



ConBREpro

XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

03 a 05 de dezembro de 2025

As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

MODELO DE ANÁLISE DA CADEIA DE SUPRIMENTOS CIRCULAR NA PRODUÇÃO E PÓS-USO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS: ESTRATÉGIAS PARA SUSTENTABILIDADE E ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR ENERGÉTICO

Adriano Fabbri de Oliveira

Aluno - Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR

Angelo Marcelo Tusset

Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Resumo: O avanço acelerado na adoção da energia solar fotovoltaica, embora represente um vetor fundamental para a transição energética e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, tem gerado preocupações quanto à gestão adequada dos módulos ao final de sua vida útil. A expansão global da tecnologia fotovoltaica consolidou-se como alternativa sustentável frente aos combustíveis fósseis. Entretanto, a ausência de políticas públicas eficazes para o tratamento de resíduos compromete a implementação de práticas de descarte e reciclagem apropriadas. Caso tais políticas não sejam estruturadas, estima-se que o volume de módulos fotovoltaicos em fim de vida, atinja níveis alarmantes já no início de 2030. A reciclagem desses painéis mostra-se essencial, não apenas para reduzir os impactos ambientais do descarte inadequado, mas também para garantir a preservação de matérias-primas valiosas. Além disso, alcançar alta pureza nos materiais reciclados é decisivo para viabilizar seu reuso na fabricação de novos módulos, fortalecendo o conceito de economia circular. À medida que a adoção da energia solar se intensifica, os desafios associados à limitação de recursos naturais e aos impactos ambientais tornam-se cada vez mais evidentes. Diante desse cenário, o presente estudo busca apoiar iniciativas voltadas à economia circular, mapeando variáveis e condições que influenciam os impactos ambientais e propondo estratégias para consolidar uma cadeia de suprimentos circular e sustentável no setor fotovoltaico. A metodologia envolve revisão bibliográfica sobre a teoria da cadeia de suprimentos circular, além de entrevistas com especialistas e gestores. Espera-se identificar boas práticas e propor recomendações que fortaleçam políticas públicas e empresariais, promovendo avanços rumo a um sistema energético mais sustentável.

Palavras-chave: cadeia de suprimentos; economia circular; tecnologia fotovoltaica

CIRCULAR SUPPLY CHAIN ANALYSIS MODEL IN THE PRODUCTION AND POST-USE OF PHOTOVOLTAIC PANELS: STRATEGIES FOR SUSTAINABILITY AND CIRCULAR ECONOMY IN THE ENERGY SECTOR

Abstract: The rapid growth in the adoption of photovoltaic solar energy, while representing a fundamental driver of the energy transition and the mitigation of greenhouse gas emissions, has raised concerns about the proper management of modules at the end of their useful life. The global expansion of photovoltaic technology has established itself as a sustainable alternative to fossil fuels. However, the lack of effective public policies for waste treatment compromises the implementation of appropriate disposal and recycling practices. If such policies are not implemented, the volume of end-of-life photovoltaic modules is estimated to reach alarming levels by the early 2030s. Recycling these panels is essential, not only to reduce the environmental impacts of improper disposal but also to ensure the preservation of valuable raw materials. Furthermore, achieving high purity in recycled materials is crucial to enabling their reuse in the manufacture of new modules, strengthening the concept of a circular economy. As the adoption of solar energy intensifies, the challenges associated with limited natural resources and environmental impacts become increasingly evident. Given this scenario, this study seeks to support initiatives focused on the circular economy by mapping variables and conditions that influence environmental impacts and proposing strategies to consolidate a circular and sustainable supply chain in the photovoltaic sector. The methodology involves a literature review on circular supply chain theory, as well as interviews with experts and managers. The aim is to identify best practices and propose recommendations that strengthen public and business policies, promoting progress toward a more sustainable energy system.

Keywords: supply chain; circular economy; photovoltaic technology

1. Introdução

Desde os primórdios da civilização, a busca por fontes energéticas tem sido fundamental para o progresso social, a evolução tecnológica e o sustento das atividades humanas (DEMIR; YAKIŞIK, 2024). A Revolução Industrial intensificou a demanda global por energia, consolidando os combustíveis fósseis carvão, petróleo e gás natural como principais vetores do desenvolvimento devido à sua densidade energética e facilidade de transporte (IEA, 2023). Contudo, a exploração intensiva desses recursos acelerou o esgotamento das reservas e agravou impactos ambientais, sobretudo a emissão de gases de efeito estufa, centrais nas mudanças climáticas globais (IPCC, 2023).

O uso continuado de fósseis está associado à degradação ambiental, poluição do ar, água e solo, além de dependência externa de países importadores (BERTRAND, 2021). Segundo a IRENA (2020), a poluição atmosférica resulta em sete milhões de mortes prematuras anuais, enquanto 840 milhões de pessoas permanecem sem acesso à eletricidade. Ao mesmo tempo, 2,6 bilhões utilizam fontes poluentes e ineficientes para cocção de alimentos. O aumento das emissões de CO₂, majoritariamente provenientes da queima de fósseis, intensifica os desequilíbrios climáticos (RITCHIE; ROSADO, 2022).

Nesse cenário, cresce o interesse global pela substituição progressiva de fósseis por fontes renováveis, limpas e sustentáveis (IPCC, 2023). A participação das renováveis na matriz energética mundial saltou de 15% em 2002 para 83% das novas instalações em 2022, respondendo atualmente por cerca de 40% da capacidade instalada (IEA, 2023). Projeções indicam que países como EUA, União Europeia, Índia e Brasil deverão duplicar

sua capacidade solar e eólica até 2028, enquanto a Austrália já atingiu 46% de penetração fotovoltaica residencial (IRENA, 2023).

A energia solar fotovoltaica (PV) destaca-se nesse processo, não apenas pela redução das emissões e melhoria da qualidade do ar, mas também por ampliar o acesso à energia e combater a pobreza energética (IRENA, 2020). Em 2023, a capacidade industrial de módulos solares triplicou em relação a 2021, reduzindo seus preços em quase 50% e acelerando a adoção global (IEA, 2023). O setor apresenta crescimento médio anual de 40% nas últimas duas décadas, com projeções de atingir 2840 GW até 2030 e 5000 GW até 2050 (SOUZA et al., 2024).

Apesar dos avanços, surgem desafios relacionados ao fim da vida útil dos módulos. Estima-se a geração de até 8 milhões de toneladas de resíduos até 2030 e entre 60 e 78 milhões até 2050, podendo chegar a 3 bilhões no cenário mais crítico (OLIVEIRA et al., 2024). A China, líder em capacidade instalada (40%), poderá acumular 72 milhões de toneladas até 2050 (AMROLLAHI BIYOUKI et al., 2024). A gestão desses resíduos demanda uma perspectiva de ciclo de vida e modelos de cadeia de suprimentos circulares que integrem produção, uso e descarte de forma sustentável (CANÇÃO et al., 2023).

A literatura, entretanto, mostra-se fragmentada, dificultando uma visão integrada. Nesse sentido, este estudo propõe uma revisão sistemática voltada ao gerenciamento de resíduos fotovoltaicos, mapeando processos, fluxos e estratégias. Busca-se consolidar conhecimentos dispersos, identificar tendências emergentes e oferecer subsídios à formulação de modelos circulares, capazes de otimizar a cadeia de suprimentos fotovoltaica e sustentar avanços em economia circular e sustentabilidade no setor energético.

Assim, o presente estudo tem como objetivo geral desenvolver um modelo de análise da cadeia de suprimentos circular voltada à produção e ao pós-uso de placas fotovoltaicas, de modo a propor estratégias que promovam a sustentabilidade e a economia circular no setor energético. Para atingir esse propósito, estabelecem-se alguns objetivos específicos que nortearão a pesquisa. Primeiramente, busca-se analisar o ciclo de vida dos módulos fotovoltaicos, considerando todas as etapas que vão desde a produção até a destinação final, a fim de compreender os impactos e oportunidades de intervenção em cada fase. Em seguida, pretende-se identificar práticas de circularidade que possam ser aplicadas à cadeia de suprimentos fotovoltaica, contemplando alternativas que favoreçam o reaproveitamento e a redução de resíduos. Outro aspecto relevante consiste na avaliação de políticas públicas, marcos regulatórios e incentivos econômicos que possam influenciar ou potencializar iniciativas voltadas ao reaproveitamento de materiais fotovoltaicos, considerando o contexto nacional e internacional. Paralelamente, propõe-se o estudo de

estratégias logísticas e operacionais para o fechamento de ciclos, incluindo processos de reciclagem, remanufatura e reuso, elementos fundamentais para a consolidação de um sistema energético mais sustentável. Por fim, a pesquisa pretende desenvolver um modelo conceitual de cadeia de suprimentos circular aplicado ao setor fotovoltaico, capaz de integrar as dimensões ambientais, econômicas e sociais, oferecendo subsídios teóricos e práticos para a implementação de soluções inovadoras e sustentáveis na área.

2. Justificativa

A expansão da energia solar fotovoltaica consolidou-se como vetor central da transição energética, mas gera um desafio crescente com o descarte de módulos ao fim da vida útil, que pode alcançar até 78 milhões de toneladas em 2050, segundo a IEA/IRENA. No Brasil, a previsão é de 8.500 toneladas já em 2030, sendo a maior parte destinada a aterros, solução barata porém insustentável, que eleva riscos de contaminação e desperdiça materiais valiosos. Embora tecnologias de reciclagem já recuperem até 95% dos componentes, com potencial de movimentar US\$ 2,7 bilhões em 2030 e gerar empregos, ainda existem barreiras ligadas a custos, infraestrutura e ausência de políticas públicas consistentes. Nesse contexto, torna-se essencial propor um modelo de cadeia de suprimentos circular para o setor, integrando reciclagem, reuso e remanufatura, de modo a mapear fluxos, reduzir impactos ambientais e agregar valor econômico e social. A literatura, contudo, ainda é fragmentada e técnica, deixando lacunas sobre a cadeia como um todo. Assim, o estudo justifica-se pela necessidade de subsidiar políticas públicas, estratégias empresariais e ações regulatórias que promovam inovação, fortalecimento da economia circular e avanços rumo à transição energética sustentável.

3. Referencial teórico

3.1 Transição Energética

A transição energética representa um processo de transformação nos paradigmas de consumo e utilização da rede elétrica, enfrentando limitações estruturais e tecnológicas que exigem incentivos regulatórios para viabilizar investimentos e estimular inovações (Dooley, 1998; Pavitt, 1984; De Oliveira, 2011; Castro et al., 2020; Khajepour et al., 2020; Hou e Ramalho, 2024). Modelos tarifários e a forte dependência do setor em relação a seus fornecedores restringem avanços mais disruptivos, o que evidencia a relevância da atuação

das políticas públicas por meio de programas de pesquisa e desenvolvimento (Frame et al., 2018). Experiências como a do Reino Unido demonstram que mecanismos competitivos no arcabouço regulatório podem impulsionar inovações, ainda que de forma gradual e com impactos limitados (Frame et al., 2018). Nesse contexto, o Acordo de Paris de 2015 consolidou metas globais de mitigação climática, promovendo esforços internacionais para reduzir o uso de combustíveis fósseis e favorecer a expansão das fontes renováveis, consolidando a chamada transição energética (Nações Unidas, 2015; Qadir et al., 2021).

Embora o termo “transição energética” não possua definição única (Smil, 2010; Araújo, 2014; Sovacool, 2016), ele é amplamente utilizado para designar mudanças estruturais na matriz energética, especialmente após a crise do petróleo da década de 1970, quando emergiu como resposta à vulnerabilidade energética das nações e à necessidade de diversificação das fontes (Fressoz, 2014). Atualmente, diante do agravamento da crise climática e das emissões massivas de gases de efeito estufa, confirmadas pelo IPCC (2023), a transição energética assume centralidade nas agendas globais, buscando conter o aumento da temperatura média da Terra — já em torno de 1,1 °C devido às atividades humanas (Jones et al., 2023) — e mitigar eventos extremos como secas, enchentes e ondas de calor (IPCC, 2023; Ibitu, 2023). Dessa forma, além de reduzir riscos ambientais e sociais, a transição energética se consolida como estratégia essencial para sustentabilidade, segurança energética e enfrentamento das mudanças climáticas.

3.2 Energia solar fotovoltaica e crescimento global

A expansão global da energia solar fotovoltaica (PV), intensificada pela quarta revolução industrial, tem sido um vetor essencial na transição energética e na descarbonização das matrizes energéticas. Além de reduzir emissões de gases de efeito estufa, fortalecer a resiliência energética e impulsionar práticas sustentáveis, a difusão de sistemas fotovoltaicos estimula inovação tecnológica, promove modelos econômicos circulares e contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (IRENA, 2020; IEA, 2021). O setor apresenta elevado potencial de crescimento, com estimativas de que, até 2050, as fontes renováveis possam responder por 86% da matriz energética mundial, suprimindo dois terços da demanda global. A integração de painéis solares em redes de distribuição e de alta tensão já demonstra a viabilidade técnica da geração distribuída, reforçando o papel estratégico da energia solar na substituição gradual de combustíveis fósseis (Silva; Oliveira, 2021).

Apesar de seus benefícios, a indústria fotovoltaica enfrenta desafios associados ao ciclo de vida dos módulos, desde a extração de matérias-primas até o descarte. A ausência de estratégias robustas para gestão de resíduos pode ampliar impactos ambientais, mas pesquisas apontam soluções sustentáveis. Amrollahi Biyouki et al. (2024) destacam a importância da reciclagem e recuperação de materiais para consolidar a economia circular no setor, enquanto Khouit et al. (2025) ressaltam a necessidade de análises de ciclo de vida que contemplem emissões, consumo de recursos e geração de resíduos. Inovações, como o uso do silício de grau metalúrgico melhorado (UMG-Si), reduzem emissões e o tempo de retorno energético, tornando a eletricidade solar mais eficiente e sustentável (Méndez et al., 2021). Assim, a integração entre avanços tecnológicos, políticas públicas e economia circular torna-se fundamental para maximizar os benefícios ambientais, econômicos e sociais da energia fotovoltaica.

3.3 Cadeia de suprimentos sustentável e circular

A economia circular apresenta-se como alternativa estratégica aos modelos lineares de gestão da cadeia de suprimentos, ao reinserir recursos no ciclo produtivo, reduzir a dependência de matérias-primas virgens e minimizar resíduos. Estudos como os de Genovese et al. (2017), Linder e Williander (2017) e Masi, Day e Godsell (2018) destacam que essa transição exige eficiência no uso de recursos, reaproveitamento de materiais, redesenho de processos logísticos e produtivos, além de estruturas colaborativas que possibilitem fluxos contínuos de materiais e captura de valor após o uso. Dessa forma, alinham-se desempenho ambiental e viabilidade econômica, fortalecendo cadeias resilientes, sustentáveis e integradas, capazes de reduzir impactos ambientais, estender a vida útil dos produtos e gerar valor em todas as etapas. Nesse contexto, os resíduos fotovoltaicos emergem como desafio e oportunidade, sendo essenciais para discutir soluções alinhadas à lógica da circularidade.

4 Caracterização da pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, exploratória e quanti-qualitativa, pois não se limita à construção teórica, mas busca propor soluções práticas para desafios reais no setor energético, especificamente no ciclo de vida das placas fotovoltaicas. Fundamentada em Gil (2008) e Marconi e Lakatos (2003), adota-se a abordagem exploratória pela escassez de estudos consolidados sobre cadeias de suprimentos

circulares aplicadas ao setor fotovoltaico, sobretudo no contexto brasileiro. Assim, a investigação combina métodos qualitativos, que permitem compreender percepções e práticas organizacionais (Morabito et al., 2018), com a dimensão quantitativa, voltada à mensuração de fatores críticos de sucesso, como eficiência no uso de recursos, custos e benefícios econômicos (Turrioni & Mello, 2012). O método de pesquisa adotado é o estudo de caso (Miguel, 2007), o que possibilita analisar o fenômeno em seu contexto real, identificando barreiras, oportunidades e estratégias para a implementação da circularidade.

Para coleta de dados, serão utilizados questionários estruturados (Gil, 2008), direcionados a gestores e especialistas do setor fotovoltaico, permitindo captar tanto indicadores objetivos quanto percepções subjetivas sobre práticas circulares, benefícios e resistências organizacionais. A análise dos dados combinará técnicas estatísticas e análise de conteúdo, fortalecendo a consistência metodológica e a interpretação dos resultados. Dessa forma, o estudo não apenas descreve práticas existentes, mas também oferece subsídios práticos para empresas e formuladores de políticas públicas interessados na transição para cadeias de suprimentos sustentáveis e circulares. Em síntese, busca-se propor um modelo analítico estruturado que auxilie na avaliação e formulação de estratégias mais eficientes, promovendo a sustentabilidade, a redução de impactos ambientais e a criação de valor no setor de energia solar.

Para estruturar a pesquisa, foram definidos três eixos principais: *Supply Chain Management*, *Circular Economy* e *Solar Energy*, com base na revisão preliminar da literatura, tendências acadêmicas e relevância conceitual. O eixo *Supply Chain Management* incluiu termos como "*supply chain*", "*supply chain management*", "*sustainable supply chain*" e "*circular supply chain*", refletindo variações terminológicas em diferentes contextos acadêmicos e geográficos. O eixo de economia circular abrangeu termos como "*circular economy*", "*material circularity*", "*reuse and recycling*" e "*eco-design*", essenciais para identificar práticas de sustentabilidade e eficiência de recursos. Já o eixo de energia solar contemplou palavras-chave como "*renewable energy*", "*solar energy*", "*photovoltaic energy*" e "*solar energy systems*", permitindo mapear estudos sobre produção de energia limpa e práticas circulares aplicáveis à cadeia de suprimentos fotovoltaica.

Para organizar a busca e seleção dos artigos, utilizaram-se operadores booleanos. O operador "OR" agrupou sinônimos dentro de cada eixo, garantindo a inclusão de todas as variações terminológicas, enquanto o "AND" conectou os três eixos, assegurando que os estudos abordassem simultaneamente cadeia de suprimentos, economia circular e energia solar (Aliyu, 2017). Essa estratégia sistemática permitiu mapear de forma eficiente artigos relevantes que tratam da interseção entre os três campos, assegurando coerência

e pertinência na construção da base teórica e na análise da implementação de cadeias de suprimentos circulares no setor de energia solar.

QUADRO 1. Combinação de Palavras Chave

Eixo 1 “ <i>Supply Chain Management</i> ”		Eixo 2 “ <i>Circular Economy</i> ”		Eixo 3 “ <i>Solar Energy</i> ”
"Supply Chain" or "Supply Chain Management" OR "circular supply chain"	AND	"circular economy" OR "Reuse and recycling" OR "Eco-design"	AND	"solar panel" OR "photovoltaic" OR "Solar energy systems"

Fonte: Autor (2025).

QUADRO 2 – Protocolo de Pesquisa

PROTOCOLOS DE PESQUISA	
Termos de Busca	<i>Eixo 1 “supply chain management - Eixo 2 “circular economy” – Eixo 3 “solar energy”</i>
Estratégia de Busca	AND entre os eixos de pesquisa.
Base de dados	<i>Scopus e Web of Science.</i>
Tipos de Publicação	Artigos de Pesquisa e Revisão, de acordo com a divisão das bases de dados.
Linguagem	Inglês
Período	2020 à 2025

Fonte: Autor (2025)

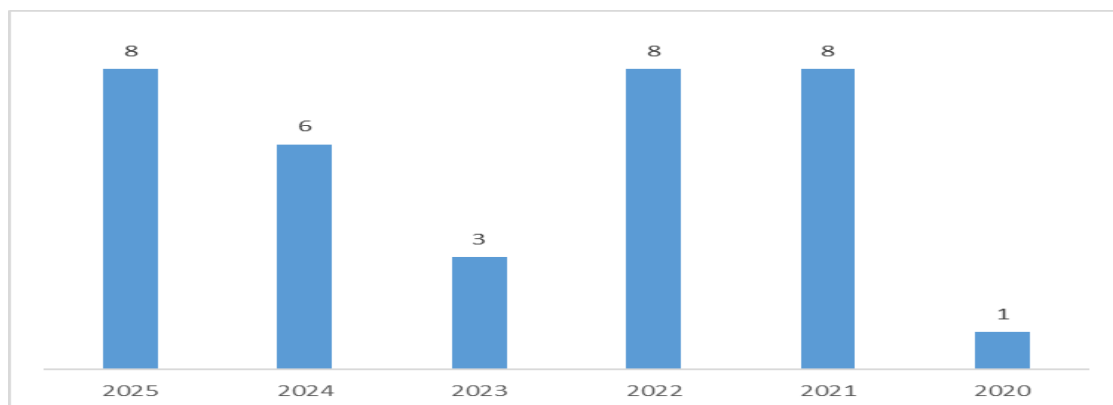
O portfólio final de artigos selecionados fornece a base teórica e prática para a análise da Cadeia de Suprimentos Circular no setor de energia solar, evidenciando como a substituição do modelo linear por práticas circulares — como reutilização, reciclagem, reaproveitamento de componentes e integração de tecnologias limpas — contribui para a eficiência operacional, redução de resíduos e mitigação de impactos ambientais. Os estudos destacam benefícios econômicos, sociais e ambientais, incluindo redução de custos, maior aproveitamento de insumos, inovação tecnológica, criação de empregos especializados e fortalecimento de cadeias logísticas colaborativas, ao mesmo tempo em que revelam desafios como complexidade logística, resistência à mudança e lacunas regulatórias. Assim, o portfólio oferece subsídios para a formulação de estratégias, políticas e frameworks aplicáveis à gestão sustentável e circular da cadeia produtiva de energia solar, consolidando eficiência, inovação e sustentabilidade no setor.

5 Análise bibliométrica

Os 34 artigos obtidos na Revisão Sistemática de Literatura foram analisados bibliometricamente para mapear a produção científica sobre Cadeia de Suprimentos Circular no setor de energia solar, identificando padrões de publicação, autores, periódicos, instituições, palavras-chave e tendências emergentes (Treinta et al., 2014). A análise evidenciou crescimento progressivo da produção científica desde 2010, concentrado em países com políticas fortes de incentivo à energia renovável, como Alemanha, EUA, China e Países Baixos, refletindo a convergência entre pesquisa acadêmica, inovação tecnológica e práticas sustentáveis. Palavras-chave recorrentes, como “*circular supply chain*”, “*sustainable supply chain*”, “*renewable energy*”, “*solar energy systems*”, “*reuse and recycling*” e “*eco-design*”, indicam foco na integração de práticas de economia circular, eficiência de recursos e inovação tecnológica, ao mesmo tempo em que revelam lacunas na mensuração de impactos econômicos, modelagem de fluxos reversos e avaliação ambiental das cadeias circulares.

A bibliometria permitiu, ainda, identificar redes de colaboração entre autores e instituições, periódicos estratégicos e metodologias aplicadas, incluindo estudos de caso, modelagem matemática e *frameworks* conceituais, que consolidam conhecimento teórico e prático. A análise conjunta de quantitativo e qualitativo possibilitou compreender práticas emergentes, modelos de gestão eficazes e desafios da implementação da circularidade, fornecendo subsídios para construção de *frameworks* aplicáveis e orientações para políticas públicas, investimentos tecnológicos e pesquisa futura. Esse panorama evidencia a evolução científica do tema e aponta oportunidades para aprofundamento, especialmente em áreas estratégicas da cadeia de suprimentos do setor fotovoltaico. A observação dessa trajetória de publicações contribui para compreender o dinamismo da área e revelar oportunidades para novos estudos, conforme ilustrado no **Gráfico 1** – Quantidade de artigos por ano de publicação.

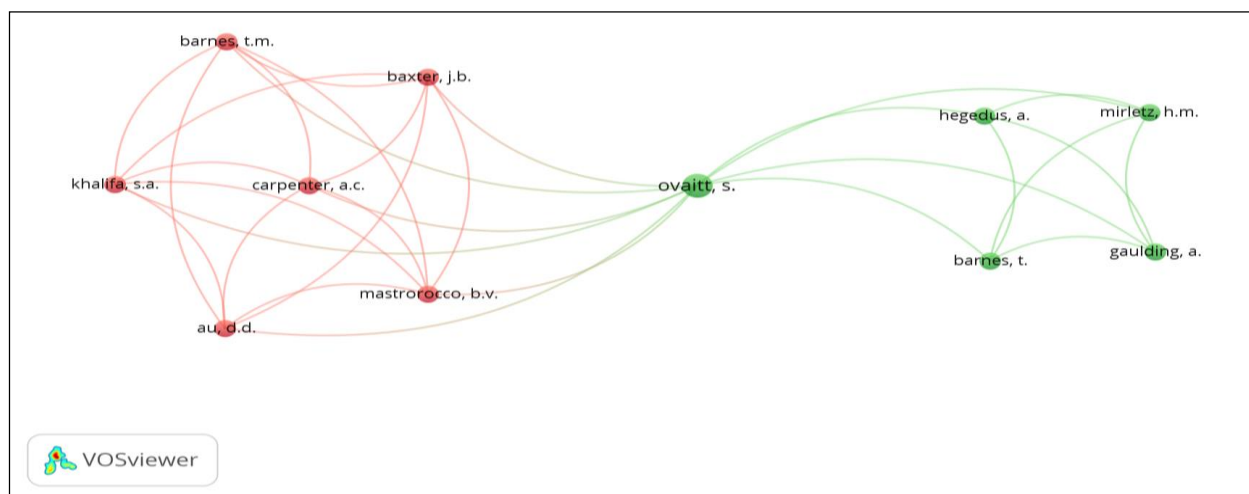
GRÁFICO 1- Quantidade de artigos por ano de publicação



Fonte: Autor (2025)

O **Gráfico 1** evidencia a evolução das publicações científicas sobre Cadeia de Suprimentos Circular aplicada às placas fotovoltaicas entre 2020 e 2025, mostrando crescimento progressivo do interesse acadêmico no tema. Em 2020 houve apenas um artigo, caracterizando fase inicial, enquanto 2021 e 2022 registraram oito publicações cada, impulsionadas pela expansão do setor fotovoltaico e pelas metas de sustentabilidade. A redução para três estudos em 2023 sugere aprofundamento metodológico, seguida de retomada em 2024 e 2025, com seis e oito artigos, indicando ciclos naturais de consolidação do conhecimento. O avanço das pesquisas reflete a preocupação global com o descarte de painéis solares e abre espaço para investigações em modelos operacionais, políticas públicas, tecnologias de recuperação de materiais e análises de desempenho ambiental e econômico, ressaltando oportunidades acadêmicas e lacunas que podem ser exploradas por frameworks inovadores e abordagens práticas. Essa perspectiva é apresentada na Imagem 1 – Principais Autores, que destaca os estudiosos mais relevantes e influentes dentro da temática.

IMAGEM 1 – Principais Autores



Fonte: VOSviewer (2025)

A Imagem 1 apresenta o mapa de coautoria da pesquisa sobre Cadeia de Suprimentos Circular no setor fotovoltaico, evidenciando padrões de colaboração, relevância de autores e a formação de clusters temáticos, nos quais Ovaite S. atua como elo integrador entre subgrupos. Essa análise permite identificar líderes acadêmicos, núcleos consolidados e oportunidades de cooperação, revelando a importância da interdisciplinaridade e da disseminação de conhecimento para o avanço da área. Enquanto os clusters refletem especialização e maturidade científica, os autores periféricos sinalizam linhas emergentes de investigação. Complementarmente, a Imagem 2 destaca os principais autores da produção científica, permitindo reconhecer lideranças, orientar parcerias

estratégicas e compreender as correntes teóricas predominantes, reforçando a relevância das redes de cooperação para ampliar inovação, eficiência e impacto global no campo da economia circular aplicada às cadeias de suprimentos fotovoltaicas

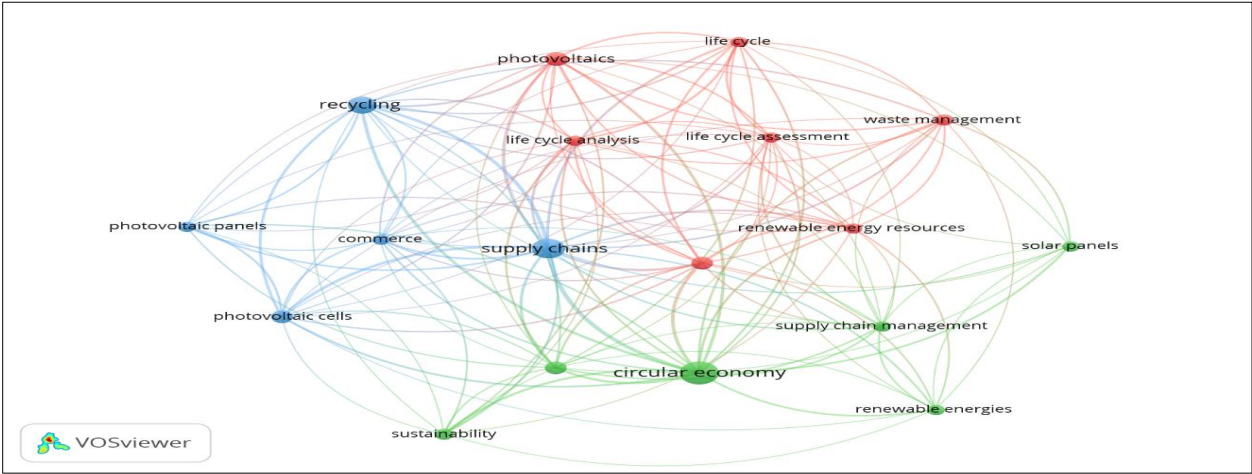
.IMAGEM 2 –Principais Autores

Verify selected authors			
Selected	Author	Documents	Total link strength
☒	ovaitt, s.	2	10
☒	radavičius, t.	2	9
☒	amezquita garcia, j.a.	1	8
☒	antúñez-garcía, j.	1	8
☒	bravo-zanoguera, m.e.	1	8
☒	flores-fuentes, w.	1	8
☒	murrieta-rico, f.n.	1	8
☒	orduño-osuna, j.h.	1	8
☒	ramírez-hernández, l.r.	1	8
☒	raygoza-limón, m.e.	1	8
☒	trujillo-hernández, q.	1	8

Fonte: VOSviewer (2025)

A Imagem 2 apresenta 11 dos 124 autores identificados na revisão bibliográfica dos 34 artigos selecionados, destacando Ovaïtt, S. como o principal colaborador com dois documentos publicados. A análise da frequência e força de conexão entre autores, processada pelo VOSviewer, permite mapear redes colaborativas, identificar líderes de pesquisa e centros de excelência, bem como inferir o grau de maturidade do tema, ainda em expansão, mas com grupos consolidados atuando em tópicos como economia circular, reciclagem de módulos fotovoltaicos e cadeias de suprimento sustentáveis. Além de evidenciar relações interdisciplinares e internacionais, essa visualização orienta futuras investigações, potenciais parcerias e o direcionamento estratégico de estudos, fornecendo insights valiosos sobre a dinâmica, relevância e evolução da produção científica na área.

IMAGEM 3 - Principais palavras chave



Fonte: Autor (2025)

A Imagem 3, apresenta a análise das palavras-chave mais frequentes nos 34 artigos do portfólio, destacando 16 termos centrais entre 631 identificados, processados pelo

VOSviewer. Termos como “*circular economy*”, “*supply chains*” e “*recycling*” evidenciam a centralidade da sustentabilidade, da gestão eficiente de materiais e da integração sistêmica nas cadeias de suprimentos fotovoltaicas, enquanto palavras relacionadas à tecnologia, ciclo de vida e energias renováveis refletem o caráter multidisciplinar da literatura. A análise de frequência e do *Total Link Strength* permite mapear conexões, núcleos temáticos e lacunas de pesquisa, identificando oportunidades para estudos futuros em reciclagem de módulos solares, otimização de cadeias e desenvolvimento de soluções sustentáveis. Dessa forma, o mapeamento das palavras-chave fornece uma visão estratégica da produção científica, integrando teoria, tecnologia e práticas aplicáveis à economia circular no setor de energia solar.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como consideração final, pode-se afirmar que a análise bibliométrica dos 34 artigos evidenciou o amadurecimento progressivo da pesquisa sobre Cadeia de Suprimentos Circular no setor de energia solar, identificando tendências, lacunas e oportunidades estratégicas. O crescimento da produção científica, a consolidação de redes de colaboração entre autores e instituições, a centralidade de conceitos como economia circular, cadeias de suprimentos e reciclagem, bem como a presença de grupos temáticos especializados, demonstram que o campo está em expansão, com relevância global e potencial para inovações tecnológicas e práticas sustentáveis. O mapeamento de autores, palavras-chave e redes colaborativas fornece subsídios importantes para orientar futuras investigações, fortalecer parcerias interdisciplinares e embasar políticas públicas e investimentos tecnológicos, consolidando a base teórica e prática necessária para promover eficiência, sustentabilidade e integração sistêmica nas cadeias de suprimentos fotovoltaicas.

7 REFERÊNCIAS

- AMROLLAHI BIYOUKI, M. et al. Photovoltaic waste management: challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 180, p. 113–121, 2024.
- ARAÚJO, J. Transição energética e sustentabilidade: uma análise conceitual. São Paulo: Editora Energia, 2014.
- BERTRAND, J. Energy dependence and environmental impacts of fossil fuels. *Energy Policy*, v. 156, p. 112–126, 2021.
- CANÇÃO, R. et al. Circular supply chains in the photovoltaic sector: opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, v. 421, p. 138–152, 2023.

CASTRO, R. et al. Políticas públicas e inovação tecnológica em energia. *Renewable Energy Journal*, v. 145, p. 110–123, 2020.

DEMIR, M.; YAKIŞIK, A. Energy transitions and sustainable development. *Energy Reports*, v. 10, p. 55–67, 2024.

DOOLEY, K. Technological change and energy systems. *Energy Policy*, v. 26, n. 6, p. 431–440, 1998.

FRESSOZ, J. B. História da energia e sociedade. Paris: Editions EHESS, 2014.

FRAME, D.; ET AL. Energy innovation under regulatory frameworks: lessons from the UK. *Energy Policy*, v. 121, p. 115–127, 2018.

HOU, P.; RAMALHO, M. Transitions in energy systems: barriers and incentives. *Energy Reports*, v. 10, p. 75–88, 2024.

IEA – International Energy Agency. *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA, 2023.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva: IPCC, 2023.

IRENA – International Renewable Energy Agency. *Global Renewables Outlook 2020*. Abu Dhabi: IRENA, 2020.

IRENA – International Renewable Energy Agency. *Renewable Capacity Statistics 2023*. Abu Dhabi: IRENA, 2023.

Este serviço não pôde ser pesquisado porque você não está conectado à Internet. Conecte-se à Internet e tente novamente.

OLIVEIRA, L. et al. End-of-life management of solar photovoltaic panels: global scenarios and policies. *Waste Management*, v. 168, p. 25–38, 2024.

OLIVEIRA, L. Gestão de sistemas energéticos e inovação regulatória. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

RITCHIE, H.; ROSADO, M. Global CO₂ emissions from fossil fuels. *Our World in Data*, 2022. Disponível em: <https://ourworldindata.org>

SOUZA, R. et al. Global solar photovoltaic market outlook: growth trends and projections. *Renewable Energy*, v. 229, p. 1120–1135, 2024.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva: IPCC, 2023.

JONES, M. et al. Global temperature trends and climate risk analysis. *Climate Dynamics*, v. 61, p. 2101–2118, 2023.

KHAJEHPOUR, M.; ET AL. Energy transition and technological innovation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 146, p. 111–126, 2020.

NAÇÕES UNIDAS. Acordo de Paris sobre mudanças climáticas. Paris: ONU, 2015.

PAVITT, K. Sectoral patterns of technological change: towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, v. 13, n. 6, p. 343–373, 1984.

SMIL, V. *Energy transitions: history, requirements, prospects*. Santa Barbara: ABC-CLIO, 2010.

SOVACOO, B. K. The history and politics of energy transitions. *Energy Policy*, v. 99, p. 229–234, 2016.