

Estudo de viabilidade no uso de filmes fotovoltaicos orgânicos: Estudo de caso em fachadas envidraçadas na Universidade do Contestado

Feasibility study on the use of organic photovoltaic films: Case study on glazed facades at the University of Contestado

Bruna Rogovski, Graduanda em Engenharia Civil pela UnC

brunarogovski@gmail.com

Mari Aurora Favero Reis, Doutorada em Ensino de Ciências e Matemática

mariaaurorafavero@gmail.com

Resumo

Avanços na ciência e na tecnologia fotovoltaica, com o uso de diferentes aplicações na engenharia, proporcionou evolução nos processos e produtos nas edificações. Os filmes finos fotovoltaicos orgânicos (OPV) podem ser encontrados no mercado como terceira geração fotovoltaica. Com o objetivo de avaliar a viabilidade no uso do OPV, um estudo foi realizado em fachadas envidraçadas na Universidade do Contestado, em Concórdia SC. Após ser realizada uma pesquisa bibliográfica, de mercado e do local de estudo, realizamos os cálculos de viabilidade para o uso de filme OPV para geração de eletricidade. O estudo demonstrou oportunidades significativas e promissoras para a construção civil, porém inviável economicamente, se tratando de tecnologia recente no mercado.

Palavras-chave: Orgânicas Fotovoltaicas (OPV); Sustentabilidade; Efeito Fotovoltaico.

Abstract

Advances in photovoltaic science and technology, with the use of different applications in engineering, provided evolution in processes and products in buildings. Organic photovoltaic thin films (OPVs) can be found on the market as third generation photovoltaic. With the objective of evaluating the feasibility of the use of OPV, a study was carried out on glazed facades at the University of Contestado, in Concórdia SC. After carrying out a bibliographical, market and study research, we performed the feasibility calculations for the use of OPV film for electricity generation. The study demonstrated significant and promising opportunities for civil construction, but economically unviable, when it comes to recent technology in the market.

Keywords: Solar energy; Photovoltaic technology; Viability study.

1. Introdução

A energia solar é mundialmente considerada fonte de energia abundante, com promessa de baixo impacto ambiental. Fundamentada no efeito fotovoltaico, através da conversão da luz em eletricidade em semicondutores de silício, a tecnologia foi impulsionada a partir das aplicações nas engenharias (Jenkins, 2005). O efeito da luz nas células solares fotovoltaicas ocorre pelo processo conhecido como fotocondutividade e a quantização da energia, de modo que os elétrons possam ser ejetados para a banda de valência do material, produzindo o que chamamos o efeito fotocondutor ou fotovoltaico (Demming, 2010).

Nos últimos anos, nos cursos de engenharia da Universidade do Contestado (Campus de Concórdia), a temática é explorada em ensino de física e em pesquisa, como aplicação de contexto para os conteúdos explorados na disciplina de Física III. Especialmente no ensino, como tema de contexto no trabalho de doutoramento da professora orientadora da pesquisa desenvolvida no período. Consequentemente, pesquisas com uso da tecnologia fotovoltaicas começava a ser vinculadas ao Grupo de Pesquisa em Energias Alternativas e Renováveis da Universidade do Contestado e Grupo de Estudos em Pesquisas no Meio Ambiente (GEMA) e, recentemente, Grupo de pesquisa em Engenharia - Desempenho e Qualidade Ambiental – (GEDEQ).

A articulação entre ensino, pesquisa e extensão proporcionou desenvolvimento de estudos contemplando as três gerações da tecnologia fotovoltaica: (a) tecnologia da primeira geração com painéis rígidos de silício policristalino (Ampese e Reis, 2015; Falkoski e Reis, 2015); (b) tecnologia da segunda geração com silício amorfo em toldos (Schönell, 2016) e, (c) mais recente, a terceira geração com filmes finos orgânico (Rogovski e Reis, 2017), neste último estaremos apresentado neste trabalho. Os projetos de pesquisa citados tiveram sua origem na disciplina de Física III, como tema de contexto do trabalho de doutorado da professora da disciplina, na produção transformação da luz em ensino de física nas engenharias no uso de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS).

Quanto à pesquisa iniciou em 2017, para uso de células fotovoltaicas orgânicas (OPV), foram realizadas com o objetivo de avaliar o uso da tecnologia em fachadas envidraçadas. Trata-se de filmes finos com estruturas em espessuras na escala inferior à micrometros, comumente constituídos de silício amorfo, impressos em camadas ultrafinas em nanoescala em superfícies flexíveis como plástico, por exemplo (Yu, Zheng e Huang, 2014). Células fotovoltaicas orgânicos, conhecidos como OPV (do inglês *Organic Photovoltaics*), podem ser encontrados no mercado como terceira geração de células solares (Darling e You, 2013).

Segundo Darling e You (2013), os OPVs atuam de maneira diferente da maioria das outras células solares. Nos fotovoltaica inorgânica a transformação da luz em energia ocorre da seguinte forma: quando um fóton é absorvido, são criados portadores de carga livre (elétron e espaço livre) e a constante dielétrica (desses materiais orgânicos) favorece para que dois materiais diferentes na camada ativa, um doador de elétrons e um receptor de elétrons, possam ter alto potencial de ionização e afinidade eletrônica.

Esse artigo apresenta resultados parciais de um estudo de viabilidade para o uso de OPV em fachadas envidraçadas na Universidade do Contestado, onde simulamos com modelagem matemática a viabilidade no uso da tecnologia para a produção de energia elétrica, a fim de

responder a seguinte pergunta de pesquisa: *Qual a viabilidade no uso de filmes finos de silício em paredes envidraçadas em Concórdia SC?*

1.1 A tecnologia fotovoltaica como tema de contexto em ensino e pesquisa na engenharia

Trabalho publicado na década de 70 apresenta uma explicação simplista para a dopagem do silício, contribuiu para o uso de semicondutor na produção de painéis fotovoltaicos (Greaves, 1970). A teoria proposta por o autor é que cada átomo de silício tem quatro elétrons na última camada de valência, que participam da ligação com quatro átomos vizinhos, produzindo um potencial elétrico na região de junção controlada pelo número de átomos de impureza do tipo *p* (receptores) e do tipo *n* (doadores).

Quatro décadas mais tarde, na Universidade *Rutgers* (USA), pesquisadores utilizam a explicação de Greaves (1970) em ensino de ciências, oportunizando aos estudantes um entendimento para o processo de ligação *n-p* nas células solares com semicondutores de silício dopado, a partir do uso de uma dinâmica com atividade sinestésica (Richards e Etkina, 2013).

Paralelo aos avanços na ciência nas academias, a tecnologia fotovoltaica oportunizou o desenvolvimento de vasto campo na indústria da energia por intermédio do uso de células fotovoltaicas. Consequentemente, a integração dessa tecnologia à ciência nas Engenharias tem demonstrado ser um atrativo à aprendizagem durante a formação desses estudantes. Com esse propósito, nos Estados Unidos da América (EUA), Marta Dark (2011) sugere que os acadêmicos interessados em carreiras na ciência da tecnologia e engenharia nos próximos dez anos devem encontrar muitas oportunidades na área. Também, nos Emirados Árabes Unidos (EAU) que possuem larga dependência nos combustíveis fósseis, o tema “energia solar fotovoltaica” passou a ser utilizado inclusive em instituições de educação básica, ao introduzir o assunto fontes renováveis de energia nos currículos de ciências (Molki, 2010).

Os artigos acima citados, que foram estudados em pesquisa bibliográfica anterior (Reis e Serrano, 2017) sugerem o uso experimental da tecnologia, no ensino de ciências. Nos últimos anos o uso da tecnologia foi impulsionado por dois fatores: as tratativas acordadas no protocolo de Quioto (2008 a 2012), em reduzir os gases de efeito estufa (SARK, 2007) e do movimento STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), com foco na educação para o desenvolvimento de competências na liderança global do conhecimento (DARK, 2011).

O movimento STEM tem como propósito, proporcionar ao estudante o desenvolvimento de competências e habilidades para o desenvolvimento profissional para as Engenharias, proporcionado que o estudo quântico da luz tenha um contexto de aplicação significativo para o ensino e aprendizagem da ciências (Reis e Serrano, 2017). Como consequência, as aplicações passaram a tornar-se temas de interesse em projetos de pesquisa e nos trabalhos de conclusão de curso (TCC) em instituições de ensino superior, especialmente nos cursos engenharia. Entre os aspectos motivadores dessa realidade, inclusive na Universidade do Contestado, pode ser destacado programas de eficiência energética que possibilitam instalações elétricas de modo sustentável. E, nesse enfoque, surgia esse projeto de pesquisa que está sendo apresentado neste artigo.

1.2 Filmes finos de silício na transformação da luz em eletricidade.

Conforme anteriormente relatado, a tecnologia utilizada na fabricação dos filmes de silício amorfo teve origem na evolução das técnicas aplicadas à energia fotovoltaica, como justificativas a facilidade de produção, redução no consumo energético e tempo gasto na produção, sendo que inicialmente precisava-se de silício com certas características físicas e químicas que ocasionava alto consumo. Tais vantagens elencadas contribuíram para que a evolução tecnológica tornasse possível a produção de filmes finos fotovoltaicos com espessuras na escala micrométrica, podendo ser impressos em substratos flexíveis (como o plástico).

A principal desvantagem no uso dessa tecnologia é o baixo rendimento, em comparação às células solares tradicionais, sendo um dos principais desafios para sua aplicação. Como vantagem da tecnologia, os processos contribuem para a redução dos custos energéticos e a sustentabilidade em seus processos de fabricação, uma vez que sua produção ocorre de forma contínua, diminuindo custos de mão-de-obra e proporcionando a fabricação em grande escala. Em larga escala esta tecnologia é difícil de ser avaliada quanto a seu desempenho, devido aos seguintes fatores: tecnologia pouco difundida e utilizada, dificultando o acesso à mesma; sofre alta influência de parâmetros ambientais (irradiação solar e temperatura); apresenta baixo desempenho na produção de energia elétrica.

A terceira geração fotovoltaica com uso de filmes finos se diferencia da segunda pela não utilização de cádmio que é prejudicial ao meio ambiente e por proporcionar maior variedade de apresentação, uma vez que são fabricados em grandes impressoras, permitindo que o comprador possa escolher o designer dos filmes OPV. E para avaliar sua viabilidade, Belmili e colaboradores (2010) utilizaram programa computacional para avaliar a conversão fotovoltaica, utilizando princípios ópticos e quânticos da luz.

2. Material e métodos

Após uma pesquisa bibliográfica e acesso a fornecedores da tecnologia, utilizando a rede mundial de computadores, foram avaliadas as principais opções da tecnologia disponíveis no mercado, bem como custos e características no funcionamento e uso de filmes finos orgânicos para a geração de energia elétrica fotovoltaica a ser aplicada em fachadas envidraçadas, na sustentabilidade da construção civil. Na posse das informações teóricas e técnicas da tecnologia, foi realizada a avaliação do local para o estudo. Inicialmente foi avaliada a superfície de aplicação e suas características. Posteriormente realizamos a modelagem matemática da potência gerada e viabilidade financeira para a instalação dos OPV (*Organic Photovoltaics*).

O ambiente de estudo foi a Universidade do Contestado (UnC), instituição de ensino superior no município de Concórdia SC. O estudo foi realizado com objetivo de avaliar a viabilidade de aplicar a tecnologia OPV em fachadas envidraçadas na Universidade. A instituição possui uma área construída de 13.746,61m², pela qual foram delimitadas e avaliadas as diferentes áreas envidraçadas, a fim de definir o ambiente mais apropriado para a aplicação dos filmes. Na avaliação das condições ambientais foram contempladas as coordenadas no posicionamento solar e localização geográfica, bem como as condições

físicas das fachadas, como mobilidade e estrutura (recortes), utilizando como ambiente conforme relatado anteriormente.

Após a identificação do local de estudo, na posse de informações dos fornecedores para a tecnologia, realizamos os cálculos para a potência de geração da energia elétrica a ser produzida durante um ano. E, na posse desses resultados, realizamos o estudo da viabilidade econômica.

3. Resultados e discussões

Após uma avaliação dos locais com fachadas envidraçadas para possível aplicação da pesquisa, verificamos que algumas fachadas eram impróprias devido as interrupções metálicas, resultando em pequenas áreas de aplicação e, nesse caso, inviabilizava por necessitar de muitos recortes nos filmes. Por conta disso, foi escolhido como ambiente de estudo a fachada envidraçada que localizada no acesso à biblioteca da Universidade do Contentado, Campus de Concórdia, SC.

Trata-se de uma área ampla para aplicação (Figura 1), com um total de 35,45 m² de área envidraçada, dividida em três andares, sendo que a fachada apresenta poucos recortes e com excelente localização em relação às coordenadas solares. Para os cálculos foi considerado a produção por iluminação artificial, os fabricantes da tecnologia afirmam que OPVs podem gerar energia também por intermédio da transformação da luz natural ou artificial, por se tratar de superfícies transparentes.



Figura 1: Perspectiva da fachada para aplicação do OPV. Fonte: A pesquisa (2018).

Os resultados dos cálculos da produção, para o primeiro andar (térreo) onde temos uma área de 5,75 m² (considerando 8 horas diárias de luz), resultou em uma potência de geração diária de aproximadamente 1600 W, totalizando 587 KWatt/ano (Tabela 1).

1º andar						
vidraça da direita		Potencia filme	Tempo	Potencia dia	Potencia 30 dias	Potencia 365 dias
Dimensão em metro	Área m ²	em watt/m ²	Horas dia	em watt	em Kwatt	em Kwatt
Largura = 2,5 Altura = 2,3	5,75	35	8	1610	48,3	587,65

Tabela 1: Potência na geração da energia elétrica estimada para o primeiro andar. Fonte: Elaborada pelas autoras.

No segundo andar as superfícies de vidraça apresentam da seguinte forma: uma com 5,75 m² e a outra 7,35 m², totalizando 14,85 m², onde pode ser gerada e uma potência diária de 4158 Watts/h e 1517 KWatt/ano (Tabela 2).

2º andar						
vidraça da direita		Potencia filme	Tempo	Potencia dia	Potencia 30 dias	Potencia 365 dias
Dimensão em metro	Área m ²	em watt/m ²	Horas dia	em watt	em Kwatt	em Kwatt
Largura = 2,5 Altura = 3	7,5	35	8	2100	63	766,5
vidraça da esquerda		Potencia filme	Tempo	Potencia dia	Potencia 30 dias	Potencia 365 dias
Dimensão em metro	Área m ²	em watt/m ²	Horas dia	em watt	em Kwatt	em Kwatt
Largura = 2,45 Altura = 3	7,35	35	8	2058	61,74	751,17

Tabela 2: Potência de geração estimada para o segundo andar. Fonte: Fonte: Elaborada pelas autoras.

E, no terceiro andar, há uma estrutura semelhante à do segundo, possibilitando também gerar uma potência diária de 4158 Watts/h, totalizando 1517 KWatt/ano. Portanto, a área total da fachada é de aproximadamente 35,47 m², utilizando dados fornecidos pelo representante da tecnologia, e considerando 8 horas diárias de iluminação, é possível gerar aproximadamente 3,6 MW/ano de energia elétrica (Tabela 3).

Resumo dos andares 1, 2 e 3						
vidraça da direita		Potencia filme	Tempo	Potencia dia	Potencia 30 dias	Potencia 365 dias
Dimensão em metro	Área m ²	em watt/m ²	Horas dia	em Kwatt	em Kwatt	em Kwatt
Largura Total = 12,4 Altura Total = 14,3	35,45	35	8	9,93	297,78	3.622,99

Tabela 3: Resultados do dimensionamento da fachada e potência gerada com a tecnologia OPV. Fonte: A pesquisa realizada (Rogovski e Reis, 2017).

Para o estudo de viabilidade econômica foi realizado em 2017, onde utilizamos os valores obtidos na pesquisa de mercado (em R\$ por m²), custos para a instalação dos filmes finos e valores a serem economizados com a geração de energia elétrica. Os resultados demonstraram que o custo médio foi de R\$ 1375,00 por m² (filme + vidro externo), com produção de energia elétrica de 35 Watt por m²/hora, totalizando uma produção de energia elétrica médio

anual (considerando todas as áreas) de aproximadamente 3,62 Megawatts, com valor estimado de R\$1.880,00/ano.

Supondo como taxa de juros 4% ao ano para o financiamento do investimento inicial, o retorno sobre o investimento foi estimado em 22 anos, no ano de 2039 (Tabela 4), considerando somente a energia elétrica gerada e supondo que o valor da energia elétrica tenha aumento de 5% ao ano. Considerando como tempo estimado de vida útil da tecnologia a garantia do fabricante, para esse período de retorno do investimento inicial, os dados inviabilizam a implantação.

Taxa Retorno usina fotovoltaica em 6%		6%	
Investimento usina fotovoltaica	R\$	44.512,50	
Custo adicional	R\$	4.431,25	
Energia gerada ano	Kwatt	3820	
Valor de Kwatt		0,51941	
Valor gerado ano	R\$	1.880,26	

Valores de 2017 - R\$ 0,51941 Kwatt/h - até 150Kwatt/h
Valores de 2017 - R\$ 0,6489 Kwatt/h - maior que 150Kwatt/h

Análise simples

Ano	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Investimento	R\$ 48.743,75	R\$ 48.813,24	R\$ 48.791,49	R\$ 48.718,50	R\$ 44.541,86	R\$ 42.256,38
Equipamento	R\$ 44.512,50	-	-	-	-	-
Instalação	R\$ 4.431,25	-	-	-	-	-
Juros 6% ao ano	-	R\$ 1.940,75	R\$ 1.952,53	R\$ 1.951,66	R\$ 1.868,74	R\$ 1.781,67
Energia gerada ano	-	R\$ 1.880,26	R\$ 1.974,28	R\$ 2.072,59	R\$ 2.176,64	R\$ 2.285,47

Ano	Transporte	2023	2024	2025	2026	2027
Investimento	R\$ 42.256,38	R\$ 41.546,89	R\$ 40.685,01	R\$ 39.670,87	R\$ 38.479,70	R\$ 37.101,48
Equipamento	-	-	-	-	-	-
Instalação	-	-	-	-	-	-
Juros 6% ao ano	-	R\$ 1.698,26	R\$ 1.681,88	R\$ 1.627,56	R\$ 1.586,83	R\$ 1.519,19
Capital em 20 anos	R\$ 2.285,47	R\$ 2.399,75	R\$ 2.515,73	R\$ 2.645,72	R\$ 2.779,01	R\$ 2.916,91
Energia gerada ano 150 kwatt/mes (aumento 5% ano)	-	-	-	-	-	-

Ano	Transporte	2028	2029	2030	2031	2032
Investimento	R\$ 37.101,48	R\$ 35.523,31	R\$ 33.728,35	R\$ 31.706,89	R\$ 29.423,32	R\$ 26.877,45
Equipamento	-	-	-	-	-	-
Instalação	-	-	-	-	-	-
Juros 6% ao ano	-	R\$ 1.484,08	R\$ 1.420,93	R\$ 1.349,11	R\$ 1.268,03	R\$ 1.176,93
Capital em 20 anos	R\$ 2.916,91	R\$ 3.062,75	R\$ 3.215,89	R\$ 3.376,68	R\$ 3.545,52	R\$ 3.722,79
Energia gerada ano 150 kwatt/mes (aumento 5% ano)	-	-	-	-	-	-

Ano	Transporte	2033	2034	2035	2036	2037
Investimento	R\$ 26.877,45	R\$ 24.043,62	R\$ 20.900,98	R\$ 17.427,42	R\$ 13.599,44	R\$ 9.392,08
Equipamento	-	-	-	-	-	-
Instalação	-	-	-	-	-	-
Juros 6% ao ano	-	R\$ 1.075,10	R\$ 961,74	R\$ 836,04	R\$ 697,10	R\$ 543,98
Capital em 20 anos	R\$ 3.722,79	R\$ 3.908,93	R\$ 4.164,10	R\$ 4.399,60	R\$ 4.525,08	R\$ 4.751,33
Energia gerada ano 150 kwatt/mes (aumento 5% ano)	-	-	-	-	-	-

Ano	Transporte	2038	2039	2040	2041	2042
Investimento	R\$ 9.392,08	R\$ 4.778,87	R\$ 268,33	R\$ 5.779,32	R\$ 11.785,77	R\$ 18.521,24
Equipamento	-	-	-	-	-	-
Instalação	-	-	-	-	-	-
Juros 6% ao ano	-	R\$ 375,68	R\$ 191,15	R\$ 10,73	R\$ 231,17	R\$ 471,43
Capital em 20 anos	R\$ 4.751,33	R\$ 4.988,00	R\$ 5.238,35	R\$ 5.500,26	R\$ 5.775,28	R\$ 6.064,04
Energia gerada ano 150 kwatt/mes (aumento 5% ano)	-	-	-	-	-	-

Tabela 4: Cálculo da viabilidade econômica para uso de filmes finos na fachada da Universidade.
 Fonte: Elaborada pelas autoras

Nossa intenção é buscar junto a fornecedores da tecnologia recursos a fim de testar a influência da tecnologia na sustentabilidade energética, considerado indicadores no conforto térmico e luminoso, a fim de viabilizar o uso da tecnologia em edificações.

4. Considerações finais

Por esta tecnologia não ser muito difundida, apesar de ter um custo de produção baixo, ela ainda chega muito cara para o consumidor, fazendo com que ela não seja viável economicamente, somente considerando a energia elétrica gerada. Os cálculos realizados demonstram que demora 26 anos para o retorno do investimento caso considere-se somente o custo da energia produzida.

Qualitativamente ela poderia proporcionar atrativos na sustentabilidade da edificação. Por exemplo, um meio de incentivar a aplicação desta tecnologia é com o estudo dos impactos ao conforto térmico, luminoso e acústico que esta aplicação proporcionaria à edificação, aos quais não encontramos nenhuma informação até o momento.

Portanto, como perspectivas futuras pretendemos prosseguir com a pesquisa, tendo como foco de investigação na sustentabilidade para a construção civil, investigando a viabilidade no uso da tecnologia em prol do conforto térmico e luminoso em fachadas envidraçadas. O estudo proposto será realizado com intenção declarada de viabilizar, economicamente, a sustentabilidade no uso da tecnologia.

Referências

AMPESE, E. S.; REIS, M. A. F. **Estudo de viabilidade para uso de painéis fotovoltaicos com a finalidade de bombeamento de água de reúso armazenada em cisternas na Universidade do Contestado** (UnC/EMBRAPA, Ed.) Anais da IX Jornada de Iniciação Científica (JINC). **Anais...** Concórdia SC: UnC, 2015

BELMILI, H. *et al.* Design and development of a data acquisition system for photovoltaic modules characterization. **Renewable Energy**, v. 35, n. 7, p. 1484–1492, 2010.

DARK, M. L. A photovoltaics module for incoming science, technology, engineering and mathematics undergraduates. **Physics Education**, v. 46, n. 3, p. 303–308, 2011.

DARLING, S. B.; YOU, F. The case for organic photovoltaics. **RSC Advances**, v. 3, n. 39, p. 17633, 2013.

DEMMING, A. Solar harvest. **Nanotechnology**, v. 21, n. 49, p. 490201, 2010.

FALKOSKI, C.; REIS, M. A. F. **Estudo de viabilidade na geração e utilização da energia solar fotovoltaica.** Pesquisa Destaque. **Anais...** Mafra SC: Universidade do Contestado, 2015 Disponível em: <http://www.unc.br/pesquisadestaque/Anais_Melhores_Pesquisa.pdf>

GREAVES, C. The direct conversion of solar light energy into electricity. **Physics Education**, v. 5, p. 100, 1970.

JENKINS, T. A brief history of . . . semiconductors. **Physics Education**, v. 40, n. 5, p. 430–439, 2005.

MOLKI, A. Dust affects solar-cell efficiency. **Physics Education**, v. 45, n. 5, p. 456–458, 2010.

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. **Uso de filmes finos de silício em fachadas envidraçadas com estudo matemático da viabilidade econômica** (UnC/EMBRAPA, Ed.)XI Jornada de Iniciação Científica (JINC). **Anais...Concórdia SC: UnC, 2017**Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/11jinc/docs/anais2017.pdf>>

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

YU, J.; ZHENG, Y.; HUANG, J. Towards high performance organic photovoltaic cells: A review of recent development in organic photovoltaics. **Polymers**, v. 6, n. 9, p. 2473–2509, 2014.