

Grupo de Estudo de Geração Eólica, Solar e Armazenamento-GES

Descrição e previsão de resultados do sistema de armazenamento de energia elétrica sob a forma de hidrogênio da CESP instalado junto à UHE Eng. Sérgio Mota (Porto Primavera).

**ENNIO PERES DA SILVA(1); JUAREZ CORRÊA FURTADO JÚNIOR(1); VITOR FEITOSA RIEDEL(1);
DEMÓSTENES BARBOSA DA SILVA(2); DIOGO OLIVEIRA BARBOSA DA SILVA(2); THIAGO DIAS ALENCAR
FERREIRA (3);
UNICAMP(1);BASE Energia(2);CESP(3);**

RESUMO

Este informe técnico descreve o Sistema Completo de Armazenamento de Energia Elétrica (SCAEE) concebido através do projeto de pesquisa e desenvolvimento P&D-0061-0054/2016, que está sendo desenvolvido pela Companhia Energética de São Paulo (CESP), no âmbito da Chamada Estratégica nº21 da ANEEL. O SCAEE será instalado na Usina Hidrelétrica Eng. Sergio Mota, local onde a CESP desenvolve projetos relacionados a fontes renováveis, e possui 1.050 kW_p relativos a geração solar fotovoltaica, além de aerogeradores com potência instalada de 200 kW. Uma etapa natural desse conjunto de projetos é a integração dessas fontes ao SCAEE, visando maximizar o aproveitamento da energia renovável disponível.

PALAVRAS-CHAVE

Energia Solar, Integração de fontes renováveis, Armazenamento de energia, Maximizar o aproveitamento energético.

1.0 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, observou-se um aumento da participação das fontes eólica e solar fotovoltaica na matriz energética brasileira, tendo sido responsáveis por cerca de 7,7 % da geração de energia elétrica em 2017 (1). De fato, o Brasil tem planos de expandir a utilização de fontes renováveis, aumentando a utilização da energia eólica, biomassa e solar, conforme indicado em sua pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), visando reduzir as suas emissões de CO₂ (2). Tanto as fontes renováveis de energia, como a adoção de medidas de eficiência energética, são apontadas pela Agência Internacional de Energia (IEA) como alternativas que podem contribuir com cerca de 75% das emissões de GEE que devem ser evitadas até 2060, para que o aumento de temperatura médio esteja limitado a 2 °C (3).

Por outro lado, mesmo permitindo a oferta de uma energia mais limpa, as fontes renováveis estão sujeitas a efeitos de sazonalidade e intermitência. O uso intensivo dessas fontes expõe a geração de eletricidade a efeitos adversos tais como instabilidade no regime de chuvas, incidência solar, e de ventos, dentre outros. Na medida em que se eleva a parcela de energia elétrica produzida através de fontes renováveis, cresce a exposição do SIN (Sistema Elétrico Nacional) aos efeitos da sazonalidade e intermitência inerentes a essas fontes, o que influencia negativamente a segurança, a confiabilidade e a qualidade do fornecimento de energia elétrica. Uma alternativa que pode contribuir para reduzir esses problemas, são os sistemas de armazenamento de energia, que oferecem a possibilidade de prover melhor qualidade da energia elétrica e aumentar a confiabilidade, a segurança e a disponibilidade do suprimento energético (4). A adoção das tecnologias de armazenamento permite maximizar o aproveitamento da energia renovável, de modo que nos períodos de elevada oferta dessas fontes, a parcela que excede a demanda é armazenada. O montante armazenado pode ser utilizado nos períodos de elevada demanda, contribuindo para uma maior estabilidade do sistema, além de maior penetração das fontes renováveis (3), (4).

Existem diversas formas de armazenar a energia elétrica produzida a partir das fontes renováveis, com destaque para o armazenamento na forma de hidrogênio. Nessa tecnologia, a energia produzida nos períodos de demanda reduzida e/ou elevada oferta é utilizada na eletrólise da água, tendo como produto o hidrogênio. Esse produto gasoso consiste em um gás de elevada pureza e densidade energética, além de poder ser reconvertido em eletricidade nos períodos em que a demanda por eletricidade for elevada (5). O custo dos sistemas de armazenamento de energia é relativamente alto, e existem diversos esforços para o aprimoramento desses sistemas. Além disso as tecnologias armazenamento de energia compõe um grupo de 8 tecnologias disruptivas que possuem grande potencial estratégico e devem ser fonte de investimentos em pesquisa de desenvolvimento nos próximos anos. (6).

No Brasil, visando a promoção da área de armazenamento de energia, a Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, fez uma chamada pública de projetos que atendam à temática do armazenamento, Chamada ANEEL Nº. 021/2016 - Projeto Estratégico: "Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro". Trata-se de uma iniciativa para dar início às abordagens experimentais do tema no contexto nacional (4). No âmbito da chamada Nº 21, a Companhia Energética de São Paulo, CESP, desenvolve o Projeto de P&D "Análise da Eficiência do Armazenamento Complementar de Energia Junto a Usinas Hidrelétricas, Utilizando Tecnologias de Armazenamento Eletroquímico e em Hidrogênio", sob Código ANEEL PD-00061-0054/2016, utilizando, além do armazenamento de eletricidade na forma de hidrogênio, baterias avançadas. Nesse projeto, o SCAEE a ser desenvolvido é composto, basicamente, por um eletrolisador de água, um tanque pressurizado para estocagem de hidrogênio, uma célula a combustível, além de um sistema auxiliar de armazenamento eletroquímico composto por um banco de baterias. Esse sistema será instalado junto a UHE Eng. Sergio Mota (Porto Primavera), local no qual a CESP desenvolve outros projetos relacionados à geração de eletricidade através de fontes renováveis. Dentre esses projetos, tem-se um total de 1.050 kW_p de geração solar fotovoltaica, com uma produção média correspondente a 5.070 kWh de eletricidade, a um fator de capacidade de 20%. Também se tem aerogeradores com potência instalada de 200 kW, com um fator de capacidade de 30%, e uma média diária de produção de 1.440 kWh. O SCAEE é composto, basicamente, por um eletrolisador de água com 107 kW, tanques pressurizados para estocagem de hidrogênio com capacidade de 600 m³ (CNTF), uma célula a combustível (CaC) de 100 kW, além de um sistema auxiliar de armazenamento eletroquímico composto por um banco de baterias. Embora o projeto inicial contemplasse equipamentos de maior capacidade, os valores anteriormente mencionados foram determinados de modo a atender tanto o orçamento previsto no projeto, como para permitir uma maior participação da indústria nacional, fator desejável em um projeto de pesquisa e desenvolvimento e fortemente incentivado na Chamada Nº 21 da ANEEL. A escolha dos fornecedores foi feita segundo critérios que avaliaram a experiência no fornecimento dos equipamentos, o tipo de tecnologia empregada, assistência técnica, cumprimento aos prazos de entrega e grau de nacionalização (7).

Após a seleção dos equipamentos que irão compor o sistema, é importante conhecer comportamento do sistema quando em operação com conjunto com outras fontes renováveis. Nesse informe técnico, será apresentada uma simulação do SCAEE através do software HOMER, com o objetivo de estimar uma carga que pode ser atendida, bem como visualizar a operação do sistema.

1.0 - PROJETOS DE P&D DESENVOLVIDOS NA UHE DE PORTO PRIMAVERA

A usina hidrelétrica de Porto Primavera localiza-se no Rio Paraná, que possui potência fiscalizada de 1.540 MW, e está localizada entre os municípios de Rosana no estado de São Paulo, e Batayporã no Mato Grosso do Sul (8). Junto a essa hidrelétrica, a CESP desenvolve diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento relacionados a geração de energia elétrica através de fontes renováveis, possuindo plantas fotovoltaicas que utilizam diversos tipos de tecnologias (7). A Tabela 1, apresenta os projetos de P&D envolvendo fontes renováveis de energia, instalados na usina de Porto Primavera.

Tabela 1 – Projetos de P&D em Porto Primavera (7).

Tipo de planta	Potência (kW _p)
Fotovoltaica com painéis de Si monocristalino	250
Fotovoltaica com painéis de Si amorfo flexível	250
Fotovoltaica com painéis flutuantes de Si monocristalino	25
Fotovoltaica com painéis flexíveis (silicone amorfo)	25
Fotovoltaica com painéis de Si policristalino	50
Fotovoltaica com painéis de Si poli. c/ rastreador único	50
Aerogeradores (2 unidades)	200
Planta de 500 kW _e CSP (Solar Thermo);	500

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

Além dos projetos apresentados na Tabela 1, o projeto de pesquisa e desenvolvimento tratado nesse informe técnico, possuirá uma planta solar fotovoltaica de 400 kW_p, além dos sistemas de armazenamento a hidrogênio e do armazenamento eletroquímico. Para integrar as plantas solares com o SCAEE desse projeto, é importante conhecer o seu comportamento quando operando em conjunto, bem como a carga que esse sistema pode atender, que justifica a simulação da operação desse sistema. A primeira etapa para a avaliação do sistema consiste em determinar a produção de energia nessas plantas, sendo necessário a obtenção dos dados solarimétricos no local de instalação dessas plantas.

2.1 Dados Solarimétricos de Rosana

As coordenadas geográficas da UHE de Porto Primavera, no ponto em que as plantas fotovoltaicas serão construídas são 22°28'31"S; 52°57'30"W. De acordo com dados do CRESESB (Centro de Referência Para as Energias Solar e Eólica Sergio Brito), órgão vinculado ao centro de pesquisas da ELETROBRAS, a estação solarimétrica de Rosana é a mais próxima do local de instalação das plantas fotovoltaicas. A irradiação média diária para o ângulo de inclinação igual a latitude de Rosana corresponde a 5,22 kWh.m⁻².dia⁻¹. Na Tabela 2, são apresentadas as médias de irradiação de acordo com o CRESESB, e estão disponíveis em (9). Embora o software utilizado nesse trabalho, o HOMER, utilize a base de dados da NASA, optou-se por utilizar os dados fornecidos pelo CRESESB, visto que essa base de dados leva em consideração medidas reais de uma estação solarimétrica próxima a UHE de Porto Primavera. A Tabela 2 apresenta os dados solarimétricos segundo o CRESESB e da base de dados do HOMER.

Tabela 2 – Dados solarimétricos de Itumbiara segundo CRESESB (9).

Estação	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]													
	Distância (km)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Rosana (SP)	2,9	6	6,11	5,52	4,69	3,73	3,36	3,54	4,46	4,74	5,47	6,12	6,55	5,02
Anaurilandia (MS)	8,3	5,97	5,98	5,49	4,72	3,77	3,4	3,58	4,5	4,76	5,42	6,13	6,5	5,02
Bataypora (MS)	9,7	6,01	6,01	5,5	4,73	3,72	3,39	3,57	4,52	4,74	5,45	6,14	6,49	5,02
Dados solarimétricos da estação de Rosana - Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]														
Ângulo	Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano horizontal	0° N	5,97	5,98	5,49	4,72	3,77	3,4	3,58	4,5	4,76	5,42	6,13	6,5	5,02
Ângulo igual a latitude	18° N	5,42	5,71	5,66	5,35	4,62	4,35	4,49	5,29	5,06	5,3	5,63	5,79	5,22
Dados solarimetricos do HOMER [kWh/m².dia]														
Ângulo igual a latitude (HOMER)	18° N	5,85	5,66	5,33	4,74	3,79	3,58	3,97	4,60	4,77	5,61	6,20	6,13	5,85

2.2 O SCAEE a ser construído em Rosana.

O SCAEE que será instalado na UHE de Porto Primavera é composto por um eletrolisador do tipo PEM de 107 kW com capacidade de produção de H₂ de 20 Nm³/h, a uma pressão de 40 bar e consumo elétrico de 5,74 kWh/Nm³. Também serão instalados 2 tanques com capacidade de 12 m³ cada, e pressão máxima de armazenamento de 25 bar, que totalizam uma capacidade máxima equivalente a 600 Nm³ de armazenamento de H₂, ou 54 kg. Por fim, a célula a combustível será do tipo PEM, com capacidade de 100 kW e consumo de 70 Nm³/h. Além disso, serão instalados um banco de baterias com capacidade de 500 kWh, e potência de 250 kW, para atender a pequenas flutuações de carga (7). Nesses sistemas é importante levar em consideração as eficiências dos equipamentos como inversores de frequência e transformadores. Nesse informe, para os transformadores a eficiência considerada corresponde a 98%, e para os inversores de frequência a eficiência corresponde a 95% (10). Figura 1 apresenta esquematicamente o sistema de armazenamento a ser instalado na usina de Porto Primavera.

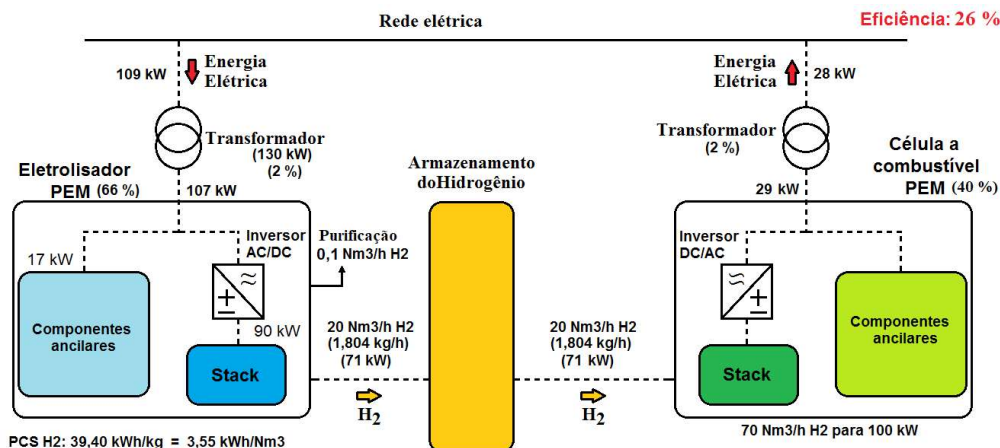


FIGURA 1 – SCAEE na forma de hidrogênio a ser instalado na UHE de Porto Primavera (7).

O cálculo prévio do sistema de armazenamento a hidrogênio, descrito em detalhe nesse informe, mostrou que, após a complementação desse sistema com os dispositivos elétricos necessários, como transformadores, pode-se esperar uma eficiência global correspondente a 26 %. Embora esse valor seja relativamente baixo, deve-se levar em consideração que o sistema de estocagem de energia permite o consumo posterior de uma parcela da eletricidade que em grande parte não seria aproveitada, o que significa uma melhor utilização dos recursos disponíveis. Além disso, tem-se a possibilidade de fornecer energia renovável nos horários de ponta, melhorando o retorno financeiro da planta e produzindo créditos ambientais, por reduzir a geração térmica por combustíveis fósseis. Nesse trabalho, considera-se que o sistema de armazenamento será utilizado para normalizar a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, ou seja, a carga atendida pelo sistema é constante ao longo do dia.

2.3 Simulação da integração das plantas fotovoltaicas com o SCAEE.

Existem diversos software utilizados para a simulação de sistemas energéticos com fontes renováveis de energia, que permitem a análise de sistemas de armazenamento de energia, tais como o SCAEE a ser instalado na UHE de Porto Primavera. O software HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables*), desenvolvido pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) foi escolhido para a simulação desse sistema. Essa escolha se deve ao fato de que esse software é a ferramenta de simulação mais utilizada para a análise de sistemas de armazenamento de energia, e permite a utilização da base de dados da NASA. Além disso, o HOMER possui em sua biblioteca modelos de painéis fotovoltaicos, aerogeradores, eletrolisadores, e células a combustível, que facilitam a modelagem do sistema a ser simulado (11).

Nas simulações não foram inseridos os bancos de baterias, visto que o objetivo desse informe é a simulação apenas do sistema de armazenamento de energia na forma de hidrogênio. Além disso, considerou-se que a carga a ser atendida é constante ao longo do dia, com os parâmetros utilizados nessa simulação sendo:

- Eletrolisador: 107 kW; Produção de 20 Nm³/h de H₂; Consumo elétrico de 5,76 kWh/Nm³
- Tanque: Volume equivalente de 600 Nm³ (54 kg); pressão máxima de 24 bar e volume inicial correspondente a 70% do total. O volume final deve ser igual ou superior ao inicial.
- Célula a Combustível: 100 kW, Produção de 1,42 kWh/Nm³; Consumo de 70Nm³/h de H₂; $\eta=40\%$.
- Inversores de frequência e retificadores: Eficiência de 95%

Em um primeiro momento, foi feita da simulação, considerando a capacidade instalada de todas as plantas fotovoltaicas, a qual corresponde a 1.050 kW_p. No entanto, a simulação mostrou que essa capacidade é elevada para as dimensões do SCAEE, de modo que a maior parte da energia solar fotovoltaica produzida não é aproveitada conforme apresentado na Figura 2.

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

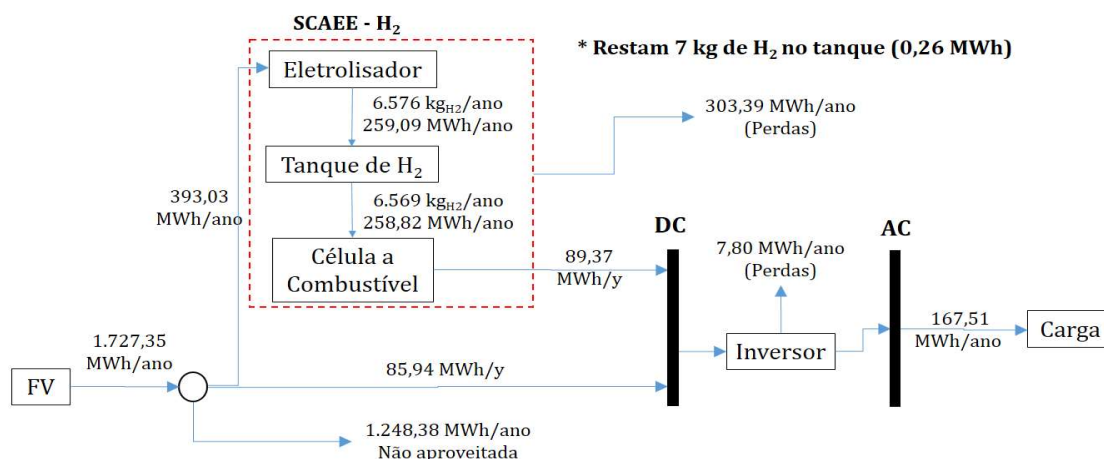


FIGURA 2: Balanço de energia para a planta de 1.050 kW_p

Em virtude da maior parte da energia produzida não ser aproveitada devido a diferença entre a capacidade da planta solar e do SCAEE, optou-se por considerar apenas a simulação do sistema a com a planta de 400 kW_p a ser construída. Nesse caso, embora também haja uma parcela relevante da energia solar fotovoltaica não aproveitada pelo SCAEE, essa parcela é consideravelmente inferior ao caso da planta de 1.050 kW_p. De modo análogo, a Figura 3 apresenta o balanço de energia para o caso com a planta solar fotovoltaica de 400 kW_p.

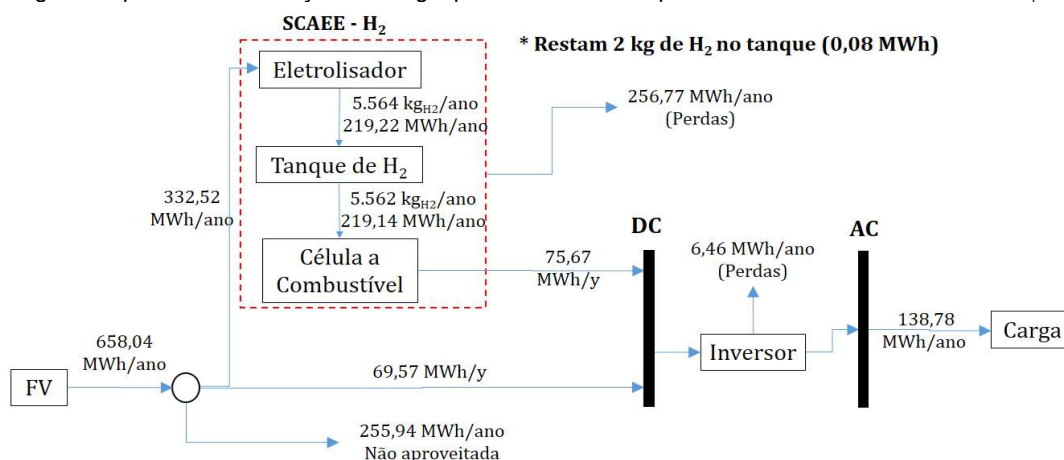


FIGURA 3: Balanço de energia para a planta de 400 kW_p

Nesse caso, verificou-se que a carga máxima que pode ser atendida através desse sistema corresponde a 138,78 MWh, ao passo que 255,94 MWh não são aproveitados pelo sistema. Isso se deve a diferença entre a capacidade dos componentes do sistema de armazenamento (eletrolisador e célula a combustível), e a planta solar fotovoltaica de 400 kW_p. De fato, as capacidades dos equipamentos do SCAEE são inferiores aos originalmente projetados, e as alterações feitas foram motivadas por fatores de natureza econômica, além de outros aspectos que visam atender as exigências de um projeto de pesquisa e desenvolvimento.

Conforme mencionado anteriormente, a carga do sistema é constante ao longo do dia, de modo que a energia para atender a carga simulada corresponde a 380,5 kWh/dia, equivalente ao fornecimento contínuo de 18,85 kW. Em termos gerais a eficiência global do sistema corresponde a 21,10%, ao passo que a eficiência do SCAEE (eficiência round-trip) corresponde a 22,75%. O esquema do SCAEE com a planta solar modelado no software é apresentado na Figura 4.

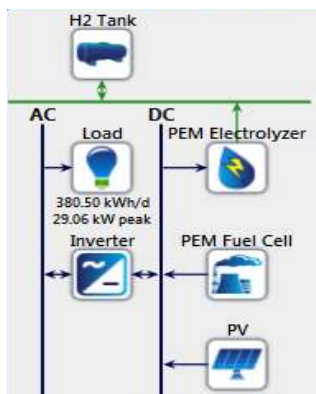


FIGURA 4: Interface do SCAEE com a planta solar modelado no HOMER

2.0 - Aspectos Operacionais

Aspectos operacionais como o comportamento ao longo do ano para cada hora do dia da geração solar fotovoltaica, consumo do eletrolisador e a geração de eletricidade através da célula a combustível são de grande importância e estão apresentados na figura 5.

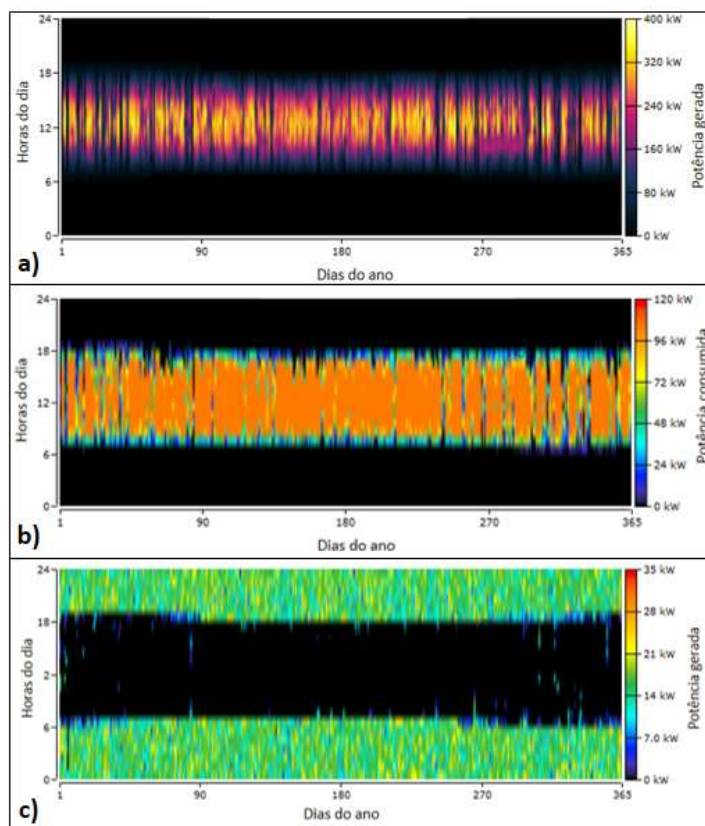


FIGURA 5 – Comportamento dos elementos do sistema ao longo do ano para cada hora do dia. a) geração solar fotovoltaica; b) potência consumida pelo eletrolisador; c) Geração através da célula a combustível.

Na figura 5a, observa-se a que geração solar fotovoltaica tem sua produção concentrada entre as 8 e as 18 horas, com o pico de geração ocorrendo ao meio dia, como já conhecido. Além disso, entre o dia 270 até próximo ao dia 330 (meses de setembro e outubro), tem-se uma redução na geração solar fotovoltaica, podendo ser observado um maior grau de intermitência na geração. Um comportamento similar, porém, de menor intensidade pode ser observado entre dezembro e fevereiro, o que pode ser atribuído ao período de chuva, e embora esse seja o período de maiores valores de irradiação, tem-se a geração de energia elétrica reduzida. Isso tem efeito na quantidade de hidrogênio produzido, visto que o excesso de energia é destinado ao eletrolisador.

Nota-se na Figura 5b que nos períodos compreendidos entre às 8 e as 18 horas, nos quais ocorreram redução da geração solar fotovoltaica, existem lacunas na potência consumida pelo eletrolisador, indicando redução da produção de H_2 . Além disso, na Figura 5c tem-se a geração de energia através da célula a combustível, e observa-se que a operação da célula é responsável pela geração em períodos tais como o compreendido entre as 8 e às 18 horas, atuando para suprir as lacunas da geração solar, e alimentando a carga.

A célula a combustível, também fornece energia para o sistema quando não há geração solar disponível. Nota-se que as Figuras 5a e 5c são complementares, de modo que a carga de 18,85 kW, valor próximo ao indicado pela escala de cor, sempre é atendida pelos painéis fotovoltaicos ou pela célula a combustível.

Em relação a energia destinada ao eletrolisador, de acordo com a escala de cores, na maior parte do tempo os valores são próximos a potência máxima do eletrolisador de 107 kW. Já em relação a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, nos períodos de pico (meio dia) são gerados cerca de 350 kW, ao passo que a carga do sistema somado ao consumo do eletrolisador corresponde a cerca de 128 kW.

Outro aspecto importante a ser observado é o nível do tanque conforme apresentados na Figura 6.

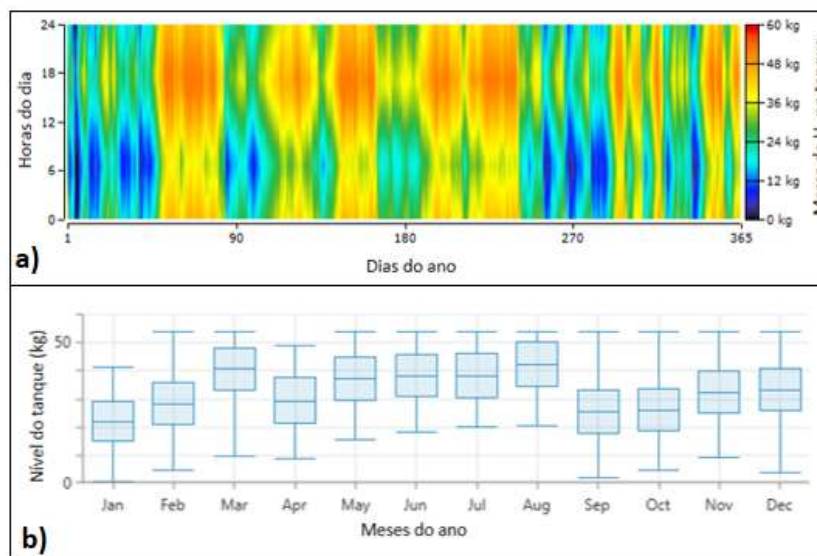


FIGURA 6 –a) Massa de H_2 contida no tanque ao longo do ano para cada hora do dia; b) Variação do nível do tanque de H_2 ao longo do ano

A Figura 6a, mostra que durante diversos períodos do ano o tanque opera com a sua capacidade máxima, tal como nos meses de março, maio e agosto. Nesses períodos, caso houvessem tanques adicionais, uma quantidade maior de hidrogênio poderia ser produzida e armazenada, visto que quando há uma parcela relevante da energia solar fotovoltaica que não é aproveitada, o que contribuiria para um maior aproveitamento da energia disponível. Além disso, o nível do tanque acompanha a geração fotovoltaica, de modo que a redução da geração implica em menores níveis. Em termos da amplitude da variação do nível do tanque entre os meses de janeiro, fevereiro junto a setembro e dezembro os níveis do tanque atingem níveis próximos a zero, conforme pode ser observado na Figura 6b. Por outro lado, somente nos meses de janeiro e abril o tanque não atinge a

sua capacidade máxima, o que reforça o fato de que caso o volume de armazenamento fosse ampliado, uma quantidade maior de hidrogênio poderia ser produzida.

3.0 - CONCLUSÃO

Esse informe técnico teve como objetivo apresentar os aspectos do projeto de pesquisa e desenvolvimento P&D-0061-0054/2016, bem como a carga que pode ser atendida com o mesmo. Para uma planta de solar fotovoltaica de 400 kW_p, a carga contínua que pode ser atendida ao longo de um dia corresponde a apenas 18,85 kW_p. Esse valor é consideravelmente baixo, devido principalmente a baixa eficiência do sistema de armazenamento. No entanto, embora o SCAEE possua eficiência relativamente baixa (22,75%), deve-se observar que esse sistema permite suprir uma carga durante todo o dia, através de painéis fotovoltaicos.

Além disso, observou-se uma quantidade considerável de energia que não é aproveitada em virtude da diferença entre a capacidade da planta solar fotovoltaica, e a capacidade do SCAEE. Isso ocorre devido a questões relacionadas a adequação do orçamento do projeto, ajuste de preços, além da necessidade de seleção de equipamento aptos a atender a indústria nacional. Questões como essas embora influenciem no desempenho do sistema, podem ocorrer em projetos de P&D.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ONS (2019). Resultado Histórico da operação. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Brasília DF, 2019. Disponível em http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx
- (2) Brasil. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf Acessado em 10/11/2017.
- (3) IEA Tracking Clean Energy Progress 2017, June, 2017.
- (4) ANEEL (2016). Chamada nº 021/2016. Projeto Estratégico “Arranjos Técnicos e Comerciais Para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro” Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília –DF. 2016.
- (5) Silva, E.P. Fontes Renováveis de Energia, 1ª Edição. Livraria da Física, São Paulo, 2014.
- (6) UK GOV. Eight great Technologies. Department for Business, Innovation & Skills e The Rt Hon David Willetts. Acessado em 05/05/2019. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/speeches/eight-great-technologies>.
- (7) CESP (2018). O projeto de armazenamento de energia elétrica da CESP: motivação, arranjo e equipamentos. Seminário: Estado da Arte do Armazenamento de Energia e Inserção de Fontes Renováveis. Universidade de São Paulo, 19 e 20 de Março, 2018. São Paulo, Brasil. Disponível em http://www.iee.usp.br/sites/default/files/5-Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20IEEUSP_19-03-2018.pdf. Acessado em 08/05/2019.
- (8) CESP (2019). Usina Hidrelétrica Eng Sérgio. Disponível em http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa_UsinaPorto?OpenDocument&Menu=5%20-%20menu_lateral@@002_004_001. Acessado em 03/05/2019.
- (9) CRESSES (2019) Potencial Solar – Sun Data v 3.0. Centro de referência para as energias Solar e Eólica Sérgio Brito. CEPEL. Rio de Janeiro –RJ. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>.
- (10) Shahzad, M. K., Zahid, A., Rashid, T., Rehan, M. A., Ali, M., & Ahmad, M. (2017). Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software. Renewable Energy, 106, 264–273.
- (11) Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B. V., & Leahy, M. (2010). A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. Applied Energy, 87(4), 1059–1082.



XXV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

3505
GES/07

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Ennio Peres da Silva

Possui graduação em Física pela Universidade de São Paulo (1977), mestrado em Física pela Universidade Estadual de Campinas (1981) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (1989). Atualmente é coordenador do Laboratório de Hidrogênio da UNICAMP (LH2), secretário executivo do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH) e professor no curso de Pós-graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência multidisciplinar com ênfase nas áreas de Física e Engenharia Mecânica, trabalhando com o aproveitamento das fontes renováveis de energia, geração distribuída e em sistemas isolados, atuando principalmente nos seguintes temas: produção, tratamento e armazenamento de hidrogênio,

células a combustível, energia elétrica e fontes renováveis