

# TRANSIÇÕES SUSTENTÁVEIS DA FONTE SOLAR FOTOVOLTAICA: UMA REVISÃO DE LITERATURA ESTRUTURADA

Kleber Costa Corrêa - [correakleber@gmail.com](mailto:correakleber@gmail.com)

Mauricio Uriona Maldonado - [m.uriona@ufsc.br](mailto:m.uriona@ufsc.br)

Caroline Rodrigues Vaz - [caroline.vaz@ufsc.br](mailto:caroline.vaz@ufsc.br)

Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP)

**Resumo.** O desenvolvimento, o uso e a difusão das energias renováveis estão no centro da linha de pesquisa conhecida como Transições Sustentáveis. Considerando a expansão das fontes renováveis nos países desenvolvidos, e ainda o crescimento recente da fonte na matriz elétrica brasileira, o presente trabalho busca avaliar as principais linhas de pesquisas globais considerando a teoria das Transições Sustentáveis associadas a Fonte Solar Fotovoltaica por meio de uma revisão bibliográfica estruturada através da metodologia SYSMAP (Scientometric and sYStematic yielding MApping Process), composto por 5 fases, sendo elas: i) construção da coleção de artigos; ii) processo de filtragens; iii) análise bibliométrica, iv) análise de conteúdo e, v) construção de oportunidades/lacunas de pesquisa. A Europa, com destaque a Alemanha, foram os mercados elétricos e também a origem mais frequentes das instituições envolvidas nas pesquisas, entretanto foram identificados trabalhos originários de organizações e estudando países basicamente de todos os continentes e também são apresentadas oportunidades/lacunas de pesquisa nesta área.

**Palavras-chave:** Transições Sócio-Técnicas de Energia, Transições Energéticas Sustentáveis, Energia Solar Fotovoltaica, Energias Renováveis, Método SYSMAP

## 1. INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica no mundo é baseada principalmente em combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, por meio de usinas termelétricas. Segundo dados da *International Energy Agency*, em 2019 cerca de 63% da energia produzida no mundo provém de fontes não renováveis (IEA, 2021).

O setor elétrico global está passando por uma transformação, por meio da transição energética para energias renováveis, já que a geração de energia é responsável por cerca de 40% das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas à energia (IEA, 2021). Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) o Aquecimento Global é considerado um dos maiores desafios da atualidade, seus impactos são globais e numa escala sem precedentes (ONU, 2021).

Segundo dados do relatório *Climatoscope* da Bloomberg, em 2019 os países em desenvolvimento adicionaram 127 gigawatts (GW) de capacidade de geração de fontes renováveis, com 110 GW de capacidade de geração eólica e solar - ambos recordes de todos os tempos. Estes volumes representaram respectivamente 58% e 50%, respectivamente, do total de nova capacidade global adicionada no ano de 2019, indicando uma tendência de expansão das fontes renováveis nestas regiões (BNEF, 2020).

Desde o início de 2019, a fonte Solar Fotovoltaica passou a ter uma representatividade mais importante na matriz elétrica brasileira tendo superado a fonte nuclear, assumindo a posição de sétima fonte mais representativa da matriz, superando em novembro de 2021 a marca de 4.500 megawatts (MW) de capacidade instalada de geração solar fotovoltaica centralizada (ANEEL, 2021).

O desenvolvimento, o uso e a difusão das energias renováveis estão no centro da linha de pesquisa conhecida como Transições para Sustentabilidade (ST - *Sustainability Transitions*) (Vaz e Uriona Maldonado, 2018). De acordo com esta abordagem teórica, a difusão e transição para fontes de energia mais limpa são processos demorados que dependem de fatores políticos, econômicos e sociais, além dos tecnológicos (Markard, 2012), que interagem entre si num sistema socio-técnico.

O interesse por estudar a transição a sistemas de energia mais limpa, portanto, requer de arcabouços teóricos que ajudem a entender como se dá o processo (visão positiva) e como deveria dar-se, de forma mais eficiente (visão normativa). Em particular, escolhe-se neste artigo, a fonte de energia solar fotovoltaica, por ser uma fonte com expressivo potencial para geração de energia e ainda em processo inicial de desenvolvimento, em particular no Brasil já que o potencial teórico da energia solar fotovoltaica no país é enorme, somente considerando os telhados das casas existentes (Geração Distribuída) haveria um potencial estimado de 164 GW, já o potencial teórico da fonte solar fotovoltaica em geração centralizada é enorme, totalizado 28.519 GW (ABSOLAR, 2017).

Por outro lado, pouco se conhece sobre como estão sendo utilizadas as abordagens da transição para sustentabilidade para o estudo da energia solar fotovoltaica. Estudos nesta linha podem ajudar a entender o estágio dos estudos e da evolução da fonte, além disso, podem auxiliar no desenvolvimento de mecanismos de governança e gestão para promover a disseminação da energia solar fotovoltaica.

Os sistemas de energia podem ser caracterizados como sistemas sociotécnicos já que o fornecimento de energia cumpre basicamente funções sociais (Kern e Smith, 2008). As Transições têm sido descritas como processos de transformação social nos quais em longo prazo tais sistemas sociotécnicos se transformam (Rotmans et al., 2001).

Esta linha de pesquisa surgiu a partir das teorias de inovação e o seu surgimento tem origem no objetivo de criar novas teorias para estudar a inovação associado com as questões socioambientais, problemas crescentemente mais complexos nos dias atuais (Smith et al., 2010).

Segundo Markard (2012), embora existam várias teorias envolvendo esta linha de pesquisa, quatro estruturas teóricas até agora alcançaram algum destaque nos estudos de transição, sendo: (a) Gerenciamento da Transição Transition Management (b) Gerenciamento Estratégico de Nicho (Strategic Niche Management - SNM), (c) Perspectiva Multinível sobre as Transições Sociotécnicas (Multi-Level Perspective on Sociotechnical Transitions - MLP) e (d) os Sistemas de Inovação Tecnológica (Technological Innovation Systems - TIS).

De acordo com Smith et al (2010) a perspectiva multinível MLP organiza a análise em um sistema sociotécnico através do conceito de nichos, regimes e ambiente. A junção destes elementos permite criar uma estrutura para analisar e organizar as intervenções nas políticas para desenvolvimento das transições.

Por outro lado, Walrave e Raven (2016) resumem que os Sistemas de Inovação Tecnológica (TIS) nos permitem entender como novos sistemas de inovação emergem em torno de tecnologias específicas e como elas suportam seu desenvolvimento e difusão.

Portanto este artigo por meio de uma revisão bibliográfica estruturada busca avaliar as principais linhas de pesquisas globais considerando a teoria das Transições Sustentáveis associadas a Fonte Solar Fotovoltaica por meio de uma revisão bibliográfica estruturada, apresentando oportunidades/lacunas de pesquisa nesta área.

## 2. METODOLOGIA E DADOS

Esta revisão bibliográfica estruturada será realizada seguindo o Modelo SYSMAP (*Scientometric and sYStematic yielding Mapping Process*). Este modelo estruturado permite realizar uma pesquisa de revisão de literatura estruturada com a utilização e auxílio de softwares específicos (Vaz e Uriona-Maldonado, 2017).

Neste esboço se busca identificar os tipos de pesquisa desenvolvidos na área, qual metodologia utilizada dentro da transição sustentável, qual a principal contribuição dos estudos, avaliar os resultados e principalmente construir oportunidades/lacunas de pesquisas.

O modelo SYSMAP consiste em cinco (5) fases, sendo:

- 1) Construção da coleção de artigos: Compreende seleção de palavras-chave, seleção de bancos de dados, pesquisa de artigos e verificação da aderência de palavras-chave;
- 2) Processo de filtros: lapidação/filtragem dos artigos encontrados por meio da verificação da área de pesquisa, identificação de artigos duplicados, verificação do enquadramento/alinhamento por meio dos títulos e resumos, além da verificação da quantidade de citações e fator de impacto dos *journals*.
- 3) Análise cientométrica: mapeamento dos principais autores, periódicos e palavras-chave por meio da análise de citações, co-citações e de referências.
- 4) Análise de conteúdo: depois de estabelecer uma pergunta de pesquisa avaliar a representatividade do artigo, tipo de pesquisa, objetivo e problemática, conceitos, principais contribuições, resultados e trabalhos futuros.
- 5) Construção das lacunas/opportunidades de pesquisa: após a leitura e identificação das categorias de análises, o pesquisador tem condições para propor oportunidades de pesquisas sobre a temática.

Para construção da coleção de artigos primeiramente se definiu como palavras-chave vocábulos associadas à teoria das Transições Sustentáveis e a Fonte Solar, no idioma inglês. Desta forma as palavras-chave utilizadas na pesquisa foram: ("socio-technical transition\*" OR "sustainability transition\*" OR "technological transition?" OR "technological-innovation system\*" OR "technologic\* innovation system\*" OR "multilevel perspective\*") AND ("solar\*" OR "pv" OR "photovoltaic\*").

As buscas foram realizadas em três bases de dados distintas, amplamente utilizadas pelo meio acadêmico, que reúnem uma extensa gama de *Journals*, sendo estas: Web of Science, Scopus e Science Direct.

A pesquisa nas bases de dados realizada em maio de 2019, não tendo limitação temporal dos anos de buscas, retornou um total de 226 resultados, com a seguinte composição:

- Web of Science: 92 resultados;
- Scopus: 79 resultados; e
- Science Direct: 55 resultados.

Com auxílio do software EndNote primeiramente se procedeu com a filtragem dos artigos encontrados para eliminação de artigos duplicados, desta forma a amostra foi reduzida para 124 artigos. Em continuidade se realizou outra filtragem para verificação do enquadramento/alinhamento dos artigos com o objeto da pesquisa, por exemplo alguns artigos faziam referência a tecnologia solar para aquecimento de água e não para produção de energia elétrica. Desta forma a amostra passou o conter 40 artigos.

Por fim, ao analisar a base de dados associadas aos artigos, observou-se que ampla maioria, 32 dos 40 artigos (80%), estavam constantes na base de dados do Web of Science (WoS). Adicionalmente a versão completa de todos estes 32 artigos estava igualmente disponível. O WoS é um dos bancos de dados mais abrangentes de periódicos revisados por pares do mundo e também conta com uma característica única de contagem de citações, que permite

quantificar a importância relativa de documentos, autores, periódicos e referências citadas usando uma medida objetiva de influência.

Desta forma para que fosse possível uma análise mais completa, através do apoio de softwares como VosViewer e CitNetExplorer, este artigo optou por analisar uma amostra de **32 artigos** oriundos de uma única base de dados, a Thomson Reuters ISI **Web of Science**.

Por meio da utilização dos softwares EndNote, VOSviewer e CitNetExplorer, além do Excel, foi possível analisar dados específicos, provenientes dos 32 artigos: 22 países, 56 organizações, 12 periódicos, 77 autores, 218 palavras-chave e 1.643 referências citadas. Estes trabalhos foram publicados num horizonte de 11 anos, entre 2008 e 2019.

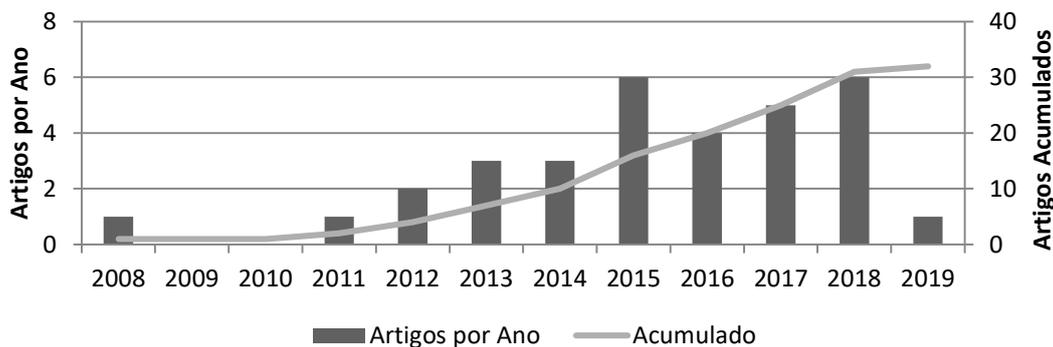
A análise de citações determina a relação dos itens pelo número de vezes que os itens são citados, possibilitando avaliação da relação entre autores, periódicos e organizações que constituem um determinado campo (MINGERS e LEYDESDORFF, 2015). A análise de palavras chaves utiliza a frequência de co-ocorrência de palavras-chave para identificar potenciais grupos altamente frequentes, já a co-citação, determina a relação entre as referências da amostra, com base na frequência das citações conjuntas (CHEN et al., 2010).

### 3. ANÁLISE CIENTOMÉTRICA

Um total de 32 registros no conjunto de dados foram publicados abrangendo 22 países, 56 organizações, 12 periódicos, 77 autores, 218 palavras-chave e 1.643 referências citadas. Estes trabalhos foram publicados num horizonte de 11 anos, entre 2008 e 2019.

Observando a evolução da contagem de publicações anuais, apresentados na Figura 1, nota-se que após a publicação do primeiro trabalho em 2008 houve um período de encubação e a partir de 2011 se observa um crescimento contínuo de publicações, incluindo um *outlier* em 2015 com 6 trabalhos publicados. Observa-se também que como as pesquisas nas bases de dados foram realizadas no início de maio/2019, a tendência pelo comportamento do gráfico é que durante o ano de 2019 novos trabalhos sejam disponibilizados.

O artigo mais antigo da amostra datado de 2008, de Bergek, Jacobsson, e Sanden objetiva apresentar uma melhor compreensão da fase de formação de novos TIS abordando o caso das energias renováveis, entre elas a fonte solar no caso da Alemanha.



Fonte: Autores (2021).

Figura 1 – Contagem de publicações anuais de 2008 a 2019 na WoS

#### 3.1 Autores, Organização e Países

Nesta seção são apresentados os principais autores, organizações e países envolvidos nas pesquisas selecionadas na amostra, estas informações são apresentadas em conjunto pois são diretamente relacionadas. Em geral são avaliados quantidade de publicações por fonte bem como quantidade total de citações que determinado artigo obteve dentro do WoS totalizados por autores, organizações ou países (TGCS - *Total Global Citation Scores*).

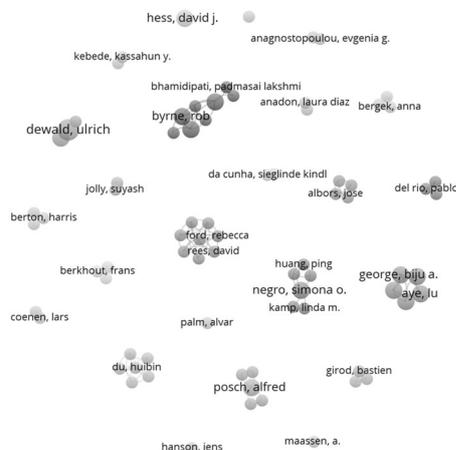
O autor Ulrich Dewald, do *Karlsruhe Institute of Technology* de Karlsruhe/Alemanha e da *RWTH Aachen University* de Aachen/Alemanha possui maior número de publicações (3) e também com maior número de citações totais (TGCS) com um total de 171 citações no WoS. 12 autores realizaram duas publicações cada e ampla maioria, 64 de 77 autores (83%), realizou somente uma publicação dentro da amostra.

Tabela 1 - Autores mais relevantes por contagem de artigos (a) e autores mais relevantes por contagem de citações TGCS (b)

Posição (a)	Autores	Publicações	Posição (b)	Autores	TGCS
1	Dewald, Ulrich	3	1	Dewald, Ulrich	171
2	Webb, John M.	2	2	Truffer, Bernhard	146
	Haselip, James	2	3	Jacobsson, Staffan	129
	Aye, Lu	2		Bergek, Anna	129
	Byrne, Rob	2		Sanden, Bjorn A.	129
	Hess, David J.	2	4	Huenteler, Joern	101
	de Haan, Fjalar J.	2		Hoppmann, Joern	101
	Moallemi, Enayat A.	2		Girod, Bastien	101
	Negro, Simona O.	2	5	Hess, David J.	76
	Ockwell, David	2	6	Negro, Simona O.	53
	Posch, Alfred	2	7	Quitow, Rainer	45
	George, Biju A.	2	8	Anagnostopoulou, Evgenia G.	43
	Truffer, Bernhard	2		Eleftheriadis, Iordanis M.	43
3	Outros (64)	1	9	Meadowcroft, James	38
				Rosenbloom, Daniel	38
				Berton, Harris	38
			10	Maassen, A.	30

Fonte: Autores (2021) dados da WoS, 77 autores.

Por meio da visualização da relação de co-autoria apresentado na Figura 2 é possível observar que os autores atuaram em 24 grupos (“clusters”) com poucas conexões entre si. Considerando que a amostra é composta por 32 artigos é possível afirmar por esta análise que estes grupos trabalham de maneira “isolada”.



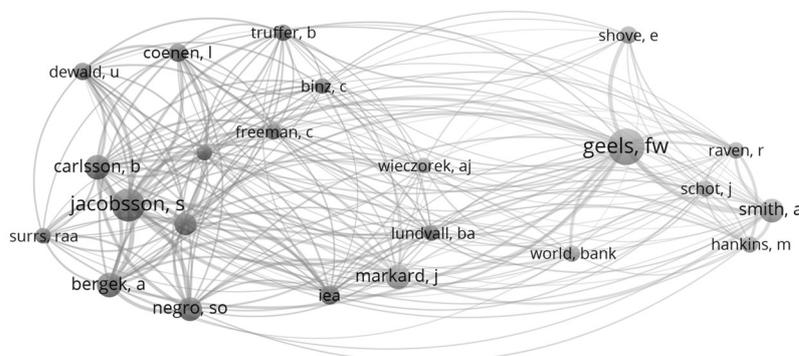
Fonte: WoS visualização VOSviewer. 77 autores, mínimo documentos de um autor: 1, mínimo citações de um autor: 0. 77 itens & 24 clusters & 112 links.

Figura 2 – Rede de Co-Autoria

Já na análise de citações entre autores dos 77 autores apenas 38 aparecem com alguma relação de citação, através de 6 grupos. Cada agrupamento é formado por um conjunto de autores que citaram o trabalho um do outro com mais frequência e que compartilham linhas de pesquisa semelhantes. Pela quantidade de conexões entre os grupos as citações entre eles ainda são baixas com algumas exceções como os trabalhos de David Hess (grupo 5), Ulrich Dewald (grupo 1) e Bernhard Truffer e Dewald (grupo 1) que citam 4 grupos (cada) aparecendo com uma vinculação mais forte com os outros. Truffer e Dewald possuem duas publicações em conjunto explorando o crescimento do mercado fotovoltaico na Alemanha.

Analisou-se ainda grau de co-citação dos autores, medindo número de vezes que um determinado grupo de autores foi citado conjuntamente dentro da amostra (Liu et al, 2015) desta forma apontando os pesquisadores centrais que contribuiriam para linha de pesquisa.

Analisando a Figura 3 se observam 2 grupos, no grupo 1 (14 autores) tendo Jacobsson como destaque, este grupo tem linhas de pesquisa que envolvem a disseminação das energias renováveis e mais associados ao TIS e grupo 2 (9 autores) tendo destaque Geels que envolve as linhas de pesquisa das transições sustentáveis associado principalmente a MLP. Com uma presença considerável e unindo os dois grupos tem destaque Markard, que possui trabalhos que buscam um debate integral e avaliar o estado da arte das pesquisas em transições sustentáveis. Percebe-se ainda uma forte relação por meio das conexões entre os dois grupos.



Fonte: WoS visualização VOSviewer. 1132 autores, mínimo citações de um autor: 10. 23 itens & 2 clusters & 223 links.

Figura 3 – Rede Co-Citação dos autores

Com relação às organizações envolvidas, do total de 56, as 10 principais são apresentadas na

Tabela 2. Destaca-se na lista das 10 principais presença bastante heterogênea, sendo 7 países e 4 continentes (Europa, América, África e Oceania).

A Tabela 3 apresenta os 10 principais dos 22 países que contém as organizações da amostra, destacando que nesta tabela há a presença da China na oitava posição, agregando mais um continente (Ásia) no horizonte das pesquisas. Embora haja uma presença importante de instituições da Austrália e Egito nesta lista elas se dão por 2 artigos publicados conjuntamente por autores de 3 instituições.

As universidades com mais trabalhos publicados são a Universidade Utrecht da Holanda (autores Raven e Negroe a Universidade Sussex da Inglaterra (autores Byrne, Ockwell e Sovacool) com 3 publicações cada.

A organização com maior número de citações é a Universidade de Harvard que atingiu 120 citações por meio de 2 publicações, sendo que 101 citações (85%) são originárias de um artigo de autoria de Hoppmann e Huenteler que aborda a evolução do sistema alemão de tarifas de alimentação para energia solar fotovoltaica.

Há somente uma publicação na América Latina, no Brasil, realizada por Carstens e Cunha da Universidade Positivo em Curitiba, que realizaram um artigo abordando os desafios e oportunidades para o crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil.

Existe presença majoritária de instituições europeias, representando 60% das organizações, comportamento esperado sendo na Europa onde emergiram as tecnologias renováveis e as pesquisas de transições sustentáveis.

Tabela 2 – Organizações mais relevantes por contagem de artigos e por contagem de citações TGCS.

Posição	Organização	País	Publicações	TGCS (posição)
1	Univ Utrecht	Holanda	3	84 (3)
2	Univ Sussex	Inglaterra	3	30 (6)
3	Harvard Univ	Estados Unidos	2	120 (1)
4	Karlsruhe Inst Technol	Alemanha	2	99 (2)
5	Vanderbilt Univ	Estados Unidos	2	77 (4)
6	Eindhoven Univ Technol	Holanda	2	34 (5)
7-10	Swinburne Univ Technol	Austrália	2	21 (7)
	Int Ctr Agr Res Dry Areas	Egito	2	21 (7)
	Univ Melbourne	Austrália	2	21 (7)
	Lund Univ	Suécia	2	21 (7)

Fonte: Autores (2021) dados do WoS, 56 organizações de 22 países.

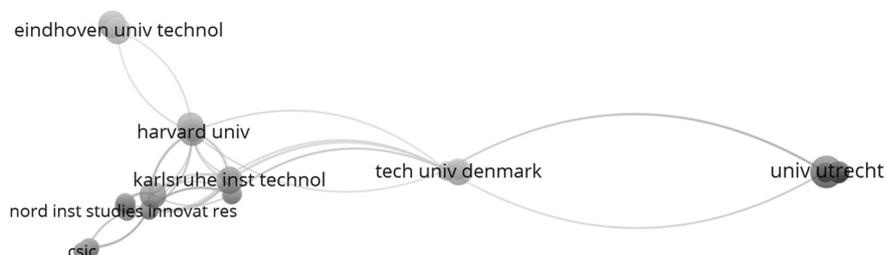
Tabela 3 – Países das organizações mais relevantes por contagem de artigos e por contagem de citações TGCS.

Posição	País	Publicações	TGCS (posição)
1	Inglaterra	6	119 (5)
2	Estados Unidos	5	220 (2)
3	Alemanha	4	217 (3)
4	Suécia	4	178 (4)
5	Holanda	4	89 (6)
6	Suiça	3	247 (1)
7	Dinamarca	3	33 (11)
8	China	2	53 (7)
9	Espanha	2	40 (9)
10	Egito	2	21 (12)
	Australia	2	21 (12)

Fonte: Autores (2021) dados do WoS, 56 organizações de 22 países.

Em complemento apresentamos na rede de citação entre as organizações, onde são observados 7 agrupamentos representando grupos por localização regional. A proximidade indica uma relação de citação, mas no caso das organizações, pode indicar seu grau de colaboração, como o caso de instituições da Austrália e Egito citados anteriormente, através da colaboração entre Universidade de Melbourne (Moallemi; Aye; de Haan; George), Universidade de Swinburne (Webb) e Programa Integrado de Gestão das Águas Terrestres, Centro Internacional de Pesquisa Agrícola nas Áreas Secas do Egito de onde o pesquisador B. George da Universidade de Melbourne faz parte.

A Universidade de Harvard que possuía o maior número de citações aparece vinculada a pelos menos 5 dos 7 agrupamentos. No geral não se nota uma grande rede de citações entre as organizações, mas já há conexões entre os agrupamentos, indicando o início de um movimento de contribuição entre as pesquisas.



Fonte: WoS visualização VOSviewer. 56 organizações, mínimo documentos de uma organização: 1, mínimo citações de uma organização: 0. 34 itens & 7 clusters & 83 links. (mostrando somente conectados)

Figura 4 – Rede de Citação de Organizações

### 3.2 Periódicos

Os 32 artigos da amostra foram publicados em 12 *journals* distintos, o quantitativo das publicações é apresentado na

Tabela 4 abaixo. O periódico com a maior quantidade de publicações é o periódico *Environmental Innovation and Societal Transitions* com um total de 6.

Entretanto não há uma correlação direta entre a quantidade de publicações de um periódico com a quantidade de citações, por exemplo *Research Policy* (139 citações) e *Technology Analysis & Strategic Management* (129 citações) com apenas 2 publicações cada tiverem um alcance muito próximo a *Environmental Innovation and Societal Transition* (143 citações) que possui a maior quantidade de publicações (200% superior).

Tabela 4 – Periódicos mais relevantes por contagem de artigos e por contagem de citações TGCS.

Posição	Periódico	Publicações	TGCS
1	Environmental Innovation and Societal Transitions	6	143
2	Renewable & Sustainable Energy Reviews	5	105
3	Technological Forecasting and Social Change	5	42
4	European Planning Studies	3	116
5	Energy Research & Social Science	3	11
6	Research Policy	2	139
7	Technology Analysis & Strategic Management	2	129
8	Energy Policy	2	47
9	Industry And Innovation	1	72
10	Global Environmental Change-Human And Policy Dimensions	1	43
11	Journal of Cleaner Production	1	25
12	Gaia-Ecological Perspectives for Science and Society	1	6

Fonte: Autores (2021) dados do WoS, 12 periódicos.

Os periodicos podem ser classificados em 4 agrupamentos: Periodicos associados a literatura de transições sustentáveis e sustentabilidade (*Energy Research & Social Science*, *Environmental Innovation and Societal Transitions* e *Technology Analysis & Strategic Management*), periodicos que abordam as energias renováveis e sustentabilidade (*Industry And Innovation*, *Cleaner Production* e *Renewable & Sustainable Energy Reviews*), periodicos que abordam a literatura da inovação economica (*Research Policy* e *Technological Forecasting and Social Change*) e finalmente da linha de planejamento e gestão (*European Planning Studies*).

Adicionalmente foi realizada uma rede de co-citação de periódicos nos quais os artigos citados aparecem. Esta rede em nossa coleção contém 18 periódicos com pelo menos 10 citações.

São identificados 3 agrupamentos, o grupo 1 envolvem temas associados a energia, o grupo 2 planejamento e análises estratégicas e o grupo 3 periódicos associados ao meio ambiente e políticas sociais. Há uma grande rede de citações e proximidade entre os periódicos, indicando uma proximidade nos temas abordados.

Os principais periódicos em termos de frequência de co-citação são *Energy policy* (181 citações), *Research Policy* (176 citações), *Technological Forecasting And Social Change* (73 citações) e *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (77 citações). Estes resultados indicam que estas são as principais fontes para os trabalhos da amostra.

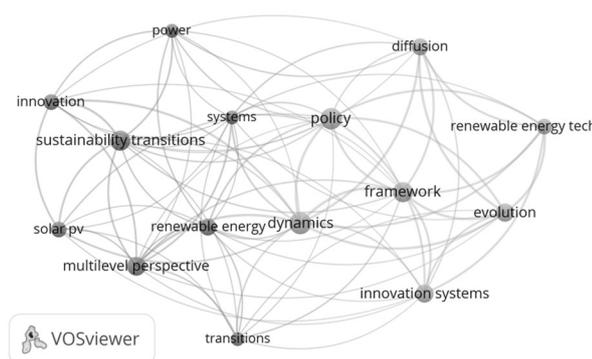
### 3.3 Palavras-chave

Foi realizada análise das principais palavras-chave e suas relações dentro do ramo das pesquisas. Esta análise se deu por meio da análise da co-ocorrência de palavras-chave usada para identificar os principais temas de pesquisa em um campo de pesquisa ou domínio de conhecimento, medindo a coincidência de pares de palavras-chave (Liu et al., 2015).

De um total de 218 palavras-chave, considerando o número mínimo de ocorrências de uma palavra-chave como 5, a

apresenta 15 palavras-chave agrupadas em 2 agrupamentos. O primeiro agrupamento (esquerda) engloba palavras associadas a energia e transições sustentáveis, mostrando que as linhas de pesquisa de Energia Solar estão sendo associadas as Transições Sustentáveis. Já o segundo agrupamento (direita) reúne palavras como “difusão”, “governança”, “evolução” e “sistemas de inovação” destacando a essência de muitos dos desenvolvimentos atuais sobre a necessidade de desenvolver mecanismos de governança e gestão para promover inovações sustentáveis.

O tamanho de cada item é proporcional à frequência de co-ocorrência dessa palavra-chave. Em termos de frequência, as palavras que mais se destacam são “dinâmica” com 12 ocorrências, “governança” com 11 e, “transições sustentáveis” e “estrutura” com 10. Destaca-se que palavras associadas a energia também se destacam, como “energias renováveis” com 7 ocorrências e “solar pv” com 6 ocorrências.



Fonte: WoS visualização VOSviewer. 218 palavras-chave (todas), mínimo ocorrências de uma palavra-chave: 5. 15 itens & 2 clusters & 82 links.

Figura 5 – Rede de Co-ocorrência de Palavras-chaves.

#### 4. ANÁLISE DE CONTEÚDO

Além da análise cientométrica, uma análise de conteúdo foi realizada buscando identificar principalmente o ramo das pesquisas em Energia Solar, os tipos de pesquisa desenvolvidos na área, qual metodologia utilizada dentro da transição sustentável, etc.

##### 4.1 Artigos mais citados

Dentro da amostra de 32 artigos é apresentado um detalhe dos 10 principais artigos em função da quantidade de citações, também foi avaliado qual tópico dentro da linha de pesquisa de Transições Sustentáveis o artigo utilizou. Para avaliação da quantidade de citações se utiliza o indicador GCS (*Global Citation Score*) que se refere ao número de citações ao documento de todas as fontes, conforme relatado no WoS quando os dados foram baixados.

O artigo mais antigo da amostra datado de 2008 também é o mais citado (129), este artigo de Bergek, Jacobsson, e Sanden objetiva apresentar uma melhor compreensão da fase de formação de novos TIS abordando o caso das energias renováveis, entre elas a fonte solar na Alemanha.

Tabela 5 – Top 10 Artigos.

#	Autores	Periódico	Ano	GCS	Tópico
1	Bergek, Anna; Jacobsson, Staffan; Sanden, Bjorn A.	Tech Analysis & Strategic Management	2008	129	TIS
2	Hoppmann, Joern; Huenteler, Joern; Girod, Bastien	Research Policy	2014	101	ST
3	Dewald, Ulrich; Truffer, Bernhard	European Planning Studies	2012	74	TIS
4	Dewald, Ulrich; Truffer, Bernhard	Industry And Innovation	2011	72	TIS
5	Quitow, Rainer	Environmental Innovation And Societal Transitions	2015	45	TIS
6	Eleftheriadis, Iordanis M.; Anagnostopoulou, Evgenia G.	Energy Policy	2015	43	TIS
7	Hess, David J.	Global Environmental Change-Human And Policy Dimensions	2013	43	ST/MLP
8	Rosenbloom, Daniel; Berton, Harris; Meadowcroft, James	Research Policy	2016	38	MLP
9	Hess, David J.	Environmental Innovation And Societal Transitions	2016	33	ST/MLP
10	Maassen, A.	European Planning Studies	2012	30	SNM/MLP

Fonte: Autores (2021) dados do WoS, 32 artigos.

Analisando a lista também se percebe uma clara polarização na metodologia utilizada pelos autores, 50% utilizam teoria TIS e 40% MLP, portanto ambas as teorias representam os estudos de 90% dos autores dos principais artigos. Os artigos que estudam TIS normalmente são bem específicos e abordam a difusão e evolução da utilização da tecnologia solar nos países. Já os artigos que abordam a MLP por vezes combinam com conceitos mais amplos das ST ou debatem a SNM tratando de abordar principalmente as interações entre os diferentes atores e barreiras para tecnologia.

É importante identificar também relações entre os artigos em termos de análise de redes de citações, de modo que estudos altamente vinculados também possam ajudar a esclarecer a natureza e a evolução de objeto da pesquisa.

## 4.2 Referências mais citadas

A seguir, mostramos na

Tabela 6 – Top 10 Referências citadas., as 10 principais referências citadas na coleção de 1.643 referencias. Surpreendentemente, nenhum artigo fez parte da amostra, entretanto o mais citado é do mesmo ano e dos mesmos autores, do artigo mais citado apresentado na Tabela 5 anterior. Aqui se apresenta o valor de citação por meio do indicador LCR (*Local Cited References*) que corresponde ao número de registros na amostra citados como referências pelos artigos.

O autor com maior presença na lista é Jacobsson (3 artigos), sempre trabalhando em colaboração com diferentes autores, abordando a transição sustentável na área de energia. O trabalho que ocupa a primeira posição é de sua autoria, conjuntamente com Bergek e Carlsson, propondo um método completo para aplicar a análise funcional do TIS, chamado esquema de análise. Este artigo apareceu na primeira pesquisa na base do WoS mas foi eliminado da filtragem por não abordar de maneira específica a Energia Solar.

Hekkert associado com Suurs publicam dois artigos, incluindo a segunda posição, este o trabalho de Hekkert et al. (2007), é um dos artigos mais importantes na literatura de sistemas de inovação tecnológica (TIS) e para abordagem da análise funcional. Geels aparece em dois artigos, incluindo o trabalho em que ele desenvolve a ideia de perspectiva multinível – MLP (Geels, 2002), ocupando a terceira posição, o conjunto da obra de Geels é citado também com menos frequência aparecendo na lista top 50 das referências.

Aparecendo na quarta (2008) e oitava posição (2012), Markard em associação com Truffer publicam dois artigos, que revisam o estado da arte da literatura das transições sustentáveis. Carlsson aparece na quinta posição, este artigo publicado em 1991 em conjunto com Stankiewicz é o primeiro trabalho conhecido que desenvolve a ideia dos sistemas tecnológicos. Carlsson também é um dos autores do artigo que esta na primeira posição.

Os autores acima referenciados trabalham também em conjunto, por exemplo Bergek, Hekkert, Jacobsson, Markar, Sandén e Truffer publicaram em conjunto em 2015 o trabalho, *Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics* (Bergek et al, 2015).

Também observamos que todos são artigos de periódicos, com forte presença da Research Policy (50%). Nas referencias mais citadas neste há majoritária presença do tópico TIS (80%).

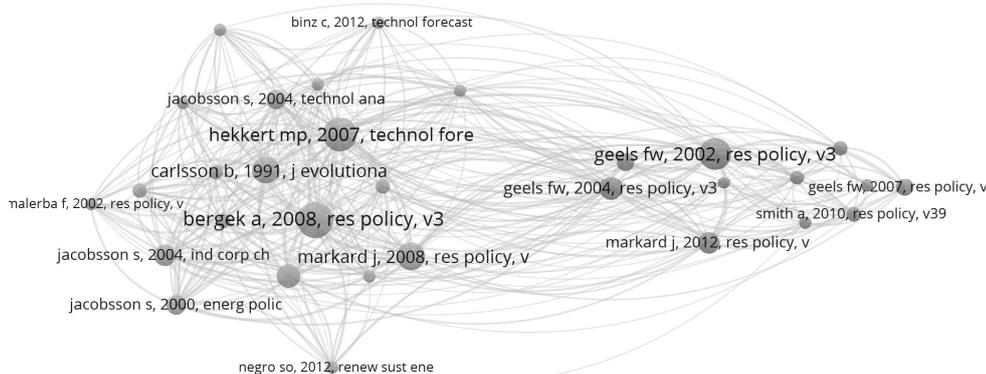
Tabela 6 – Top 10 Referências citadas.

#	Autores	LCR	Periódico	Ano	Tópico
1	Bergek, A.; Jacobsson, S.; Carlsson, B; et al.	16	Research Policy	2008	TIS
2	Hekkert, M. P.; Suurs, R. A. A.; Negro, S. O.; et al.	15	Technological Forecasting And Social Change	2007	TIS
3	Geels, FW	14	Research Policy	2002	MLP
4	Markard, J.; Truffer, B.	12	Research Policy	2008	MLP/TIS
5	Carlsson, B.; Stankiewicz, R.	12	Journal of Evolutionary Economics	1991	TIS
6	Suurs, R.; Hekkert, M. P.	10	Technological Forecasting and Social Changes	2009	TIS
7	Geels, FW	10	Research Policy	2004	MLP/TIS
8	Markard, J.; Raven, R; Truffer, B.	9	Research Policy	2012	MLP/ST
9	Jacobsson, S.; Bergek, A.	9	Industrial and corporate change	2004	TIS
10	Jacobsson, S.; Johnson, A.	8	Energy Policy	2000	TIS

Fonte: 1.643 artigos citados.

### 4.3 Documentos Co-citados

Em seguida, apresentamos rede de co-citação de referências. Analisando a destaca-se a existência de 2 clusters, um de TIS (esquerda) e outro de MLP (direita) sendo os trabalhos de TIS liderados por Hekkert, Bergek, Jacobsson, entre outros e os trabalhos de MLP por Geels e Smith. Markard aparece nos dois clusters, sendo que seu trabalhos buscam justamente debater o estado da arte das duas teorias.



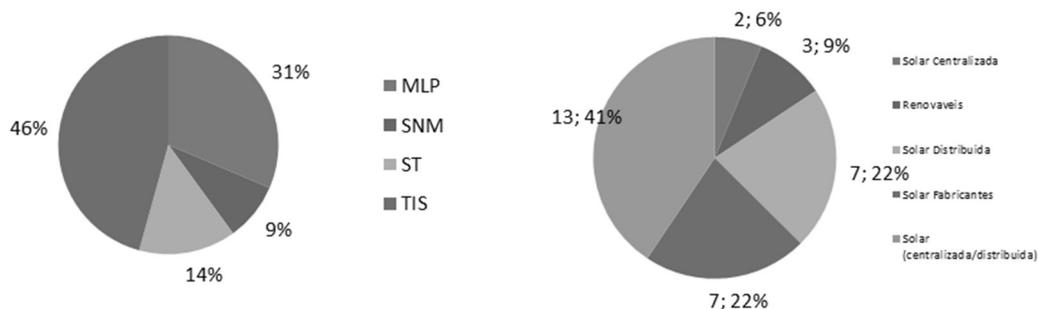
Fonte: WoS visualização VOSviewer. 1.643 referencias citadas, mínimo citações de uma referência: 5. 31 itens & 2 clusters & 346 links.

Figura 6 – Rede de co-citação de referências

## 5. OPORTUNIDADES E LACUNAS DE PESQUISA

Uma ampla maioria dos pesquisadores (77%) utilizaram abordagem de TIS e MLP em seus trabalhos, sendo que 46% utilizaram TIS e 31% utilizaram MLP em seus estudos, como apresentado na Figura 7.

Cerca de 40% dos estudos avaliaram a fonte solar como um todo, geração centralizada e distribuída, 22% deram enfoque na visão dos fabricantes de painéis solares/indústria e outros 22% a geração distribuída. Entretanto somente 2 trabalhos (6%) focaram em avaliar a geração de energia solar centralizada.

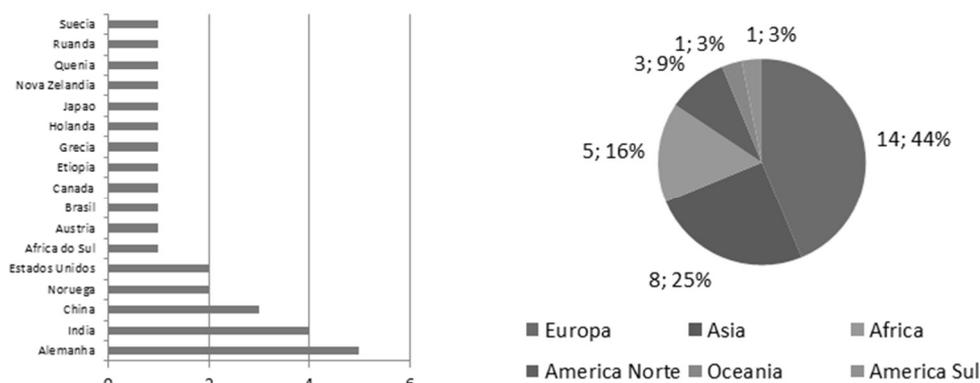


Fonte: Autores (2021). 32 artigos.

Figura 7 – Tópicos das pesquisas da amostra

Além da origem das organizações envolvidas nas pesquisas se buscou identificar quais mercados elétricos foram analisados. Observamos no âmbito das pesquisas 17 países foram estudados, principalmente a Alemanha (5 artigos), Índia (4 artigos) e China (3 artigos), apresentados na Figura 8. Os artigos associados a China e Índia em geral focavam na parte dos fabricantes. É natural observar que a Alemanha seja o país mais estudado tendo em vista ter sido um país que foi o desbravador da tecnologia Solar Fotovoltaica e disseminação, principalmente em termos de geração distribuída.

Quando comparados aos continentes, há presença basicamente de todos os continentes (se apresenta por separada América do Norte e América do Sul), entretanto o subcontinente América do Sul conta apenas com um estudo, do setor elétrico Brasileiro, datado de 2019.



Fonte: Autores (2021). 32 artigos.

Figura 8 – Países e continentes cujos mercados foram analisados pelos pesquisadores

As pesquisas globais envolvendo as transições sustentáveis e a Energia Solar, são recentes tendo apresentado um crescimento constante a partir do ano de 2011, culminando com 6 publicações no ano de 2018. Percebe-se também o crescimento da disseminação de duas maiorias linhas de pesquisa dentro das Transições Sustentáveis: MLP e TIS.

Pela utilização das palavras chaves com destaque a palavras como “dinâmica”, “governança” e “estrutura” vinculadas as palavras com a temática de pesquisa “transições sustentáveis”, “energias renováveis” e “solar pv” destaca-se a preocupação dos pesquisadores com a evolução da fonte e a necessidade de desenvolver mecanismos de governança e gestão para promover inovações sustentáveis.

A ampla maioria dos trabalhos apresentados (94%) não enfocou no desenvolvimento de usinas solares de grande porte despachadas por um operador centralizado. Segundo relatório publicado pela Wood Mackenzie Power & Renewables “Os leilões continuarão a ser o motor do crescimento em muitos mercados fotovoltaicos globais. Esperamos ver 90 GW de projetos de energia solar fotovoltaica concedidos contratos através de leilões em 2019, acima de 81 GW em 2018” (Wood Mackenzie Power & Renewables, 2019).

O mesmo relatório aponta que as instalações solares terão uma alta de 114,5 GW em 2019, subindo 17,5% na comparação com 2018. O estudo mostra que na América Latina, o Brasil parece ser atualmente o mercado mais interessante, com PPAs leiloados com distribuidores e contratos de mercado livre com grandes consumidores em oferta.

Identificamos ainda que há poucos pesquisadores estudando a energia solar com as transições sustentáveis na América Latina, identificamos dentro da amostra apenas um estudo recente da Universidade Positivo estudando o caso Brasileiro, publicado em 2019.

Dado que a América Latina, em especial países com um amplo mercado ainda com baixa participação da fonte solar como o Brasil, serão um foco de expansão da Fonte Solar, e dado que os leilões continuarão a ser o motor do crescimento em muitos mercados fotovoltaicos globais, há oportunidades/lacunas de pesquisa utilizando principalmente as teorias TIS e MLP, seja no Brasil ou em outras regiões do mundo, para avaliar os desafios e disseminação da fonte, especialmente se o estudo for focado no desenvolvimento de usinas solares de grande porte.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas globais envolvendo as transições sustentáveis e a Energia Solar são recentes, mas tem se mostrado em expansão dentro da academia. Como prova, identificou-se um número crescente de publicações, provenientes de múltiplas regiões e instituições.

Buscou-se entender o estado da arte das pesquisas, apresentando oportunidades/lacunas de pesquisa nesta área. Desta análise foi possível analisar dados específicos, provenientes de uma amostra que englobou 32 artigos: 22 países, 56 organizações, 12 periódicos, 77 autores, 218 palavras-chave e 1.643 referências citadas.

Em termos das contribuições mais importantes deste artigo (tanto pelos documentos em amostra utilizada quanto referências citadas), foi possível identificar no corpo central da literatura, composto essencialmente por artigos de periódicos, que os autores mais importantes no campo derivam dos documentos em nossa coleção e das referências citadas. Identificou-se que os autores dos artigos da amostra normalmente não aparecem nos autores das referências mais citadas, indicando que são pesquisadores desenvolvendo uma nova linha de

pesquisa dentro da área, com exceção da universidade de Utrech que, além de possuir mais publicações, autores desta instituição (Raven e Negro) aparecem em ambas as listas.

Da amostra, identificou-se U. Dewald (Karlsruhe e RWTH Aachen U), como o estudioso mais produtivo e citado, sendo os outros autores “pulverizados” em diversas instituições. Por outro lado, além dos autores acima mencionados, identificou-se dentro dos trabalhos mais citados os autores com importante influência na bibliografia de transições sustentáveis como S. Jacobsson (Chalmers U), B. Carlsson (CaseWestern U), F.W. Geels (Manchester U), B. Truffer (Utrecht U), J. Markard (EAWAG e ETH Zurich), MP Hekkert (Utrecht U), B.A. Sanden (Chalmers U), R.A.A. Suurs (Utrecht U), R. Raven (Utrecht U), R. Stankiewicz. (Lund U) e S.O. Negro (Utrecht U).

A Europa, com destaque a Alemanha, foram os mercados elétricos e também a origem mais frequentes das instituições envolvidas nas pesquisas, entretanto identificou-se trabalhos originários de organizações e estudando países basicamente de todos os continentes (África, Ásia, Oceania, Américas e Europa), mostrando que a temática é relevante e envolve a comunidade acadêmica global.

Pela utilização das palavras-chave destaca-se a preocupação dos pesquisadores com a evolução da fonte e a necessidade de desenvolver mecanismos de governança e gestão para promover inovações sustentáveis.

A ampla maioria dos trabalhos apresentados (94%) não enfocou no desenvolvimento de usinas solares de grande porte despachadas por um operador centralizado. Observou-se ainda que há poucos pesquisadores estudando a energia solar através da teoria das transições sustentáveis na América Latina. Dado que nesta região, em especial o Brasil será um foco de expansão da Fonte Solar, e que os leilões continuarão a ser o motor do crescimento em muitos mercados fotovoltaicos globais, há oportunidades para pesquisas utilizando principalmente as teorias TIS e MLP, seja no Brasil ou em outras regiões do mundo, para avaliar os desafios e disseminação da fonte, especialmente se o estudo for focado no desenvolvimento de usinas solares de grande porte.

Finalmente, o uso de um único banco de dados pode ter omitido alguns outros trabalhos relevantes, mesmo que o WoS seja reconhecido como a fonte mais importante de dados de revisão científica e bibliográfica. Entretanto entendemos que essa omissão foi mitigada já ao realizar análise inicial de outras bases de dados no transcorrer desta pesquisa, a amostra do WoS utilizada representava 80% dos trabalhos.

## REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. 2017. Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios. Seminário sobre Revolução Tecnológica no Sistema de Geração e Distribuição de Energia Elétrica. Brasília, Brasil.
- ANEEL. 2021. Sistema de Informações de Geração (SIGA). Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/siga>>.
- Bergek, A., Hekkert, M., Jacobsson, S., Markard, J., Sandén, B., & Truffer, B. 2015. Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 16, 51–64.
- Bergek, A., Jacobsson, S. & Sanden, B. A. 2008. 'Legitimation' and 'development of positive externalities': two key processes in the formation phase of technological innovation systems. *Technology Analysis & Strategic Management*, 20, 575-592.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. 2008. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, 37(3), 407-429.
- BNEF – Bloomberg New Energy Finance. 2020. Emerging Markets Outlook 2020.
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. 1991. On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*, 1(2), 93-118.
- Chen, C., Ibekwe-Sanjuan, F., & Hou, J. 2010. The structure and dynamics of cocitation clusters: A multipleperspective cocitation analysis. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(7), 1386-1409.
- Dewald, U. & Truffer, B. 2011. Market Formation in Technological Innovation Systems Diffusion of Photovoltaic Applications in Germany. *Industry and Innovation*, 18, 285-300.
- Dewald, U. & Truffer, B. 2012. The Local Sources of Market Formation: Explaining Regional Growth Differentials in German Photovoltaic Markets. *European Planning Studies*, 20, 397-420.
- Eleftheriadis, I. M. & Anagnostopoulou, E. G. 2015. Identifying barriers in the diffusion of renewable energy sources. *Energy Policy*, 80, 153-164.
- Geels, F.W., 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Res. Policy* 31 (8), 1257–1274.
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. H. M. 2007. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological forecasting and social change*, 74(4), 413-432.
- Hess, D. J. 2013. Industrial fields and countervailing power: The transformation of distributed solar energy in the

- United States. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 23, 847-855.
- Hess, D. J. 2016. The politics of niche-regime conflicts: Distributed solar energy in the United States. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 19, 42-50.
- Hoppmann, J., Huenteler, J. & Girod, B. 2014. Compulsive policy-making-The evolution of the German feed-in tariff system for solar photovoltaic power. *Research Policy*, 43, 1422-1441.
- IEA, International Energy Agency. 2021. *Key World Energy Statistics 2021*.
- JACOBSSON, S., & BERGEK, A. 2004. Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology. *Industrial and Corporate Change*, 13(5), 815-849.
- Jacobsson, S., & Johnson, A. 2000. The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research. *Energy Policy*, 28(9), 625-640.
- Kemp, R., Schot, J., Hoogma, R., 1998. Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: the approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management* 10, 175–195
- Kern, F., Smith, A., 2008. Restructuring energy systems for sustainability? Energy transition policy in the Netherlands. *Energy Policy* 36, 4093–4103.
- Loorbach, D., (2007). *Transition management. New mode of governance for sustainable development*. Ph.D. Thesis, Dutch Research Institute for Transitions, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, 324pp.
- Liu, Z., Yin, Y., Liu, W., & Dunford, M. 2015. Visualizing the intellectual structure and evolution of innovation systems research: a bibliometric analysis. *Scientometrics*, 103(1), 135-158.
- Maassen, A. 2012. Heterogeneity of Lock-In and the Role of Strategic Technological Interventions in Urban Infrastructural Transformations. *European Planning Studies*, 20, 441-460.
- Markard, J., & Truffer, B. 2008. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*, 37(4), 596-615.
- Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. 2012. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, 41(6), 955–967. 2012.
- Mingers, J., & Leydesdorff, L. 2015. A review of theory and practice in scientometrics. *European Journal of Operational Research*, 246(1), 1-19.
- ONU. 2021. A ONU e a mudança climática. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/acao/mudanca-climatica/>>.
- Quitow, R. 2015. Dynamics of a policy-driven market: The co-evolution of technological innovation systems for solar photovoltaics in China and Germany. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 17, 126-148.
- Rosenbloom, D., Berton, H. & Meadowcroft, J. 2016. Framing the sun: A discursive approach to understanding multi-dimensional interactions within socio-technical transitions through the case of solar electricity in Ontario, Canada. *Research Policy*, 45, 1275-1290.
- Rotmans, J., Kemp, R., Asselt, M.V., Geels, F.W., Verbong, G., Molendijk, K., Notten, P.V., 2001. Transitions and transition management. The case for a low emission energy supply. ICIS Working Paper: I01-E001, Maastricht.
- Smith, A.; Voss, J.-P.; Grin, J. 2010. Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multi-level perspective and its challenges. *Research Policy*, 39(4), 435-448.
- Suurs, R. A. A., & Hekkert, M. P. 2009. Cumulative causation in the formation of a technological innovation system: The case of biofuels in the Netherlands. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(8), 1003-1020.
- Vaz, C. R., Uriona Maldonado, M. 2017. Revisão de literatura estruturada: proposta do modelo SYSMAP (Scientometric and Systematic Yielding Mapping Process). *Aplicações de Bibliometria e Análise de Conteúdo em casos da Engenharia de Produção (UFSC ed., Vol.1, pp. 21-42 p)*.
- Vaz, C. R., Uriona Maldonado, M. 2018. The Evolution of Sustainability Transitions: A Content Analysis Approach. XX Engema – Encontro Internacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente.
- Walrave, B.; Raven, R. P. J. M. 2016. Modelling the dynamics of technological innovation systems. *Research Policy*, n. 45, p. 1833–144.
- Wood Mackenzie Power & Renewables, 2019. *Global solar PV market outlook update: Q2 2019*.

## SUSTAINABLE TRANSITIONS OF THE SOLAR PHOTOVOLTAIC SOURCE: A STRUCTURED LITERATURE REVIEW

**Abstract.** *The development, use and diffusion of renewable energies are at the heart of the research line known as Sustainable Transitions. Considering the expansion of renewable sources in developed countries, and the recent growth of the source in the Brazilian electricity matrix, this paper seeks to assess the main lines of global research considering the theory of Sustainable Transitions associated with Solar Photovoltaic Source through a structured literature review through the SYSMAP methodology (Scientometric and sYStematic yielding MApping*

*Process), comprising 5 phases, namely: i) construction of the collection of articles; ii) filtering process; iii) bibliometric analysis, iv) content analysis and, v) construction of research opportunities/gaps. Europe, especially Germany, were the electrical markets and also the most frequent origin of the institutions involved in the researches, however works originating from organizations and studying countries basically from all continents were identified and opportunities/gaps for research in this area are also presented.*

**Keywords:** *Socio-Technical Energy Transitions, Sustainable Energy Transitions, Photovoltaic Solar Energy, Renewable Energy, SYSMAP Method*