi realizada através do software HOMER, que é uma ferramenta computacional open source especializada na análise de microrredes. De posse dos valores de irradiância solar e velocidade do vento na comunidade de Rivungo, pôde-se concluir que a região apresenta potencial solar superior ao eólico .Sistema solar é responsável por 95.65% da energia gerada, sendo que o sistema eólico fornece 4.39 %

Palavras chaves: Angola, microrede, simulação, Homer, Termodinâmica.

SIMULATION OF A HYBRID ENERGY SYSTEM FOR RURAL COMMUNITIES: CASE STUDY OF ANGOLA

Abstract—In the growing countries, the energy sector is weakened, with electrical grids not being able to provide power to all areas, especially regions farthest from urban centers. This is the situation of Angola on which the present study is concerned. It is estimated that in Angola only

about 40% of the population has access to electricity, where most of this energy is supplied to urban centers, the interior regions being virtually without access to electricity. Rural electrification is a strategic policy measure in social inclusion, which serve to promote human development and is a determining factor for the harmonious development of the national territory. Therefore, the present work had the objective of simulating an autonomous system using wind / solar generation, together with an energy storage system, to feed the public lighting network, a hospital and schools in the rural community of Rivungo / Angola. The simulation of the project was carried out through the software HOMER, which is an open source computer tool specialized in microgrid analysis. The solar system is responsible for 95.6% of the energy generated, with the wind system providing 4.39%.

Keywords: Angola, microgrid, simulação, Homer, Termodinâmica.

1- INTRODUÇÃO

Mais de um bilhão de pessoas não têm acesso à eletricidade. particularmente em zonas rurais, maioritariamente na África Subsaariana (ASS) e no Sudeste Asiático. Aumentar o acesso a eletricidade é um passo importante para melhorar as condições sociais, econômicas e ambientais. A energia é um componente indispensável para o desenvolvimento socioeconômico de qualquer nação e como tal deve ser analisado com um conhecimento profundo. Estudos semelhantes foram feitos por IEA (2014,2015) e UNDP (2014). De acordo com Bardhan e Mookherjee (2006), não é apenas uma coincidência que a quantidade de pessoas que vivem sem acesso à eletricidade, água e saneamento e que vivem em condições de extrema pobreza sejam semelhantes. Sem renda suficiente, as famílias são incapazes de pagar por uma conexão de eletricidade ou as mudanças necessárias precisam ser feitas na casa para permitir a fiação interna . Da mesma forma, a renda é uma barreira no acesso a água limpa e instalações de saneamento quando os pobres não recebem acesso à infraestrutura. A demanda por energia nos países em desenvolvimento mas especialmente países da ASS nas últimas décadas está a aumentar rapidamente, como resultado da expansão da população, desenvolvimento econômico e melhoria do padrão de vida. Segundo Heilig (2017), há agora crescentes preocupações a nível mundial sobre a natureza finita de combustíveis fósseis e as mudanças climáticas e isso tem afetado o sistema de países da ASS no fornecimento de energia . Assim, a maioria dos governos do continente em questão se deparam com o problema de ter que suprir as crescentes necessidades energéticas de seus países em um momento em que o mundo

enfrenta os impactos negativos das emissões de CO₂ resultantes da queima de combustíveis fósseis para geração de energia. Portanto Para que as comunidades rurais para ganhem os benefícios da eletricidade no futuro previsível, confiável e bem gerido fora da rede são necessárias soluções. As tecnologias que continuam a revolucionar a energia em todo o mundo são a energia solar fotovoltaica e energia eólica , onde este artigo de concentra.

Estamos vivendo em uma época em que o acesso a energia é um direito humano básico. Apesar disso, segundo o ministério da energia e águas de angola (MINEA), em angola o consumo de energia é maioritariamente urbano, corroborando assim com a agência internacional de energia IEA (2006) que afirma que cerca de 84% das pessoas sem Eletricidade vivem em áreas rurais remotas, onde a população é espalhada para fora e a demanda de energia é muito baixo . Pois na maioria dos casos não é rentável tanto para o governo como para as empresas de serviço público estenderem a rede de distribuição nacional devido a baixa taxa de consumo de eletricidade agregado ao elevado custo de instalação .

Em meio à crescente danos ambiental em todo o mundo, os especialistas defendem o uso de energia renovável para reduzir os impactos, tais como as emissões de gases de efeito estufa e o aquecimento global. Para A. Zomers (2014), uma maneira de fazer isso é substituir o petróleo como o principal elemento da matriz energética global, pelas energias renováveis tais como solar e eólica. É importante ressaltar a diferença, porque enquanto fontes térmicas e hidrelétricas são consideradas “firmes”, capaz de armazenar energia para despachar na demanda, fontes como a eólica e a solar fotovoltaica são considerados fontes variáveis de energia porque a sua disponibilidade varia de acordo com as condições meteorológicas. Devido à complementaridade das duas fontes, alguns desses problemas podem ser superados. Isso nos leva ao conceito de sistema híbrido de energia solar / eólica. centrais híbridas têm provado ser vantajoso na redução da taxa de esgotamento dos combustíveis fósseis e os gases emitidos por eles, bem como o fornecimento de energia para áreas rurais remotas sem prejudicar o ambiente.

O presente estudo abrange a aldeia rural de rivungo, situada na província do cuando - cubango em angola. é uma terra arenosa e com falta de estradas o que dificulta a circulação entre a aldeia de rivungo e as outras comunas, como consequência , em angola a implementação de novas linhas de média tensão (MT) para aldeias com estas características não é prático, em virtude das seguintes razões:

- falta de estradas adequadas para o acesso à aldeia.
- pequena densidade demográfica na aldeia torna a extensão da rede não rentável.
- Aldeia localizada em local de longa distância, extensão encontra problemas técnicos como a capacidade da linha de transmissão, queda de energia e tensão.
- A manutenção de linhas de transmissão seria um problema devido a falta estradas asfaltadas.

Segundo M.F. Nejad et al (2013) e o Minea (2018), se o modelo clássico é seguido, as áreas rurais não são susceptíveis de ser ligadas à rede nacional em um futuro próximo. Portanto microrredes locais devem desempenhar um papel importante nas estratégias de electrificação de Angola e além.

2 - Evolução da Demanda

Para o centro de estudos científicos da universidade católica de Angola (2010), entre 2008 e 2014, o consumo de energia eléctrica em Angola registrou uma taxa de crescimento média anual de 15,5%. Com efeito, o consumo de electricidade referido à produção, sem contabilizar a procura reprimida e a procura abastecida através de geradores para autoconsumo, atingiu em 2014 os 9,48 TWh . Ainda de acordo com G. Magombo (2009), o forte crescimento do consumo de energia eléctrica nos últimos anos está associada a: ao elevado esforço de eletrificação que tem vindo a ser feito pelo Governo de Angola; ii) às melhoria das condições de vida das populações, o que se traduz num maior consumo de electricidade, e iii) ao aumento da capacidade de produção disponível.

Apesar do aumento significativo na capacidade de geração disponível alcançados nos últimos anos, a demanda ainda é reprimida, com frequentes cortes no fornecimento de energia eléctrica, bem como o uso generalizado de geradores para o auto-consumo, com maior incidência nos meses úmidos devido à utilização de ar condicionado. Em termos geográficos, o consumo ainda é muito concentrado no Sistema Norte, que representou em 2014 cerca de 78% do consumo total de electricidade do país. Segundo o Minea (2007), o peso do sistema norte é principalmente devido à

provincia e cidade de Luanda, onde , de acordo com o censo de 2014, vivem mais de 6 milhões de habitantes e onde há a maior concentração de indústrias e serviços em todo o país. Para IEA (2006), O consumo de eletricidade em Angola é principalmente urbana e residencial . O centro de estudos científicos da universidade catolica de angola (2010), estima que o segmento interno é responsável por cerca de 45% de toda a produção, seguido de serviços com cerca de 32% e a indústria com, aproximadamente, 9%. Estima-se que as perdas técnicas na rede de energia elétrica estão perto de 14% devido ao estado atual da rede.

3- O Papel das Redes Inteligentes no Sector da Electricidade em Angola

Concordando com Joshi AS, Dincer I e Reddy BV (2014), as tecnologias de redes inteligentes podem dar uma importante contribuição para o acesso universal à eletricidade em Angola. Os países em desenvolvimento têm o potencial para superar sistemas de energia tradicionais em termos de tecnologia e regulação. As seguintes razões tornam cada vez mais clara a necessidade de investimentos e implementação de redes inteligentes no país .

Preço e tarifas: setor elétrico Angola tem atualmente um dos mais baixos níveis tarifários na África Austral e África Oriental. Em seu trabalho Esmaili P, Dincer I e Naterer GF (2015), mostram que o setor tem uma alta taxa de perdas de transporte e distribuição e uma produtividade dos mais baixos da região. Assim, tecnologias de redes inteligentes são esperados para ajudar a minimizar as perdas de transmissão, por exemplo, facilitando compensação de energia mais eficaz e controle de tensão reativa. perdas de distribuição pode ser resolvido por meio de controle de tensão de adaptação em subestações

fornecimento confiável: A alta qualidade e da indústria de energia elétrica funcional é um requisito fundamental para o sucesso da implementação da política econômica mais ampla do executivo, a fim de garantir um desenvolvimento económico sustentado do país.

gerenciamento de dados: Em tempos de escassez de água e os altos preços, as distribuidoras de energia buscam soluções para gerar, transmitir e avaliar o produto de forma mais eficaz, identificando onde é possível economizar. Segundo IEA (2006), a maioria das estatísticas de electricidade em Angola são incompleta e/ou ultrapassada, o que pode levar à sua interpretação e, conseqüentemente, a perdas financeiras.

5- Software Homer

O sistema em estudo inclui a combinação de turbinas eólicas, células fotovoltaicas e de um sistema de armazenamento de energia. A escolha de tais componentes depende muito do tamanho do projeto, isto é, questões técnicas e econômicas. A escolha do software visa dimensionar e minimizar tanto a implementação assim como os custos operacionais, maximizando a confiabilidade, bem como a disponibilidade de oferta. Para atingir tais ótimos resultados vários softwares ou algoritmos têm sido utilizados, estes incluem métodos de otimização de programação lineares e não-lineares entre outros E.A.M. Klaassen et al (2013).

No presente artigo utilizou-se o software Homer (modelo de otimização híbrida para múltiplos recursos energéticos) para atingir os critérios desejados. Homer é um modelo de simulação. Ele tenta simular um sistema viável para todas combinações possíveis do equipamento a ser considerado, o homer pode simular centenas ou mesmo milhares de sistemas, simula o funcionamento de uma microrrede híbrida durante um ano em intervalos de tempo de um minuto a uma hora Joshi AS, Dincer I e Reddy BV (2014). Segundo Gandhi (2016), o homer simula e encontra a combinação de menor custo de equipamento para atender consistentemente a carga elétrica. Tudo o que é necessário é um local, um entendimento da carga elétrica que precisa ser atendida e algumas estimativas de custos para diferentes componentes possíveis.

Na Fig. 1, “G3” representa a turbina eólica; “Electric Load ” refere-se a carga da comunidade; “Converter” simboliza o inversor; “PV” representa o painel fotovoltaico e finalmente, “1 kWh LA” é a representação da bateria.

5.1 Variáveis de entrada para o software Homer

Nesta seção fornecemos as variáveis de entrada para a micro-simulação, que são os dados de irradiação solar e a velocidade média mensal do vento da região em estudo, a demanda de carga, os custos associados ao micro-rede incluindo os custos iniciais de investimento, o equipamento custo de substituição e custos operacionais, bem como custos de manutenção (O & M). O perfil de carga e os parâmetros de demanda podem ser vistos na Fig. 2

5.2 Dimensionamento do Sistema Eólico

a energia eólica é avaliada termodinamicamente, a partir de perspectivas de recursos e tecnologia. A velocidade do vento é afetada pela temperatura e pressão do ar e tem um efeito no desempenho da turbina eólica . O efeito do vento leva a diferenças de temperatura que sugerem que componentes de entalpia e entropia devem ser considerados em uma análise termodinâmica.

Por exemplo, Şahin AD, Dincer I e Rosen MA (2016) analisaram a eficiência exergética, juntamente com a disponibilidade e o fator de capacidade de um pequeno aerogerador, para avaliar o desempenho do sistema de geração de energia eólica. Redha AM, Dincer I, Gadalla M (2011) desenvolveram uma abordagem aprimorada para a análise termodinâmica da energia eólica usando energia e exergia. Segundo V.K. Soni e R. Khare (2014), exergias são sugeridas como a ligação mais apropriada entre a segunda lei da termodinâmica e o impacto ambiental, em parte porque mede o desvio entre os estados do sistema e o ambiente. Essa breve descrição ilustra a importância das análises de energia e exergia para sistemas de energia eólica, considerando as variáveis meteorológicas.

A potência dos geradores eólicos é uma função das curvas de desempenho. Assim, o modelo usado para ilustrar a potência dos geradores eólicos é diferente. É assumido que a curva de potência de um gerador eólico tem uma forma quadrática ou cúbica. A equação para a estimativa da potência de saída da turbina é dada como:

$$P_v(t) = \begin{cases} av^3 - bP_r, & v_{ct} < V_t < V_r < V_{co} \\ 0, & \text{outra forma} \end{cases} \quad (1)$$

onde, P_r é a potência nominal da turbina eólica, v_{co} é a velocidade de corte do vento, V_{ct} corta a velocidade do vento, V_r a velocidade nominal do vento.

A velocidade do vento muda com a altura. Portanto, a disponibilidade de velocidade do vento em vários locais é normalmente medida para diferentes níveis de altura. A altura de instalação da

turbina desempenha um papel significativo no quantum de energia que a turbina pode fornecer. A modificação do perfil do vento para qualquer altura pode ser contabilizada usando um ajuste de altura

$$\text{equação apresentada na equação (2): } v = v_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha \quad (2)$$

Onde v é a velocidade do vento na altura do cubo H , v_0 é a velocidade do vento medida na altura de referência H_0 e α é o expoente da lei de potência que varia com a elevação, a hora do dia, a estação do ano, a natureza do terreno, a velocidade do vento.

A figura 3 mostra a velocidade média mensal do vento para a comunidade de Rivungo / Angola a uma altura de 50 metros para que se garanta energia para todos os meses. O HOMER simula o sistema com a velocidade média de 12 meses. A turbina eólica

escolhida para o projeto do sistema é a marca Whisper. A escolha foi baseada na baixa velocidade inicial do vento necessária para entrar em operação, resultando em aumento de produção e menores riscos de falta de energia.

5.3 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico O sistema fotovoltaico

O modelo de energia é baseado na primeira lei da termodinâmica, que inclui uma expressão de balanço de energia para conversão de energia. Os modelos endógeno, entrópico e exergético utilizam tanto a primeira como a segunda lei da termodinâmica. Vários pesquisadores estão utilizando a abordagem termodinâmica dos sistemas de conversão de energia para realizar avaliações de desempenho e estudos de viabilidade em sistemas fotovoltaicos (PV), a fim de melhorar o design e eficiência do sistema. O processo termodinâmico de converter a radiação solar diretamente em energia elétrica, ou seja, PV solar conversão de energia, que inclui geração de energia elétrica, perdas ópticas / térmicas e perdas elétricas. Porém, esse não é o foco deste trabalho. a termodinâmica da conversão de energia solar fotovoltaica está sendo explorada usando a primeira e segunda lei da termodinâmica por vários pesquisadores tais como Esmaili P, Dincer I e Naterer GF (2015) e Arabkoohsar A et al (2015) para avaliação de desempenho e melhoria da eficiência. Baruch P et al (1995) usaram uma abordagem termodinâmica para entender a operação e investigar o efeito da banda de energia no desempenho da célula fotovoltaica solar. Ozgener O e Ozgener L (2007) realizaram uma avaliação exergética de um sistema fotovoltaico pelo método da energia termodinâmica e foto fotônica.

Assim torna-se claro que é de extrema importância a compreensão dos processos de conversão de energia a fim de facilitar a concepção de módulos solares fotovoltaicos de última geração.

A energia disponível que o gerador fotovoltaico pode fornecer em um determinado local, bem como os dados de radiação, podem ser encontrados em :

$$P_{pv}(t) = G \times A \times r \times \eta_{pv} \quad (3)$$

onde: $G(t)$ é insolação por hora (kWh / m²), A é a superfície em que: $G(t)$ é insolação por hora (kWh / m²), A é área de superfície do módulo fotovoltaico (m²), r fator de penetração, η eficiência do painel fotovoltaico.

A eficiência do gerador fotovoltaico é dada por: $\eta = \eta_r \eta_{pc} [1 - \beta (T_c - T_{ref})]$

(4)

onde η_r é a eficiência do módulo de referência, η_{pc} é a potência eficiência de condicionamento, β é a eficiência do gerador coeficiente de temperatura, T_c é a temperatura da célula de referência ($^{\circ}$ C), T_{ref} é a temperatura da célula ($^{\circ}$ C) que pode ser estimada da temperatura ambiente T ($^{\circ}$ C) e da radiação solar G_{β} segue

$$T_c = T_a + \left(\frac{NOTC-20}{800} \right) G_{\beta} \quad (5)$$

NOTC é um parâmetro chamado "Normal Operating Cell Temperature" geralmente fornecido pelo fabricante. NOTC é definido como temperatura da célula quando a temperatura ambiente for 20° C, irradiação solar 800 (W/m^2) e velocidade do vento de 1 (m/s).

módulo utilizado no projeto é a marca SunPower, modelo SPR-440NE-WHT-D. Como pode ser observado na figura 4, o mês de maio apresentou o menor valor registrado de irradiação solar quando comparado aos demais meses, sendo de aproximadamente $4,70$ kWh / m^2 / dia. Portanto, há cerca de $4,70$ horas de pleno sol no mês mais crítico do ano. Posteriormente, a simulação é realizada para verificar se a demanda necessária para atender a carga é atingida. se essa condição for atendida, os custos e a produção de energia serão avaliados, e o sistema com melhor custo-benefício será escolhido. Caso contrário, os componentes usados serão redimensionados e o processo de simulação será iniciado novamente.

6- Resultados

A figura 5 mostra a solução ideal para o sistema proposto. No software, duas turbinas eólicas devem ser usadas. No entanto, 405 baterias (1 kWh LA) devem ser usadas para que o sistema tenha uma auto-suficiência de aproximadamente $35,2$ horas. O conversor tem uma potência de $25,2$ kW, esse é o valor máximo que o sistema projetado pode suportar.

A Fig. 6 mostra a produção elétrica média mensal das duas fontes utilizadas para satisfazer a demanda. A coluna laranja representa a geração de energia do sistema solar, enquanto a coluna verde representa a geração de energia eólica. Ainda na Figura 6, pode ser visto a produção de energia, demanda e parâmetros específicos relacionados à microrrede, o custo médio de energia gerada (COE) é de US \$ $0,613$ / kWh e o sistema pode fornecer até 100.212 kWh / ano.

Da Figura 7, pode-se verificar que o sistema fotovoltaico é responsável por $95,6\%$ da energia gerada, com o sistema eólico fornecendo $4,39\%$. Este resultado já era

esperado, uma vez que, de acordo com o MINEA no seu plano para a electrificação de Angola, a região de Rivungo é a única que apresentou o potencial para um sistema 100% solar a ser implementado. A figura 7 deixa claro que o sistema é excelente, produzindo um excedente de 32,5% ao ano, o que nos leva a concluir que, além do sistema suprir a demanda local, os moradores da região podem injetar o excedente na rede local, que mais tarde pode ser usado como crédito. Segundo dados apresentados na Figura 7, pode-se observar que o sistema fotovoltaico tem capacidade máxima de 53,2 kW, fornecendo energia diária de 275 kWh / dia e 100.212 kWh / ano, correspondendo a 95,6% da energia gerada pelo sistema. Produz energia para 4337 horas por ano, correspondendo a 12 horas de geração por dia. O sistema eólico tem uma potência instalada de 3 kW, que também é a potência elétrica máxima que o sistema pode produzir. Cada turbina eólica tem uma potência de 3 kW como já mencionado, porém cada uma produz 0,525 kW. A baixa produção deve-se aos baixos recursos (baixa velocidade do vento) nessa área. Este sistema funciona 7051 horas / ano, o que corresponde a 19 horas / dia, conforme mostrado na Fig. 8 . O inversor opera o ano todo. Durante este tempo, recebe uma energia de cerca de 59 MWh e fornece 95% desta energia para a carga. A energia que passa pelo inversor é a energia equivalente ao consumo mais 2938 kWh por ano, representando as perdas de 4% do inversor, como mostra a Fig. 9. Para este tipo de geração, é extremamente importante o uso de um sistema de armazenamento de energia, como um banco de baterias, devido à intermitência das fontes (eólica e solar). Embora muitas vezes se complementam, há casos em que a geração não é suficiente para atender à demanda. Em tais casos, o sistema de armazenamento é usado para fornecer energia, aumentando assim a confiabilidade do sistema, a autonomia do sistema é diretamente proporcional ao número de baterias. Os resultados na Fig. 10 mostram que a energia recebida pela bateria foi de 37.637 kWh / ano e que a carga fornecida foi de 30.190 kWh / ano, resultando em perdas de 7.447%. A bateria pode funcionar por cerca de 35,2 horas de descarga.

Durante o ano, a bateria ficou acima de 60% da carga e em cerca de metade desse tempo foi de 80%, apenas em janeiro e novembro foi cerca de 40%, mas em todos os meses esteve sempre acima de 30% de sua capacidade nominal. Quando não há irradiação solar, o sistema fotovoltaico deixa de fornecer energia à carga. Neste momento, o banco de baterias fornece energia para a carga, porque o sistema eólico não tem produção suficiente. O recurso solar deixa de existir a partir das 18h, mas a demanda aumenta a partir das 16h.

às 18h e nesse período as baterias fornecem parte de sua energia para ajudar a satisfazer o consumo, fornecendo energia entre 10 e 20 kW. A partir das 18 horas, não há recurso solar, as baterias aumentam a potência fornecida até o seu máximo. Das 6h às 12h há muita energia solar e baixa demanda para que o banco de baterias praticamente não forneça energia nesse período.

6-Conclusão

Os resultados indicaram um superávit na produção de energia de 32,2% ao ano, o que nos leva a concluir que além do sistema suprir a demanda local, os moradores da região podem injetar o excedente na rede local, que posteriormente poderá ser utilizado como crédito. Assim, o uso de recursos renováveis deve servir como estratégia para melhorar o fornecimento de energia nas áreas rurais. Portanto, pode-se concluir que o sistema analisado pode ser considerado eficaz, uma vez que é possível suprir a demanda de energia elétrica necessária ao atendimento da comunidade. Quanto a análise termodinâmica, notou-se que os modelos existentes não utilizam os parâmetros de caracterização elétrica como resistência em série e shunt, circuito aberto e curto e fator de enchimento. Portanto, é necessário combinar os parâmetros elétricos e térmicos para explicar a termodinâmica do sistema fotovoltaico mais detalhadamente. esse último tem sido um objeto de estudo para o autor do presente artigo.

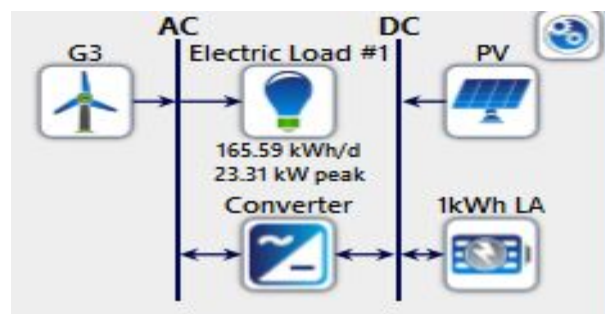


Fig. 1. Arquitetura do sistema híbrido criado pelo software HOMER.

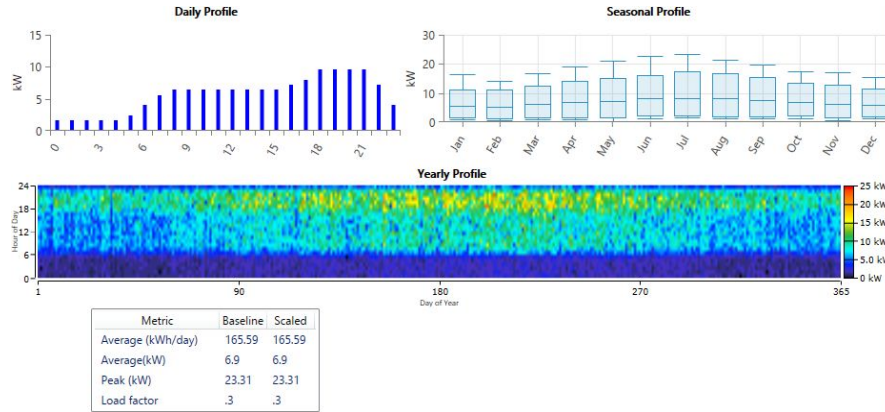


Fig. 2. Perfil de carga e demanda a ser atendida pelo sistema híbrido

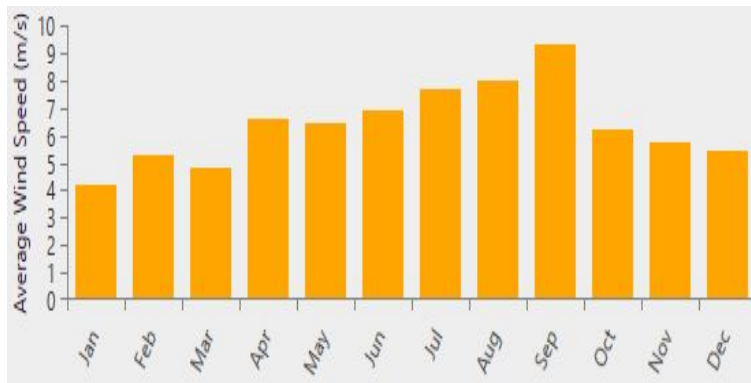


Fig. 2. Velocidade média do vento da região em estudo

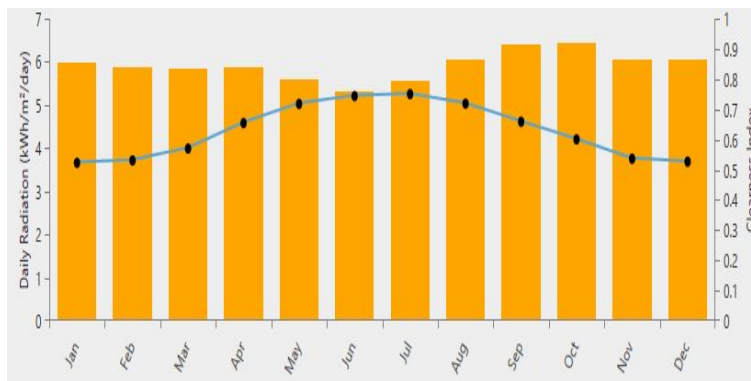


Fig. 4. Irradiação solar da região de estudo

Architecture							Cost			
⚠	☀	🌬	🏠	📄	PV (kW)	G3	1kWh LA	Converter (kW)	NPC (\$)	Initial capital (\$)
	☀	🌬	🏠	📄	57.7		418	29.7	\$480,431	\$307,387
	☀	🌬	🏠	📄	55.1	1	405	25.2	\$478,519	\$312,372

Fig. 5. Solução ideal calculada pelo software Homer.

Production	kWh/yr	%
Generic flat plate PV	100,212	95.6
Generic 3 kW	4,601	4.39
Total	104,813	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	60,405	100
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Total	60,405	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	34,022	32.5
Unmet Electric Load	37.1	0.0614
Capacity Shortage	60.0	0.0993

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	100	%
Max. Renew. Penetration	2,269	%

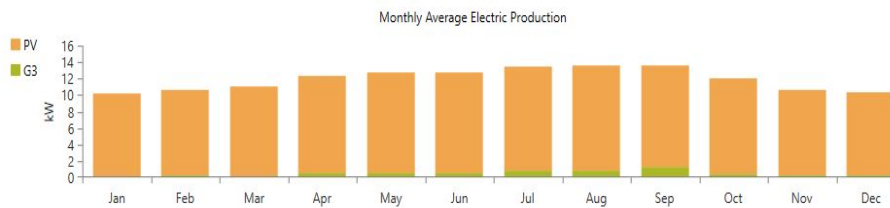


Fig. 6. Produção mensal de energia solar e eólica na região de estudo.

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	55.1	kW
Mean Output	11.4	kW
Mean Output	275	kWh/d
Capacity Factor	20.8	%
Total Production	100,212	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	53.2	kW
PV Penetration	166	%
Hours of Operation	4,337	hrs/yr
Levelized Cost	0.133	\$/kWh

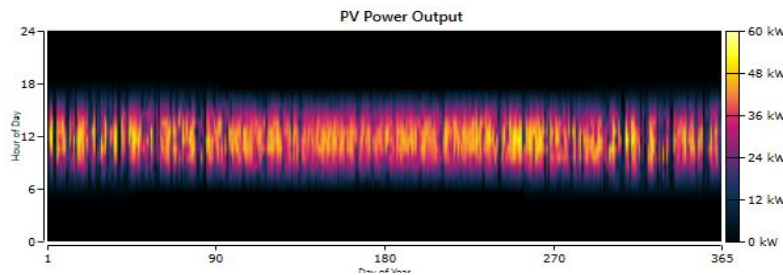


Fig. 7. -Desempenho do sistema solar

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	3.00	kW
Mean Output	0.525	kW
Capacity Factor	17.5	%
Total Production	4,601	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	3.00	kW
Wind Penetration	7.61	%
Hours of Operation	7,051	hrs/yr
Levelized Cost	0.384	\$/kWh

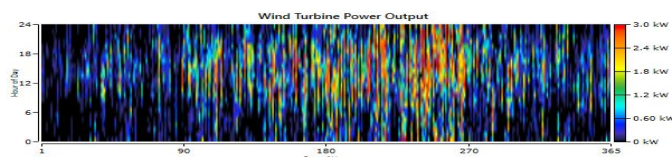


Fig. 8. Desempenho do sistema eólico .

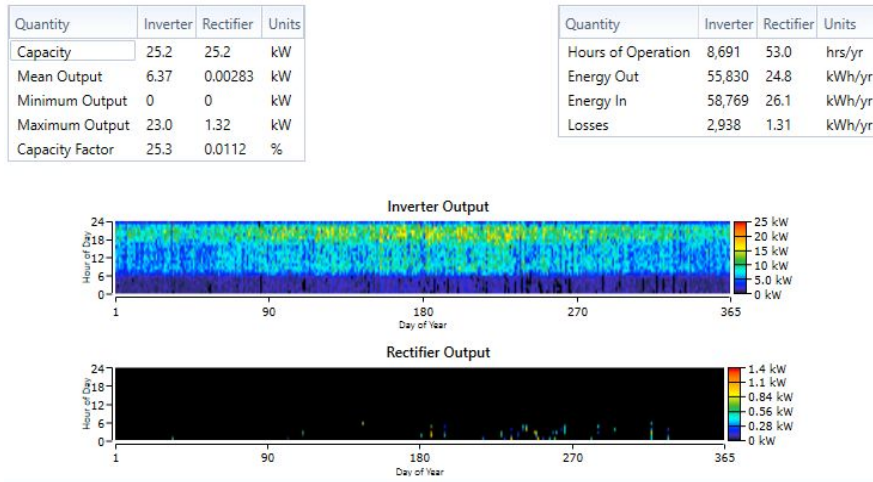


Fig. 9. Potência do inversor durante o ano



Fig. 10. performance da bateria

7 Referências

- [1] OECD/IEA. (2014). Energy in Africa Today. Africa Energy Outlook, 13–25. <https://doi.org/https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/africa-energy-outlook.html>
- [2] IEA. (2015). World Energy Outlook. Retrieved from
- [3] UNDP. (2014). Human Development Report: Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience. Retrieved from

[4] Bardhan, P., & Mookherjee, D. (2006). Decentralisation and Accountability in Infrastructure Delivery in Developing Countries*. The Economic Journal, 116(508), 101-127.

[5] Heilig, G. K. (2017). World Population Outlook.

[6] Renewable Energies in Angola, Conference On Clean Energies-Ministry of Energy and Waters of Angola - <http://minea.gv.ao>.

[7] Agência Internacional de Energia, IEA (2006). Angola, Rumo a uma estratégia energética.

[8] A. Zomers, "Acesso Remoto: Contexto, Desafios e Obstáculos na Eletrificação Rural", em IEEE Power and Energy Magazine, vol. 12, não. 4, pp. 26-34, julho-agosto. 2014.

[4] A.R. Gonçalves et al. "Cenários de expansão da geração solar e eólica na matriz elétrica brasileira." VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, v.7, n.10, p.01-10, abr 20. 2018.

[9] E.A.M. Klaassen, B. Asare-Bediako, W.L. Kling e A.J. Balkema, "Aplicação de tecnologias de redes inteligentes em áreas em desenvolvimento," Reunião Geral da IEEE Power & Energy Society de 2013, Vancouver, BC, 2013, pp. 1-5.

[10] M.F. Nejad, A. Siberian, H. Hizam, M. A. Mohd Radzi e M.Z.A. Ab Kadir, "Aplicação da rede de energia inteligente em países em desenvolvimento", 2013 IEEE 7ª Conferência Internacional de Engenharia de Energia e Otimização (PEOCO), Langkawi, 2013, pp. 427-431.

[11] Administração da Informação sobre Energia - Informação sobre Angola em Angola - Disponível em:

[12] República de Angola: Ministério da Energia e da Água. "Angola Energy 2025: visão de longo prazo para o setor elétrico", 2007. Disponível em: <http://www.angolaenergia2025.com/>. Acessado em: 22 abril. 2018.

[13] Energia em Angola, Relatório 2010 - Centro de Estudos Científicos e Investigação da Universidade Católica de Angola, disponível em: <http://ceic.cmi.no/ceic/images/Report/energy/energy>

[14] G. Magombo, Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral (SADC) Revisão do Sector da Energia e Missão de Consulta a Angola, AECOM International Development,

Gaborone, Botswana, Tech. Rep. USAID Contrato No. 690-M-00-04-00309-00, Dez. 2009

[15] Joshi AS, Dincer I, Reddy BV. Mapas de exergia solar para sistemas fotovoltaicos / térmicos. *Int J Exergy* 2014; 14 (2): 191-211.

[16] Esmaili P, Dincer I, Naterer GF. Desenvolvimento e análise de um sistema fotovoltaico integrado para produção de hidrogênio e metanol. *Int J Hydrog Energy* 2015; 40: 11140-53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.04.077>.

[17] Arabkoohsar A, Machado L, Farzaneh-Gord M, RNN Koury. A primeira e segunda análise da lei de uma usina fotovoltaica conectada à rede, equipada com uma unidade de armazenamento de energia de ar comprimido. *Energia* 2015; 87: 520-39.

[18] Baruch P, Vos De, Landsberg PT, Parrott JE. Em alguns aspectos termodinâmicos da conversão de energia solar fotovoltaica. *Sol Energy Mater Sol Cells* 1995; 36: 201–22. [29] Rusirawan D. Modelagem energética de módulos fotovoltaicos em sistemas conectados à rede. [Ph.D. tese], Szent István University, Gödöllő, Hungria; 2012

[19] Ozgener O, Ozgener L. Exergia e análise de confiabilidade da turbina eólicasistemas: um estudo de caso. *Renovável e Revisões de Energia Sustentável*. 2007; 11:1811-1826

[20] Şahin AD, Dincer I, Rosen MA. Análise termodinâmica do vento energia. *Revista Internacional de Energia* . 2006; 30: 553-566

[21] Redha AM, Dincer I, Gadalla M. Desempenho termodinâmico avaliação dos sistemas de energia eólica: aplicação. *Energia*. 2011; 36: 4002-4010

[22] V.K. Soni e R. Khare, "Ótimo dimensionamento de HRES para institutos de pequeno porte usando o HOMER", 2014 IEEE 2ª Conferência Internacional sobre Sistemas de Energia Elétrica (ICEES), Chennai, 2014, pp. 77-81.

[23] J.J. Gandhi, O. Penangsang, Suyanto, A. Soeprijanto e N.K. Aryani, "Análise de custo do ciclo de vida da operação de micro-redes em escala laboratorial em simulação de sistema de energia usando simulação HOMER," 2016 Seminário Internacional sobre Tecnologia Inteligente e suas Aplicações (ISITIA), Lombok, 2016, pp. 561-564.