

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE FOTOVOLTAICOS FLEXÍVEIS E TRADICIONAIS
EM TOLDOS DA UNIVERSIDADE**

DOI: 10.19177/rgsa.v9e012020536-550



Rodrigo Schönell¹
Eduarda Biffi²
Bruna Rogovski³
Mari Aurora Favero Reis⁴

RESUMO

Com a crescente busca de fontes de energia renovável a tecnologia fotovoltaica tem se tornado mais eficiente e popular. A universidade é local apropriado para aplicação, com ampla área para instalação do sistema. Os toldos de passarelas, construídos para fins de segurança e praticidade no deslocamento, pode ser sistema de captação e transformação de energia solar em energia elétrica para a instituição. O estudo comparativo demonstrou viabilidade técnica e econômica para projeto nos dois tipos de tecnologias: sistemas de painéis rígidos e sistema de painéis flexíveis. No estudo, ambos os sistemas demonstram tempo de retorno de investimento em 6 anos, promovendo sustentabilidade e eficiência energética à edificação.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica. Painéis Flexíveis. Sustentabilidade.

¹ Engenheiro Civil, Universidade do Contestado, Concórdia SC. E-mail: rodrigo.schonell@hotmail.com

² Engenheira Civil, Universidade do Contestado, Concórdia SC. E-mail: eduarda.biffi@hotmail.com

³ Acadêmica de Engenharia Civil, Universidade do Contestado, Concórdia SC e Bolsista CNPq/PIBIT. E-mail: brunarogovski@gmail.com

⁴ Doutora em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade do Contestado, Concórdia SC. E-mail: mariaaurorafavero@gmail.br

ABSTRACT

With the increasing search of renewable energy sources, photovoltaic technology has become more efficient and popular. The university is suitable place for application, with ample area for system installation. The awnings of catwalks, built for safety and practicality in the displacement, can be a system for capturing and transforming solar energy into electric energy for the institution. The comparative study demonstrated technical and economic feasibility for design in both types of technologies: rigid panel systems and flexible panel system. In the study, both systems demonstrate time to return investment in 6 years, promoting sustainability and energy efficiency for building.

Key words: Photovoltaic energy; Flexible Panels; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O uso inicial da tecnologia fotovoltaica esteve condicionado ao fornecimento de eletricidade aos satélites, sendo que nesse período as aplicações terrestres eram economicamente inviáveis, sendo que a evolução nos processos de produção das tecnologias, juntamente com a possibilidade as aplicações tornaram-se acessíveis (RÜTHER, 2004). As aplicações iniciais das células fotovoltaicas eram para fornecer eletricidade nos locais em que não se contemplava a distribuição da eletricidade pela rede pública (em sistemas individuais *off grade*). A realidade mudou com a possibilidade de uso integrado na rede (sistema *on-grid*), oportunizando o uso da tecnologia em edificações e usinas de geração em mega escalas.

A tecnologia fotovoltaica mais utilizada é fabricada com uso de silício retirado da sílica, material abundante na natureza. Atualmente o mercado está provido de uma variedade de aplicações tecnológicas, contemplando células produzidas por silício dopado, com silício amorfo, mono e policristalinos. O diferencial entre as células fotovoltaicas está a eficiência, finalidade de uso, custo e processo de fabricação da tecnologia (SAGA, 2010). O autor apresenta um comparativo entre as células mono e policristalinas, incluindo processos de fabricação e funcionalidade entre os sistemas.

Em termos conceituais, o princípio de funcionamento da tecnologia é fundamentado na transformação de luz em corrente, no processo conhecido como princípio fotovoltaico por efeito fotoelétrico no interior do painel. Efeito fotoelétrico é fundamentado na teoria quântica da luz, ou quantum de luz, apresentado por Albert Einstein a mais de um século no artigo “*Sobre um ponto de vista heurístico relativo à produção e transformação da luz*” (EINSTEIN, 1905), que em 1921 atribuiu a Albert

Einstein o Prêmio Nobel de física. As primeiras observações do efeito fotoelétrico remontam ao início do século XIX, a partir de obras de Alexandre Edmond Becquerel, Heinrich Hertz, Wilhelm Hallwachs e Joseph John Thomson (DEMMING, 2010). A manifestação da quantização ocorre na excitação de elétrons, de modo a serem ejetados para a banda de valência do material, produzindo o que chamamos o efeito fotocondutor ou fotovoltaico.

O efeito da luz nas células solares fotovoltaicas, no processo conhecido como fotocondutividade, tem sido explicado em muitos artigos e em ensino de física, possibilitando ser aplicado em diferentes áreas do currículo nas engenharias. Conseqüentemente, no ano Internacional da Luz (2015) foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a teoria de Einstein (REIS; SERRANO, 2017). Os resultados com uso da tecnologia fotovoltaica foram utilizados como aplicação de contexto na engenharia em tese de doutorado (REIS, 2019), que oportunizou a aplicação do tema em pesquisas na Universidade do Contestado contemplando as três gerações fotovoltaicas.

A primeira geração da tecnologia, contempla os painéis rígidos, com células de silício policristalino, que são até hoje as mais encontradas no mercado. A tecnologia para essa geração foi aplicada para uso de águas pluviais (AMPESE; REIS; SERRANO, 2018) e estudo de viabilidade para instalações de usina em posto de combustível (BIFFI; REIS, 2019). A segunda geração fotovoltaica é produzida com silício amorfo, menos eficiente na transformação da energia, porém pode ser produzida em material flexível possibilitando ser aplicada em cobertura com superfície curvas ou não são planas, como nesse trabalho. Essa tecnologia foi estudada como trabalho de conclusão de curso na Engenharia Civil (SCHÖNELL, 2016), sendo que os resultados do estudo realizado serão apresentados nesse *paper*. Atualmente a pesquisa com uso da tecnologia fotovoltaica contempla, também, a terceira geração, com uso de filmes finos (ROGOVSKI; REIS, 2019). É pertinente destacar que a evolução tecnologia possibilita que a energia solar fotovoltaica seja promovida ao uso em uma diversidade de aplicações na Engenharia Civil, de modo que todas as gerações da tecnologia apresentam seu potencial de aplicação.

Essa pesquisa foi desenvolvida com objetivo realizar um estudo de viabilidade para implantação de sistema de captação e geração de energia, por intermédio de painéis fotovoltaicos, em um projeto para substituição aos toldos de lona utilizados nos acessos aos blocos da Universidade. O local escolhido para o estudo foi a

Universidade do Contestado Campus Concórdia. Nesse trabalho apresentaremos um comparativo para o uso de painéis tradicionais com placas rígidas produzidos com silício policristalino e os painéis flexíveis produzidos com silício amorfo.

De acordo com os estudos bibliográficos a transformação da energia solar em energia elétrica é atualmente uma alternativa altamente sustentável para a matriz energética mundial. Trata-se de uma fonte considerada inesgotável comparada com outras fontes energéticas convencionais e por causar menos impactos. Consequentemente, nossa justificativa é de que o uso dessa tecnologia possa proporcionar sustentabilidade ao sistema.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o presente trabalho foi do tipo estudo de caso, onde foi utilizado como aplicação de contexto o uso de tecnologia fotovoltaica em toldos de acessos aos blocos, na Universidade do Contestado. No estudo de caso a pesquisa busca “descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação; explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações” (GIL, 2002, p. 58). Ao realizar o estudo foram utilizados os seguintes procedimentos metodológicos:

2.1 Pesquisa bibliográfica, documental e mercadológica

Para levantamento de dados sobre ambas as tecnologias, bem como dados obtidos junto ao campus universitário, com objetivo de verificar o uso da tecnologia fotovoltaica em coberturas e toldos. Também, foram coletados dados do consumo de energia, gastos gerados para manutenção dos toldos, bem como as estruturas na edificação em estudo (toldos).

2.2 Estudo do local a ser implantado o sistema

Com o intuito de garantir o melhor posicionamento dos painéis fotovoltaicos com relação ao aproveitamento da incidência solar e análise da estrutura existente, no sentido de suportar as forças após a modificações nos toldos.

2.3 Estudo experimental da eficiência energética no local a ser aplicado o sistema fotovoltaico

Onde foi investigado por intermédio de experimentos práticos, conforme realizado nos Emirados Árabes Unidos (MOLKI, 2010) e no Deserto do Saara (SARK, 2007), com auxílio de uma mini placa solar fotovoltaica de 5 watts de potência acoplada a multímetros, verificou-se qual seria a potência de pico, mediante os valores da corrente e tensão nos medidores.

2.4 Com o auxílio da ferramenta Microsoft Excel realizou-se o estudo técnico econômico

A fim de investigar a o retorno financeiro sobre o investimento instalação do projeto fotovoltaico envolvendo também a substituição dos toldos de acrílico por toldos que gerem eletricidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os modelos propostos neste estudo de caso pode gerar redução nos custos de manutenção nos toldos de acrílico e de lona, que frequentemente são danificados por interoperes climáticas (como ventos, granizo, radiação solar, entre outros). Além disse a tecnologia pode contribuir para a redução dos custos da fatura da energia elétrica consumida na Universidade do Contestado, como demonstrou a pesquisa anteriormente realizada (SCHÖNELL, 2016). Os valores numéricos, aqui apresentados, são oriundos da pesquisa realizada por Schönell, uma vez que após novo orçamento não foram observadas significativas alterações nos resultados durante o período.

Com a viabilização deste estudo de caso, a energia solar captada nos toldos pode ser utilizada para as lâmpadas das passarelas e, principalmente, em outras atividades que demandam do consumo de energia elétrica durante o período de Sol, na universidade. A figura a seguir (Figura 1) é apresentado o ambiente de estudo. Em cor verde, próximo a cinza, está o toldo de lona e de cor verde (cor vibrante) o toldo de acrílico. Em ambos, as colunas de sustentação dos toldos são compostas por tubos metálicos, que suportam a estrutura da cobertura.

Figura 1 - Características dos toldos de acesso aos blocos da Universidade.



Fonte: (SCHÖNELL, 2016).

3.1 Resultados da avaliação das tecnologias existentes no mercado

A partir dos estudos mercadológicos foram encontradas duas opções da tecnologia para este projeto: (i) painéis flexíveis de silício amorfo (tipo lona) e (ii) painéis rígidos de silício policristalino (tradicionais). Os painéis flexíveis de silício amorfo, foram escolhidos com o propósito de obter instalação rápida e prática, sem a necessidade da substituição da estrutura atual e cobertura nos toldos. A flexibilidade nos painéis viabiliza a disposição dos mesmos sobre a cobertura dos toldos, que é curva. Portanto, apresentando como vantagem a possibilidade de ser moldado e aplicado em qualquer tipo de superfície. Como desvantagem dessa tecnologia está a baixa eficiência na produção de energia, sendo necessário a aplicação em larga escala para garantir o custo competitivo para o sistema.

Já os painéis de silício policristalino representam um dos principais sistemas e o mais utilizado na instalação de usinas para a geração de energia elétrica por intermédio do efeito fotovoltaico. Com a vantagem de proporcionar melhores índices de eficiência energética, mesmo em condições de baixa irradiação. A desvantagem de aplicação, neste projeto, está a necessidade de modificação e construção de estrutura que sustente a força peso exercida por esses painéis e ainda que seja uma estrutura plana.

3.2 Resultados da avaliação do ambiente de instalação do projeto

Após observação da curva solar (Figura 2) com uso de software para posicionamento solar (“Ferramentas para designers e consumidores de energia solar”, [s.d.]). Observou-se que o trecho mais favorável para a instalação dos painéis é entre a biblioteca do campus e o bloco que abrange as atividades de cópias/xerox. Essa região é privilegiada por estar voltada ao Norte, tornando favorável à incidência solar, contemplando maior período solar. Também, nessa região dos toldos não há sombreamento por árvores ou prédios.

Figura 2 - Local apropriado para aplicação do projeto com a curva solar, em relação aos toldos.



Fonte: Autores com uso do software Sunearth Tools
<https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt>. Acesso em 15/07/2019.

Medições e avaliações na estrutura selecionada para aplicação da tecnologia fotovoltaica, verificou-se que a estrutura escolhida contempla área coberta de aproximadamente 78 m² de toldo, com boas condições físicas e estruturais, com toldos de acrílico. A instalação dos painéis flexíveis se destaca, neste caso, uma vez que este tipo de tecnologia se adequa a curvatura dos toldos de acrílico.

Para a instalação de painéis rígidos verificou-se que as estruturas metálicas atuais (figura 3) não comportariam a implantação do sistema por ser curvas e, por ser um corredor de ventos, haveria dificuldade de fixação dos painéis com segurança. A estrutura atual é projetada para suportar cargas leves como a de toldos em acrílico.

Figura 3 - Toldos escolhidos para aplicação do projeto (a esquerda, vista interna e a direita, a vista externa).



Fonte: (SCHÖNELL, 2016).

Portanto, nessa opção demanda da construção de estrutura plana e com inclinação adequada para o norte verdadeiro. O projeto sugere substituição da estrutura metálica por estrutura de concreto armado, para instalação dos painéis rígidos a recomendações do fabricante é que haja uma estrutura segura e rígida, para suportar, além do peso dos painéis, também a carga exercida por ventos.

4.3 Resultados na avaliação da eficiência energética

O estudo (teste piloto) de eficiência energética, no local para instalação, elaborado a partir de resultados de pesquisas anteriores (DARK, 2011; GFROERER, 2013; GREAVES, 1970; MOLKI, 2010; RICHARDS; ETKINA, 2013) e uso de kit com painel fotovoltaico rígido (CIDEPE, [s.d.]), inversor e equipamentos para aferições (amperímetro e voltímetro digitais). Inicialmente verificamos, com uso do multímetro digital, os valores de tensão e corrente.

Figura 4 Experimento utilizado na avaliação da eficiência energética.



Fonte: (SCHÖNELL, 2016).

Com os dados obtidos e uso da equação abaixo calculamos a eficiência na conversão da energia pelo painel solar, com a equação 1.

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

η é a eficiência;

P_u é a potência gerada;

P_t é a potência máxima do painel.

O teste piloto foi realizado em datas e horários diferentes, durante dias com o tempo nublado e ensolarado, a fim de obter resultados de maior e menor produção (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados do teste de eficiência no local de estudo

Área m ²	I (A)	Volt	P _u (W)	P _t (W)	W/m ²	η	Data	Hora
0,04185	0,0585	9,3	0,54405	5	13	10,88%	02/09/2016	11:00
0,04185	0,0635	9,2	0,5802	5	13,959	11,68%	24/09/2016	16:15
0,04185	0,0675	9,5	0,64125	5	13,32258	12,83%	26/09/2016	15:05
0,04185	0,071	9,7	0,6887	5	16,46	13,77%	10/10/2016	14:06

Fonte: (SCHÖNELL, 2016).

A partir dos dados obtidos verificou-se que o rendimento do painel foi de 10% em dia nublado (11 horas da manhã) e 14% em dia ensolarado (14 horas da tarde). Os dados foram coletados na primavera (setembro e início de outubro), período de equinócio (quando temos no Sul o mesmo número de horas diurnas e noturnas). Os dados obtidos no estudo, no decorrer dos dias, em diferentes condições climáticas, nos demonstraram que os resultados foram significativos, chegando até 16,46 W/m², para um rendimento de 13,77% no painel, um resultado favorável comparados estudos realizados na Europa (MOLKI, 2010).

3.3 Estudo econômico comparativo entre as tecnologias a serem empregadas

Nessa seção serão apresentados os valores orçados para a instalação, obtidos junto à fornecedores da tecnologia, e construtora em Concórdia SC. Os dados obtidos proporcionaram determinar o tempo de retorno de investimento das duas tecnologias estudadas, a fim de verificar qual seria economicamente mais viável.

3.3.1 Estudo “A” – Painéis rígidos de silício policristalino

Conforme mencionado, na avaliação da estrutura metálica existente verificou-se que ela não suportaria a instalação dos painéis rígidos, a carga a ser aplicada na estrutura, com essa tecnologia dos painéis rígidos, é de aproximadamente 25 kg/m², conforme dados fornecidos por representantes da tecnologia. Somado a esse fator, ainda há a problemática com a fixação, pois o toldo não apresentar formato adequado para a instalação da tecnologia.

Quanto a avaliação sobre a conservação dos toldos (estrutura e cobertura), verificou-se diversos pontos de ferrugem, sendo que este efeito de corrosão apresenta riscos para aplicação de carga superior à prevista para a estrutura já existente. E, com base nas informações apresentadas, realizou-se um projeto para adequação da estrutura existente, substituindo a estrutura metálica por estrutura de concreto armado.

Os valores orçados para a estrutura de concreto armado são apresentados na tabela 2, obtidos com referência na tabela de preços do DEINFRA/SC de julho de 2015, conforme seus respectivos códigos. O valor a ser investido no concreto com resistência de 25 Mpa armado em aço de 8 mm a 12,5 mm é de R\$ 2.397,14 por m³ e o investimento com formas de compensado de 12 mm é de R\$ 102,84 por m² para fazer as formas, totalizando um valor à ser investido de R\$ 21.622,65 para realizar a adequação da estrutura existente.

Tabela 2 - Orçamento para substituição da estrutura

Código	Descrição	Quantidade	Valor Unit. (R\$)	Valor total (R\$)
47991	Concreto armado 25Mpa, aço 8mm a 12,5mm	7,40 m ³	2.397,44	17.741,05
43247	Forma de Compensado	37,74 m ²	102,84	3.881,60
			TOTAL	21.622,65

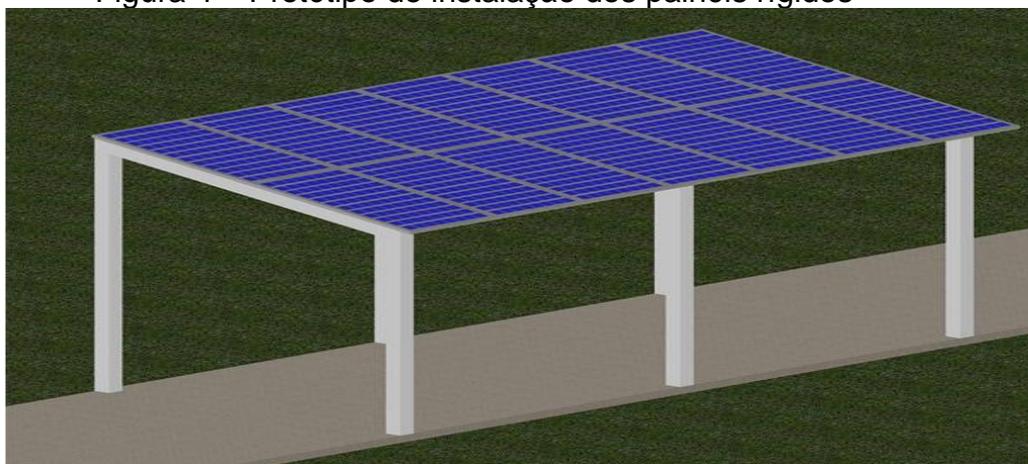
Fonte: (SCHÖNELL, 2016).

O sistema fotovoltaico adotado para esse estudo é composto por 60 módulos *Canadian Solar CS6P265P* com potência de 625Wp cada e 1 inversor modelo SIW 500 ST015 com 98,2% de eficiência, para uma área total constituída por painéis de 111 m² com 15° de angulação. Segundo dados do fabricante, este sistema geraria em torno de 2.134kWh/mês e 25.608 kWh/ano, com valor de investimento de R\$ 79.851,00 considerando somente custo da tecnologia e instalação. Portanto, os dados coletados como informações das características para esse sistema, considerando

instalação da estrutura, orçamentos para a instalação da tecnologia e equipamentos, obtém-se com valor do investimento inicial em torno de R\$ 101.473,65.

Para os cálculos foi considerado, também, o custo com a manutenção dos toldos e sua estrutura, realizados a cada 2 anos, com um valor de aproximadamente de R\$ 132,40/m² (informação obtida no setor de compras do campus universitário), para o modelo da figura abaixo (Figura 4). Essa substituição rende uma economia de aproximadamente R\$ 14.696,00 a cada 2 anos para a área de instalação da tecnologia.

Figura 4 – Protótipo de instalação dos painéis rígidos



Fonte: (SCHÖNELL, 2016).

Para fundamentar o estudo, foi simulado os valores da energia gerada (após a instalação da tecnologia fotovoltaica), obtendo resultados da geração anual em 25.608kW. Considerando o custo da energia em R\$ 0,5008/kWh, os ganhos equivalem a um crédito anual de R\$ 12.824,49 aplicado a rede.

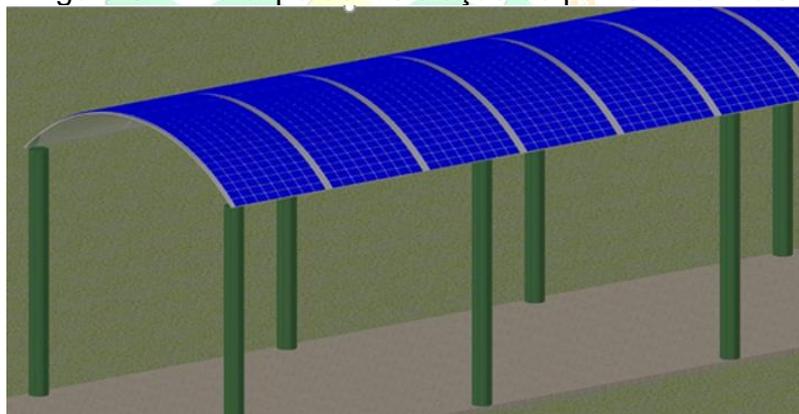
Com posse dos dados e uso de planilha eletrônica no Microsoft Excel, realizou-se um estudo eletrônico para analisar o tempo de retorno de investimento dos painéis rígidos. Considerando para fins de cálculo um período de 10 anos, verificou-se que o retorno do investimento inicial de R\$ 101.473,65 aconteceria no 6º ano de produção do sistema, com sobra ainda de R\$ 6.071,77. Portanto, pode-se afirmar que apesar do alto custo inicial para a instalação dos painéis rígidos em um curto prazo de tempo teríamos o retorno do investimento.

3.3.2 Estudo “B” – Painéis flexíveis de silício amorfo

Para a aplicação dos painéis flexíveis de silício amorfo, verificou-se que a estrutura existente comportaria a instalação, por serem painéis leves pesando cerca de 2,6 kg/m² e adaptando-se a qualquer tipo de superfície que, para este estudo é a tecnologia ideal de implantação.

O sistema fotovoltaico adotado para esse estudo é composto por 98 módulos flexíveis com potência 50 Wp cada, com uma área total de 77 m² constituída por painéis, aplicados diretamente na superfície dos toldos. Este sistema pode gerar em torno de 4,90 kWp totalizando 6,27 MWh/ano, com investimento de R\$ 39.995,48 considerando o fornecimento e instalação (Figura 5). Na posse das informações sobre as características do sistema e orçamentos para a instalação da tecnologia, com a utilização da estrutura já existente (considerando apenas 10% para manutenção da estrutura), o investimento inicial do sistema fotovoltaico foi orçado em R\$ 43.995,03.

Figura 5 – Protótipo de instalação de painéis flexíveis



Fonte: (SCHÖNELL, 2016).

Neste cenário, considerando os créditos de devolução de energia para a rede (após a implantação do sistema), onde pode gerar 6.270 KWh/ano e um custo de R\$ 0,5008/kW, teríamos como valor de crédito anual de R\$ 3.140,02 aplicados na rede. Também foi considerado o valor da manutenção dos toldos e de sua estrutura correspondendo cerca de R\$ 134,20/m². O total, em dois anos, pode render uma economia de R\$ 14.696,50. Com a posse dos dados e a planilha eletrônica no Microsoft Excel, utilizada na estrutura anterior, observou-se que o tempo de retorno do investimento inicial de R\$ 43.995,03 aconteceria também no 6º ano de produção

do sistema com sobra ainda de R\$ 2.762,51 e em 10 anos geraria retorno de R\$ 54.628,41 acumulado ao longo do período.

4 CONCLUSÃO

Ao compararmos os dois sistemas é possível observar que ambos possuem o mesmo índice de retorno de investimento, ou seja, ambos retornariam o valor inicial investido no 6º ano de produção do sistema. Ainda em ambos os casos, no período de 10 anos, além do retorno do investimento inicial o sistema gera renda (lucro). Ainda é possível observar que o sistema de painéis flexíveis demanda de um valor de investimento inicial menor tornando-o mais atrativo. Também, o fato da adequação perfeita a estrutura já existente no local, evitando assim transtornos causados pelas obras.

A escolha dos painéis rígidos de silício policristalino e dos painéis flexíveis de silício amorfo surgiram, após estudo e pesquisa das tecnologias fotovoltaicas, que ambas poderiam ser utilizadas para cobertura de toldos. Concluiu-se que ambas as tecnologias demonstraram viabilidade técnica e econômica para a instalação. Quanto ao tempo de retorno as duas tecnologias equacionaram o mesmo tempo de retorno de investimento (6 anos). E, por se tratar de instituição de ensino, os ganhos vão além da redução nos custos de energia elétrica, possibilitando seu uso como laboratório de pesquisa para os cursos de engenharia.

É possível concluir que as tecnologias se encaixam perfeitamente nos dois perfis de investimento: os painéis rígidos têm um alto custo de investimento inicial, porém, uma geração elevada de energia; os painéis flexíveis possuem baixo valor de investimento inicial, mas com baixa produção de energia elétrica. Sendo assim, fica a disponibilidade e viabilidade econômica na escolha do cliente quanto ao sistema a ser implantado. E, o estudo de viabilidade apresentado nesse trabalho pode servir como referência para outros estudos com aplicação em coberturas. Frequentemente, em grandes estacionamentos há extensas áreas construídas, com pouca funcionalidade. Entretanto poderiam proporcionar economia de energia elétrica e maior sustentabilidade para a edificação.

REFERÊNCIAS

- AMPESE, E. S.; REIS, M. A. F.; SERRANO, A. **Uso de painéis fotovoltaicos como fonte de energia no aproveitamento de água da chuva para uso residencial**. 3º Encontro de Ciências em Educação para a Sustentabilidade. **Anais...**Canoas: ULBRA, 2018
- BIFFI, E.; REIS, M. A. F. **Estudo de viabilidade de usina solar fotovoltaica em posto de combustível na cidade de Ipumirim**. VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto. **Anais...**Florianópolis: UFSC, 2019
- CIDEPE, C. I. DE E. DE E. E P. L. **Conjunto conversor de energia solar em elétrica com reostato e acumulador, carro e motor**Canoas - RS, [s.d.].
- DARK, M. L. A photovoltaics module for incoming science, technology, engineering and mathematics undergraduates. **Physics Education**, v. 46, n. 3, p. 303–308, 2011.
- DEMMING, A. Solar harvest. **Nanotechnology**, v. 21, n. 49, p. 490201–490201, dez. 2010.
- EINSTEIN, A. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. **Annalen der Physik**, v. 322, n. 6, p. 132–148, 1905.
- Ferramentas para designers e consumidores de energia solar**. Disponível em: <https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt>. Acesso em: 12 out. 2019.
- GFROERER, T. Circuits in the Sun: Solar Panel Physics. **The Physics Teacher**, v. 51, n. 7, p. 403–405, 2013.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GREAVES, C. The direct conversion of solar light energy into electricity. **Physics Education**, v. 5, p. 100, 1970.
- MOLKI, A. Dust affects solar-cell efficiency. **Physics Education**, v. 45, n. 5, p. 456–458, 2010.
- REIS, M. A. F. **Efeito fotoelétrico na produção e transformação da luz: investigação do uso de uma proposta didática para o ensino de física em cursos de Engenharia**. Canoas: ULBRA, 2019.
- REIS, M. A. F.; SERRANO, A. Pesquisa bibliográfica em historicidade, conceitos e contextos na produção e transformação da luz com a teoria quântica. **Acta Scientiae**, v. 19, n. 3, p. 493–516, 2017.
- RICHARDS, A. J.; ETKINA, E. Kinaesthetic learning activities and learning about solar cells. **Physics Education**, v. 48, n. 5, p. 578, 2013.
- ROGOVSKI, B.; REIS, M. A. F. **Estudo de viabilidade no uso de filmes fotovoltaicos orgânicos: Estudo de caso em fachadas envidraçadas na Universidade do Contestado**. VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto. **Anais...**Florianópolis: 2019
- RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica**

pública no Brasil. Florianópolis - SC: Editora UFSC / LABSOLAR, 2004.

SAGA, T. Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production. **NPG Asia Materials**, v. 2, n. 3, p. 96–102, 2010.

SARK, W. G. J. H. M. VAN. Teaching the relation between solar cell efficiency and annual energy yield. **European Journal of Physics**, v. 28, n. 3, p. 415–427, maio 2007.

SCHÖNELL, R. **Estudo de viabilidade para instalação de tecnologia fotovoltaica em toldos: Estudo de caso na Universidade do Contestado – Campus Concórdia.** Concórdia: Universidade do Contestado, 2016.

