



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

FONTES RENOVÁVEIS E SEUS LIMITES: PERSPECTIVAS PARA ANÁLISES TÉCNICAS E EDUCACIONAIS DA ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA E FOTOVOLTAICA DO CAMPUS DA FATEC CAMPINAS

Maria Luiza Pereira Neviani, Fatec Campinas, maria.neviani@fatec.sp.gov.br
Bruna Antunes Rodrigues, Fatec Campinas, bruna.rodrigues23@fatec.sp.gov.br
Ciro Seiji Yoshiyasse, Bosch, UPEP – CEETEPS, ciro.yoshiyasse@cpspos.sp.gov.br
Francisco del Moral Hernandez, UPEP – CEETEPS,
francisco.hernandez@cpspos.sp.gov.br

ARTIGO TÉCNICO-CIENTÍFICO

EIXO TEMÁTICO: ENERGIA, MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE

RESUMO

Diante de um cenário de potencial escassez dos recursos naturais e o aumento da demanda por oferta de energia, a preocupação ambiental e a busca por fontes alternativas têm tomado grandes proporções. Neste trabalho, buscou-se avaliar o impacto ambiental e educacional de uma pequena usina fotovoltaica localizada no Campus da FATEC, em Campinas – SP. Utilizando a bibliografia disponível e realizando o detalhamento técnico, a busca pelo cálculo do *payback* energético da estação se iniciou. Junto a esta pesquisa, um importante evento promovendo a discussão sobre “energia limpa” com a comunidade ocorreu, alimentando o interesse do público presente. Contando com dados iniciais e experiências sociais, percebeu-se a relevância que ainda permanece (depois de muita evolução tecnológica) do debate e da pesquisa na área de energia renovável e desdobramentos em educação ambiental para públicos mais amplos.

PALAVRAS-CHAVE: Energia renovável. Energia fotovoltaica. *Payback* energético. Sustentabilidade. Educação Energética.



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

INTRODUÇÃO

O uso de energias renováveis tem sido amplamente promovido como uma solução crucial para mitigar os impactos ambientais causados pela queima de combustíveis fósseis.

Segundo projeções da Agência Internacional de Energia (2011), a eletricidade representa atualmente 17% da demanda total de energia mundial, devendo aumentar para 23% até 2050. A participação das fontes não renováveis de energia, compostas pelos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e pela energia nuclear, é de aproximadamente 80% na matriz de energia elétrica mundial, restando 20% para as fontes renováveis (BEN, 2024).

O Balanço Energético Nacional – BEN (2024), ano base 2023, descreve um cenário de expansão da oferta de eletricidade: verificou-se crescimento na oferta interna de 33,2 TWh (+4,8%) em relação a 2022. Além disso, o Brasil dispõe de uma oferta interna de energia elétrica de origem predominantemente renovável, perfazendo 89,2% em 2023, com destaque para a geração hidráulica que responde por 68,1% da oferta interna.

A geração solar fotovoltaica atingiu 50,6 TWh (geração centralizada e MMGD- Micro e Mini Geração Distribuída) crescendo 68,1% e a sua capacidade instalada alcançou 37.843 MW, expansão de 54,8% em relação ao ano anterior.

A geração hidrelétrica se manteve estável, com leve redução de 1,1 TWh, o que representou uma queda de 0,3% em relação a 2022.

Já a geração eólica atingiu 95,8 TWh (crescimento de 17,4%) e a sua potência instalada alcançou 28.682 MW, expansão de 20,7%. No mesmo período se observa queda de 1,9% na geração termelétrica.

Como qualquer solução complexa, há nuances a considerar ao analisar o uso da energia renovável. Historicamente, o custo inicial de implantação de tecnologias renováveis tem sido um desafio, embora tenha diminuído consideravelmente com avanços tecnológicos e economias de escala. Ainda assim, a infraestrutura necessária para integrar essas fontes ao sistema energético existente pode ser cara.



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

A implantação de grandes projetos de energia renovável, como barragens hidrelétricas, pode ter impactos sociais significativos, deslocando comunidades locais e afetando ecossistemas. Esses impactos devem ser cuidadosamente avaliados e mitigados e, em muitos casos, evitados ou substituídos através de estratégias de geração distribuída de energia a exemplo de arranjos locais de produção de energia.

Políticas de sustentabilidade se tornaram parte crucial de grandes empresas, exercendo pressão regulatória e atuando nas expectativas dos acionistas majoritários e até em sua própria reputação. A premissa de “redução de emissões de carbono” tornou-se meta principal. Muitas empresas estabelecem metas ambiciosas para reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEEs), muitas vezes em linha com os compromissos globais como os do Acordo de Paris. Isso pode envolver a implementação de tecnologias mais limpas, eficiência energética em suas instalações e transporte, e o uso de energias renováveis. Para divulgação de informações, são disponibilizados relatórios anuais de sustentabilidade, onde as empresas detalham seu desempenho ambiental, social e de governança (*ESG*). No geral, a implementação das fontes de energia renováveis tornou-se um “selo verde” para o mercado mundial. A educação ambiental no tocante à energia pode dar um salto de escopo para além das iniciativas corporativas, ampliando-o socialmente. Comunidades e seus arranjos produtivos locais pode se servir e são tributárias deste esforço de ampliação. Assim, embora as energias renováveis ofereçam um caminho promissor para um futuro energético mais sustentável, é essencial considerar os desafios técnicos, econômicos, sociais e políticos associados ao uso da energia. A abordagem ideal pode envolver uma combinação de diferentes fontes de energia, adaptadas às características locais e globais específicas, para maximizar os benefícios e minimizar as desvantagens.

O uso da energia no ambiente industrial traz consigo, no cenário brasileiro, e de maneira contundente no cenário mundial, a utilização de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade ou energia de processo. Mesmo no caso brasileiro, com um cenário ambientalmente mais amigável na oferta interna de energia de base renovável, a abordagem de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) de Painéis Solares Fotovoltaicos



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

(MANN *et al*, 2013), e a ACV a construção de parques eólicos (LOVRO, 2016) (que no caso brasileiro já superam o número de 1000 instalações segundo ABEEOLICA (2024)) podem produzir balanços importantes sobre o uso e forma de energia associados à utilização em toda a cadeia produtiva dessas indústrias. As chamadas pegadas de carbono e pegada energética (que pode ser medida pelo indicador *payback* energético) promovem a possibilidade de discussões mais amplas sobre o uso da energia. Uma pergunta bem didática poderia ser feita para deixar claro a importância da discussão: por quanto tempo eu tenho que manter meu painel solar fotovoltaico acionado para pagar a energia que foi necessária para construí-lo? O mesmo raciocínio poderia ser feito para os mais de 11350 aerogeradores com suas mais de 34.000 pás eólicas (ABEEOLICA 2024) fundamentalmente construídas como material sintético (LOVRO, *op cit*). O mesmo raciocínio das turbinas eólicas poderia ser aplicado a turbinas hidráulicas sejam construídas aqui ou em outros países. A vida desses componentes deve ser avaliada na utilização de recursos naturais desde o berço até o fim da vida e disposição final dos resíduos. Essa é a discussão franca que deve ser feita em termos do que venhamos a chamar de sustentabilidade ambiental. As conferências que tratam da elaboração de estratégias para a diminuição dos gases de efeito estufa (GEE) na geração de energia e na sua utilização tratam a questão nos seus três escopos, todos eles correlacionados com a avaliação de ciclo de vida e a chamada pegada de carbono: o quanto de CO₂ é produzido na fabricação, operação e descomissionamento.

Para poder reduzir as emissões de gases de efeito estufa, é necessário conhecer e inventariar com precisão quanto é emitido e em quais estágios das atividades econômico-industriais essas emissões ocorrem. Objetivando organizar a mensuração das emissões de gases de efeito estufa por empresas, governos e instituições em geral, foi criado, em 2008, o Programa Brasileiro *GHG Protocol*, responsável por adaptar o método *GHG Protocol* ao contexto brasileiro e desenvolver ferramentas de cálculo para estimativas de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Dentre alguns dos critérios do *GHG Protocol*, um deles é a elaboração dos escopos 1, 2 e 3 para relatar a intensidade de emissões. O escopo 1 engloba as emissões lançadas



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

na atmosfera que vêm diretamente do processo produtivo da empresa, sendo resultado dos recursos do próprio negócio. Dentro dessa classificação, existem, por exemplo, gases produzidos a partir da queima de combustíveis e fontes de calor.

O escopo 2 refere-se às emissões associadas à geração de eletricidade e energia que uma empresa ou arranjo produtivo consome. A empresa é responsável pela quantidade de eletricidade que compra da rede e, portanto, é indiretamente responsável pelas emissões das usinas geradoras. Nos países “frios”, a compra de energia térmica (calor de processo), utilizando redes de aquecimento urbano, também é contabilizada como escopo 2.

O Escopo 3 abrange as emissões indiretas, que ocorrem ao longo da cadeia produtiva da atividade sobre a qual se realiza o inventário. Entre as categorias desse escopo, estão as emissões provenientes dos resíduos gerados durante as operações e os gases produzidos no transporte e armazenamento das mercadorias disponibilizadas pela empresa. Assim, o escopo 3 inclui fontes sobre as quais um arranjo produtivo não tem controle direto. A ACV é essencial para determinar a contribuição de cada escopo.

De acordo com o *GHG Protocol*, as organizações são obrigadas a relatar apenas os escopos 1 e 2, e a contabilização do escopo 3 é voluntário, pois é mais difícil de consolidar e não é resultado direto da ação da atividade fim (*core*). No entanto, se estamos interessados em eliminar ou diminuir as emissões de gases de efeito estufa em toda uma cadeia produtiva amplia-se a necessidade de monitorar toda a cadeia de suprimentos.

Energia fotovoltaica e a Estação Solarimétrica FATEC campinas

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Se dá por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica, que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico, agrupando células em painéis com plena capacidade de conexão à rede Elétrica Convencional (IMHOFF, 2007; ZILLES, 2011; SUZUKI & REZENDE, 2013; GHENSEV, 2006).



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade
12 a 14 de novembro de 2024
Salvador - BA, Brasil

A FATEC Campinas detém um sistema fotovoltaico doado pela CPFL Paulista, distribuidora de energia local, para fins educacionais. O sistema possui painéis com duas tecnologias diferentes: o silício monocristalino à esquerda e o silício policristalino à direita (Figura 1).

Figura 1 – Estação Solar Fotovoltaica – FATEC Campinas.



Fonte: Autoria própria.

Neste cenário, o presente artigo tem por objetivo apresentar os aspectos técnicos da estação, seu *payback* energético e a participação da equipe de autores em um evento promovido pela faculdade, que apresentou o conceito de energia fotovoltaica a alunos do ensino médio. Inicialmente, uma breve descrição acerca dos princípios de funcionamento é apresentada. Na sequência, a conceituação de *payback* energético e os dados obtidos para a estação em questão. Por fim, um breve relato de interação social através do chamado “FATEC Portas Abertas”.

METODOLOGIA

Neste artigo, foi realizada uma revisão bibliográfica que possibilitou elencar e caracterizar aspectos técnicos da energia fotovoltaica e contextualiza-la nos cenários brasileiro, internacional e no tocante à sustentabilidade. Foi realizada também uma análise de dados provenientes do cálculo do *payback* energético (conceito descrito mais adiante em seção específica) para a estação em questão. Estes cálculos de *payback*



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

energético e pegada de CO₂ vem sendo realizados concomitantemente ao desenvolvimento de uma calculadora ambiental que tem como entradas os dados empíricos de montagens específicas e dados disponibilizados publicamente por associações industriais e órgãos públicos. Ademais, foi feito um levantamento do material utilizado na estruturação dos dois painéis solares (os próprios painéis, frames, porcas, parafusos, sapatas, cabos elétricos, apoios e caracterizações construtivas). Após analisar o material coletado, foi possível elencar algumas limitações, provindas da dificuldade de obtenção de dados. As avaliações sobre pegadas de carbono hídrica e *payback* energético (a energia incorporada associada a estação solarimétrica) podem ser tributárias como indicador para mitigação de consequências ambientais em implementações correlatas. Cabe ressaltar que a pesquisa também contou com uma etapa de divulgação científica, na qual foi feita uma explanação, a respeito do funcionamento da estação solarimétrica, para a comunidade. A participação neste evento culminou em um breve relato de experiência que irá compor este trabalho. Por fim, apresenta-se as conclusões do estudo, as análises críticas e as indicações de desdobramentos futuros.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aspectos Técnicos

Na FATEC Campinas, há uma estação solarimétrica (Figura 2) que está integrada ao sistema fotovoltaico (Figura 1) constituído por dois painéis solares com duas tecnologias distintas (policristalina e monocristalina) totalizando 7,2 KWp. Uma estação solarimétrica deve conter os principais instrumentos de medição utilizados atualmente para a aquisição de dados radiométricos com foco em atender as exigências de qualidade em medidas requeridas pelo setor energético.

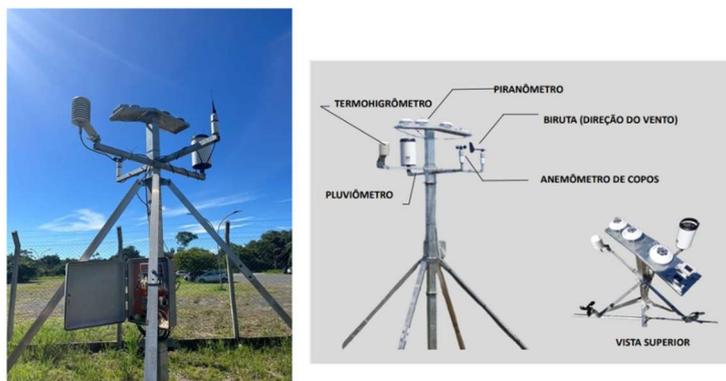
A estação contém: um pluviômetro termo-higrômetro que mede a precipitação pluviométrica, dois piranômetros (sensores cuja estrutura é composta por abóbada de vidro e corpo de metal) para medição de irradiação global, dois termômetros (termopares) acoplados ao sistema fotovoltaico para medida de temperatura dos



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade
12 a 14 de novembro de 2024
Salvador - BA, Brasil

painéis, um anemômetro de copos (sensor opto-eletrônico de velocidade do vento) e um datalogger CR3000, sistema de aquisição de dados que armazena e coleta os dados medidos pelos sensores, onde podem ser configurados o tempo de aquisição, valores médios, desvio padrão, máximo, mínimo, entre outros

Figura 2 - à esquerda: estação solarimétrica da FATEC Campinas integrada ao sistema fotovoltaico; à direita: esquema representativo dos itens que compõem a estação solarimétrica.



Fonte: Autoria própria.

Seu acesso local (para fins de estabelecimento de comunicação de dados) é feito por um cabo físico, entretanto, é utilizada uma interface ethernet NL115 para ser acessado via internet (elementos conforme figura 3).

Figura 3 – da esquerda para direita, temos: piranômetro, anemômetro de copos, pluviômetro, termômetro e *datalogger*.



Fonte: *Instruction Manual_model CMP6 Kipp & Zonen*

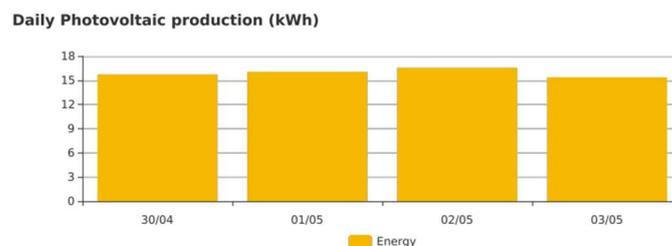
Diariamente recebemos os dados consolidados da produtividade energética dos painéis (Gráfico 1). Estes dados são essenciais para, em uma etapa futura, calcularmos



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade
12 a 14 de novembro de 2024
Salvador - BA, Brasil

o *payback* energético da instalação. Esta proposição de cálculo será descrita mais à frente.

Gráfico 1 – Produção diária de um dos painéis fotovoltaicos para os primeiros dias de Maio de 2024.



Fonte: *Ingecon Sun Monitor*. Relatório diário de produtividade energética

Payback energético e pegada ambiental da estação solar da FATEC campinas

Para o cálculo do *payback* energético da estação solar em questão, nas figuras abaixo (Figura 4), temos os momentos das tomadas de medidas para análise gravimétrica (massa e medidas volumétricas) dos componentes dos painéis solares estruturais.

Figura 4 – Rascunho das principais partes e fotos dos principais momentos.



Fonte: Autoria própria.



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
 Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade
12 a 14 de novembro de 2024
Salvador - BA, Brasil

Tabela 1 – Quadro resumo contendo dados de diferentes materiais.

Quadro Resumo

	Peso (Kg)	Água (l)	CO ² (Kg)	EE (MJ)
Aço baixa liga	269,3	12388	673	10449
Alumínio Laminado	81,9	20475	983	18452
Cobre laminado	7,5	2250	39	567
Concreto	1.526,8	5191	214	909
Polímero placa	129,4	36685	731	14906
Polímero PVC	3,8	151	10	340

Fonte: *Methodology guidelines on life cycle assessment of photovoltaic electricity.*

Tabela 2 - Descritivo volumétrico, dimensional e gravimétrico.

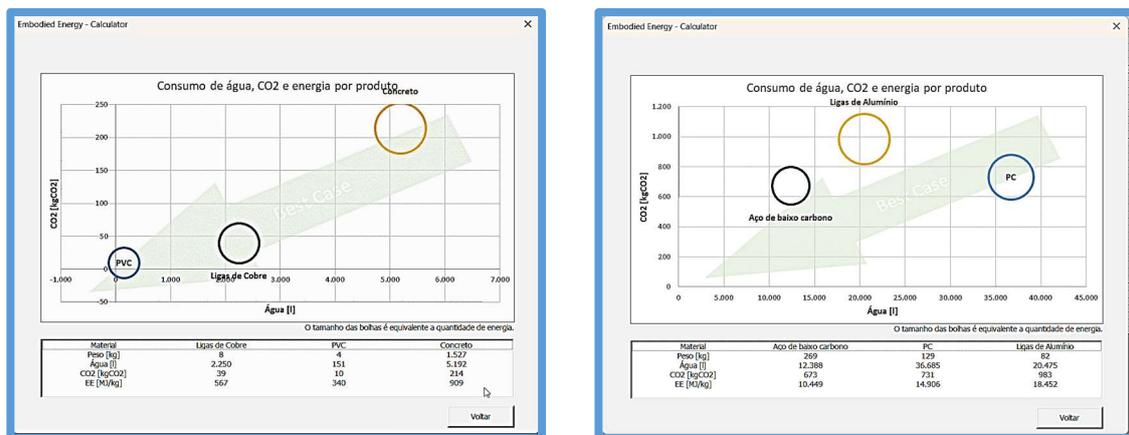
	Item	Área (cm ²)	Comprimento (mm)	Volume mm ³	V Litros	MAT	Peso específico (kg/l)	Peso	OBS
16	Polycarbonato			107.800.000,0	107,800	PC	1,2	129,4	
2	Travessa C	371,3	0,0	0,0	0,000	Aço estampado	7,9	0,0	
3	Viga C	666,0	23.520,0	15.664.320,0	15,664	Aço estampado	7,9	123,0	
4	Travessa C	371,3	4.000,0	1.485.120,0	1,485	Aço estampado	7,9	11,7	
5	Viga C Vertical	704,0	10.800,0	7.603.200,0	7,603	Aço estampado	7,9	59,7	
6	Tubo	318,1	6.300,0	2.003.943,4	2,004	Aço estampado	7,9	15,7	
7	Sapata	330,0	2.496,0	823.680,0	0,824	Aço estampado	7,9	6,5	
9	Arruela			4.088,2	0,004	Aço estampado	7,9	1,0	
12	Sapata 2	450,0	800,0	360.000,0	0,360	Aço estampado	7,9	2,8	
14	Grampo			176.000,0	0,176	Aço estampado	7,9	1,4	
8	Parafuso			9.733,4	0,010	Aço forjado	7,9	2,4	Parafuso 1/2'
10	Porca			3.672,0	0,004	Aço forjado	7,9	0,9	Parafuso 1/2'
11	Parafuso			176.000,0	0,176	Aço forjado	7,9	44,2	Parafuso 1/2'
1	Travessa U	256,5	43.720,0	11.214.180,0	11,214	Alumínio	2,7	30,4	
15	Perfil especial			19.082.764,8	19,083	Alumínio	2,7	51,5	
19	Cabo de cobre			848.230,0	0,848	Cobre	8,9	7,5	
13	Base concreto	70.685,8	9.000,0	636.172.512,4	636,173	Concreto	2,4	1.526,8	
17	Silica				0,000		2,5	0,0	
20	PVC			2.544.690,0	2,545	PVC	1,5	3,8	
	TOTAL				0,000			2.018,77	

Fonte: *Methodology guidelines on life cycle assessment of photovoltaic electricity.*

A partir do quadro resumo (Tabela 1) e da Tabela 2, foram feitas rodadas para energia incorporada. No Gráfico 2, logo abaixo, vemos o CO₂ produzido no processo de fabricação e utilização de água para aço, alumínio, polycarbonato, PVC, concreto e cobre para fins de cobertura do escopo 1 e 2. A seta indica regiões de menor impacto ambiental. Os círculos evidenciam a posição relativa dos materiais frente ao uso real desses materiais na estrutura sob análise. A análise do escopo 3 fica comprometida, por hora, pela falta de dados para a cadeia completa. Também não foram feitas até o

momento a simulação dos painéis solares (silício mono e policristalino). Este será um desdobramento das próximas etapas da investigação.

Gráfico 2 – à esquerda: simulação aço, alumínio e policarbonato; à direita: simulação PVC, concreto e cobre.



Fonte: Cálculos próprios baseados em *Methodology guidelines on life cycle assessment of photovoltaic electricity*.

O conceito de energia incorporada, *embodied energy* ou CED, se refere ao gasto de energia para a produção de um m² de um módulo (ou qualquer unidade de medida de um outro produto ou insumo produtivo). Adicionalmente, o EPBT (*Energy Pay Back Time*), é definido como a relação entre a CED e a energia primária que o sistema fotovoltaico economiza que seja consumido na rede à qual está conectado.

A fórmula que segue (Figura 5) expressa este importante indicador de sustentabilidade deste tipo de conversão energética:

Figura 5 – Fórmula para o *Energy Payback Time*.

$$EPBT = \frac{E_{CED}}{G \eta_{conv} PR} \eta_{grid}$$

Fonte: *Methodology guidelines on life cycle assessment of photovoltaic electricity*.



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

O ECED é o CED necessário para a produção de 1 m^2 de módulo, η_{grid} é a eficiência de conversão da rede na qual o sistema fotovoltaico está instalado, G é a insolação anual para a região em questão (medida em $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$), η_{conv} é a eficiência de conversão do módulo fotovoltaico e PR é a taxa de desempenho do sistema. Seguindo a diretriz IEA PVPS (FTHENAKIS et al, 2011) assume-se um PR de 0,75 para sistemas residenciais em telhados. Mas a configuração da instalação, bem como as condições de operação e manutenção devem ser avaliadas (Inclinação dos painéis, sujidade, ventilação, arrefecimento de temperatura no espaço envolvente do painel, fuligem e particulados com potencial acúmulo nas superfícies). Para a estimativa de G e PR, a estação solarimétrica acoplada à instalação fotovoltaica, tal qual a temos e descrevemos, é essencial para a avaliação destes parâmetros.

FATEC de Portas Abertas

A FATEC Campinas promoveu no dia 10/05/2024 o "FATEC de Portas Abertas", atividade que tem como objetivo estreitar os laços entre a Faculdade e a comunidade externa, especialmente com as escolas de Ensino Médio da região. Instalada na cidade de Campinas desde 2014, o campus ainda não é muito conhecido e alguns cursos oferecidos pelo campus não conseguem preencher todas as vagas disponibilizadas pelo Vestibular FATEC ou Provão Paulista, sistema de provas para alunos da rede pública de ensino do Estado de São Paulo.

O evento busca aproximar os alunos do ensino médio do ensino superior, apresentando os cursos oferecidos pela FATEC Campinas. Os organizadores desejam motivar os jovens da região a descobrirem suas vocações profissionais e a ingressarem no ensino superior. Os alunos e professores da faculdade prepararam palestras e oficinas, apresentando temas pertinentes aos cursos oferecidos pela FATEC Campinas. Para representar o curso de Gestão de Energia e Eficiência Energética, os autores deste artigo organizaram uma oficina que introduziu o Funcionamento da Usina Solar e da Estação Solarimétrica localizadas no campus da FATEC Campinas para as escolas de



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade
12 a 14 de novembro de 2024
Salvador - BA, Brasil

ensino médio visitantes. Durante o contato com os alunos de ensino médio, explicou-se a dinâmica de uma usina solar e seus componentes, tais como placas mono e policristalinas, inversores e instrumentos de medição (termômetro, anemômetro, pluviômetro, biruta etc.). Os alunos puderam esclarecer dúvidas e ver pessoalmente o funcionamento da energia solar fotovoltaica, bem como a aquisição de dados solarimétricos e climatológicos através da visualização do painel do *datalogger* da estação solarimétrica. Foram feitos, durante cada uma das oito visitas por grupo, esclarecimentos sobre conceito de energias renováveis, sustentabilidade e a controvérsia envolvendo “energias limpas” ou energias ambientalmente mais amigáveis. Como parte do Programa de Monitoria de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (MIDTI) de 2024, as graduandas, Bruna Rodrigues e Maria Luiza Neviani, estiveram à frente da condução desta monitoria e desta atividade de socialização da pesquisa (Figura 6).

Figura 6 – Interação entre representantes da FATEC Campinas e comunidade externa



Fonte: Autoria própria

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estrutura instalada na Fatec Campinas é versátil e tributária de dados reais para análises do desempenho da produtividade energética da instalação conversora de energia. Além dos dados climatológicos já mencionados, o tratamento dos dados brutos permite produzir indicadores de sustentabilidade da conversão energética. O balanço final expresso pelas pegadas de carbono e hídrica já mostra passos promissores para as



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

futuras análises, rumando para a possibilidade de atingir o escopo 3 para as metas de avaliação de ciclo de vida completo da instalação. A grande dificuldade metodológica é obter dados reais (não apenas autodeclarados pela indústria) para toda a cadeia produtiva envolvendo a matriz insumo produto envolvida na instalação. O cálculo do *payback* energético será o próximo desdobramento desta pesquisa no sentido de caracterizar a sustentabilidade ou não do processo de conversão de energia, para além do marketing e propaganda normalmente associados à “energia limpa”. A energia incorporada nos insumos e materiais foram alimentados na calculadora ambiental através de valores médios disponíveis em bases de dados internacionais. A produção destes insumos e sua pegada ambiental dependem intrinsecamente da maneira como cada região produz e utiliza os recursos naturais para, por exemplo, produzir eletricidade. Assim, “uma pegada ambiental brasileira” é distinta de uma pegada de algum outro país industrializado do hemisfério norte que tem sua oferta interna de energia advinda da queima de combustíveis fósseis. Como experiência discursiva, tivemos a possibilidade de interação com parcelas mais amplas da sociedade através do evento FATEC Portas Abertas, no qual uma das atividades com alunos do ensino médio ensejou um debate mais profundo sobre o tema “energias renováveis” e como podemos escapar da superficialidade da discussão. Como indicações dos próximos passos, deve-se fazer a incorporação dos módulos de silício poli e monocristalino. Antecipamos a hipótese de que a pegada ambiental simulada será maior uma vez que as atividades de obtenção do silício para grau óptico e eletrônico envolvem atividades de uma indústria (mineração) extremamente poluente, tanto enérgico intensiva quanto hidro intensiva.

REFERÊNCIAS

ABEEOLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. Portal ABEEOLICA, Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/>>. Acesso em: 10.set.2024.

BEN. Balanço Energético Nacional. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Relatório Síntese BEN 2024, Ano base 2023. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-189/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024.pdf>. Acesso em: 1.set.2024.



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

CONSTANTINO, G.; FREITAS, M.; FIDELIS, N.; Giannini, M.P. Adoption of Photovoltaic Systems Along a Sure Path: A Life-Cycle Assessment (LCA) Study Applied to the Analysis of GHG Emission Impacts. *Energies* 2018, 11(10), 2806; <https://doi.org/10.3390/en11102806>

FTHENAKIS, V.; FRISCHKNECHT, R.; RAUGEI M, KIM H.C.; ALSEMA. E.; HELD, M; de WILD-SCHOLTEN, M. **Methodology guidelines on life cycle assessment of photovoltaic electricity**, 2nd ed. IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Program, 2011.

GHENSEV, A. **Materiais e Processos de Fabricação de Células Fotovoltaicas**. Monografia de Especialização em Fontes Alternativas de Energia. Universidade Federal de Lavras, MG. 2006.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

LOVRO, Artur. **Panorama sobre efeitos e falhas frequentes em pás eólicas**. . São Paulo: PECE. Disponível em: <<https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/ba684ec9-37af-487c-870a-be5e6cc9c407/ARTUR%20LOVRO%20%202016.pdf>>. Acesso em: 10.jul.2024. ,2016

MANN, S. A.; WILD-SCHOLTEN, M. J.; FTHENAKIS, V. M.; VAN SARK, W.G.J.H.M; SINKE Wim C. The energy payback time of advanced crystalline silicon PV modules in 2020: a prospective study. *Prog. Photovolt: Res. Appl.* 2014; 22:1180–1194 © 2013 John Wiley & Sons, Ltd. 1181 DOI: 10.1002/pip

SUZUKI. E. V.; REZENDE, F.D. **Estudo da Utilização da Geração Fotovoltaica para Auxiliar a Suprir a Demanda Crescente de Energia Elétrica no Brasil**. Monografia apresentada à Universidade Tecnológica do Paraná, no Curso de Especialização em Eficiência Energética. Curitiba, 2013.

ZILLES, R. Perspectivas de Aplicação de sistemas de Geração Fotovoltaica Conectados à Rede Elétrica no País. In Seminário de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica – Abinee, *Anais*, 2011.