



A APLICAÇÃO TECNOLÓGICA PARA A PROMOÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

The technological application for the promotion of sustainability

Simone Kudznir Renzcherchen¹, Maurício João Atamanczuk¹,
Myller Augusto Santos Gomes¹ e Aldo Siatkowski¹
¹ State University of Midwest, Brazil,
E-mail: si.kczr@gmail.com, matamanczuk@unicentro.br,
myller_3@hotmail.com, siatkowski.aldo@gmail.com

RESUMO

Esse estudo buscou relacionar os temas nanotecnologia e sustentabilidade. O objetivo foi rastrear e apresentar a propensão da produção científica em relação à temática da nanotecnologia, bem como sua relação com a gestão de resíduos, para permear em torno dos desafios sustentáveis. Para isso, foi realizado um levantamento bibliométrico nos anos de 2016 a 2020, com auxílio do *software VOSviewer*, efetuada nas bases de dados da *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*. As discussões se deram acerca dos principais autores citados em cada base, os temas mais buscados, e as relações entre os temas dentro de cada base de dados. Com relação as autorias, não foi possível identificar autores específicos, já que o este estudo se desdobrou pela utilização de *clusters* contendo autores que discutiram temas semelhantes dentro de cada base de dados, os quais apresentaram estudos voltados para a nanotecnologia. No que referem aos temas, nas três bases destacou-se a nanotecnologia, com maior volume de publicações no ano de 2018 na base da *Web of Science*. Quanto aos autores, na *Science Direct* destacaram-se Neeraj Dilbaghi e Ki-hyum, na *Scopus* Ye Wang e na *Web of Science* foi A. Saleh e Ki-Hyun Kim. Relacionada aos resíduos, foi observado que recentemente em todas as bases evidencia-se o tratamento das águas residuais, e nas bases *Scopus* e *Web of Science*, a nanotecnologia relaciona-se com a biodegradabilidade. No entanto, ainda existem lacunas quanto às nanotoxinas ao meio ambiente e a saúde humana, bem como de pesquisas que tratam dos temas as conjunto.

Palavras-chave: Nanotecnologia, Sustentável, Gestão de Resíduos.

ACEITO EM: 16/03/2022
PUBLICADO: 15/04/2022



THE TECHNOLOGICAL APPLICATION FOR THE PROMOTION OF SUSTAINABILITY

A aplicação tecnológica para promoção da sustentabilidade

Simone Kudznir Renzcherchen¹, Maurício João Atamanczuk¹,
Myller Augusto Santos Gomes¹ e Aldo Siatkowski¹

¹ State University of Mindwest, Brazil,

E-mail: si.kczt@gmail.com, matamanczuk@unicentro.br,
myller_3@hotmail.com, siatkowski.aldo@gmail.com

ABSTRACT

This study sought to relate the themes of nanotechnology and sustainability. The objective was to track and present the propensity of scientific production in relation to the theme of nanotechnology, as well as its relationship with waste management, to permeate around sustainable challenges. For this, a bibliometric survey was carried out in the years 2016 to 2020, with the aid of the VOSviewer software, carried out in the Science Direct, Scopus and Web of Science databases. Discussions took place about the main authors cited in each database, the most sought-after themes, and the relationships between the themes within each database. Regarding authorship, it was not possible to identify specific authors, as this study was developed by the use of clusters containing authors who discussed similar themes within each database, who presented studies focused on nanotechnology. Regarding the themes, in the three bases, nanotechnology stood out, with the highest volume of publications in 2018 in the Web of Science base. As for authors, Neeraj Dilbaghi and Ki-hyum stood out in Science Direct, in Scopus Ye Wang and in Web of Science it was A. Saleh and Ki-Hyun Kim. Related to waste, it was observed that recently in all bases the treatment of waste water is evidenced, and in the Scopus and Web of Science bases, nanotechnology is related to biodegradability. However, there are still gaps regarding nanotoxins to the environment and human health, as well as research that addresses the issues together.

Keywords: Nanotechnology; Sustainable; Waste Management.

INTRODUÇÃO

Com o aumento demográfico estimado pelas Organizações das Nações Unidas [ONU] (2019) o desenvolvimento de tecnologias livres de poluição para remediação ambiental e fornecimento de energia limpa para o crescimento sustentável da sociedade humana tornou-se imperativa, sendo que tecnologias limpas e verdes com benefícios significativos para a saúde e o meio ambiente, como a nanotecnologia, podem ser uma das formas de desenvolvimento (Khan, 2020). A nanotecnologia está relacionada a processos que envolvem o projeto, a fabricação e aplicação de materiais em escalas que estão dentro do intervalo nanométrico, geralmente considerado de cerca de 1 a 100 nm, e em algumas vezes estendida até perto de 1000 nm, tendo propriedades diferentes dos materiais convencionais devido às suas dimensões menores (McClements, 2020).

A nanotecnologia é uma tecnologia emergente que pode contribuir para o campo científico como iniciativa comercial com benefícios econômicos globais (Haider & Kang, 2018), com um campo multidisciplinar (Rizvi & Saleh, 2018), que é interdisciplinar (Duhan *et al.*, 2017) e que está ainda em fase de desenvolvimento (Das *et al.*, 2017). Para a sustentabilidade ela é mais encontrada nos tratamentos das águas residuais (Anjum *et al.*, 2016; Adeleye *et al.*, 2016) e no setor agrícola (Prasad, Bhattacharyya & Nguyen 2017; e Zhu & Xu, 2016). A nanotecnologia sustentável tem feito contribuições substanciais no fornecimento de água livre de contaminantes para a humanidade, uma vez que contribui para a sustentabilidade em água limpa pode ser alcançada, embora isso ainda seja um desafio (Nagar & Pradeep, 2020).

No entanto, devido aos riscos ao meio ambiente que ainda precisam ser analisados, a nanotecnologia sustentável requer uma estrutura de governança de risco adequada e com base científica para apoiar a inovação, que inclua a avaliação de risco ambiental (ERA) (Svendsen *et al.*, 2020). Apesar de seus vários benefícios já comprovados, ela oferece riscos para o meio ambiente devido a modificação genética, que ocasiona ainda possíveis efeitos tóxicos para o corpo humano, sobre os quais não há certezas científicas (Luciano, 2020). Devido a estes riscos, principalmente das nanopartículas, a ISO TC229 foi analisada como um modelo de autorregulação para gerenciar riscos nanotecnológicos no Brasil (Engelmann, Hupffer & Von Hohendorff, 2020).

Embora a nanotecnologia seja ainda uma lacuna quanto a suas toxidades devido a suas propriedades físico-químicas inseparáveis e as interações biológicas imprevisíveis, que geram preocupações em relação à saúde pública e ao meio ambiente, a nanotecnologia verde oferece um conjunto de princípios para maior eficiência e menores riscos (Mohanta & Ahmaruzzaman, 2020). Uma vez que o conceito de nanotecnologias sustentáveis se refere ao desenvolvimento de nanoestruturas e nanodispositivos a partir de matérias-primas renováveis, facilitam a implementação de soluções tecnológicas inovadoras e contribuem para determinar um *feedback* positivo na avaliação do ciclo de vida de nanomateriais (Selva, 2020).

Esse estudo, portanto, teve como objetivo, rastrear e apresentar a propensão da produção científica em relação à temática da nanotecnologia, bem como sua relação com a gestão de resíduos, para permear em torno dos desafios sustentáveis. Para isso, foi realizado um levantamento bibliométrico nos anos de 2016 a 2020, com auxílio do *software VOSviewer*, efetuada nas bases de dados da *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*.

1. NANOTECNOLOGIA E OS DESAFIOS NA BUSCA DE SUSTENTABILIDADE

A nanotecnologia engloba diversos campos de atuação, podendo ser encontrada na biologia, física, química e ciências dos materiais, além de desenvolver novos materiais nanométricos terapêuticos para aplicações biomédicas e farmacêuticas (Kuppusamy *et al.*, 2016). A nanotecnologia é uma nova ciência multidisciplinar que se utiliza da tecnologia criada a partir da manipulação de pequenas partículas de materiais buscando a obtenção de novas e únicas e pode trazer soluções de forma econômica, ecológica e social, podendo participar de processos de busca da sustentabilidade (Aljenbaz & Çağnan, 2020). Entre os benefícios potenciais da nanotecnologia foram documentados por muitos fabricantes de alto e baixo nível, sendo que produtos comercializáveis já estão sendo produzidos em massa, como microeletrônica, aeroespacial e farmacêutica (Khan, Saeed & Khan, 2017).

A nanotecnologia pode ser relacionada a sustentabilidade na busca da utilização de materiais que busquem minimizar possíveis riscos ambientais e à saúde humana, incentivando ainda a substituição de produtos existentes por produtos nano mais ecológicos (Agboola *et al.*, 2020). Neste caso, as aplicações da nanotecnologia buscam

resolver problemas ambientais reduzindo o consumo geral de energia durante o processo de síntese e fabricação, a capacidade de reciclar produtos após o uso e de desenvolver e usar materiais ecológicos (Khan, 2020).

Destacam-se dois aspectos da nanotecnologia sustentável como importantes, sendo o primeiro os nanoproductos que fornecem soluções aos desafios ambientais como por exemplo evitar danos poluentes, utilização de tecnologias que permitam água potável limpa ou ainda produtos que permitam dispositivos sofisticados de detecção e monitoramento de poluentes perigosos, patógenos de plantas e outras toxinas (Karn & Bergeson, 2009). Já o segundo aspecto envolve produção de nanomateriais e produtos com objetivo de minimizar os à saúde humana ou ambiente sendo utilizado por meio de processos de criação de novos nanomateriais mais sustentáveis evitando a dependência de processos atuais que resultem em poluentes, como por exemplo produtos que gerem menos resíduos ou produtos que usem menos materiais, sejam mais leves para transportar, gerando assim economias de energia e combustíveis (Karn & Bergeson, 2009).

Existem várias aplicações de nanomateriais buscando produtos mais sustentáveis que já foram implementadas, enquanto outras podem chegar em breve ao mercado, todavia ressaltam que no momento não está claro como medir a sustentabilidade sendo necessário ainda estudos que identifiquem quadros completos com os benefícios e implicações negativas principalmente as relacionadas à segurança desses materiais uma vez que estímulos externos podem representar riscos adicionais para a saúde humana e o meio ambiente (Gottardo *et al.*, 2021).

A nanotecnologia ainda está direcionada para a sustentabilidade do abastecimento alimentar moderno, criando nanopesticidas e nanofertilizantes para melhorar a produtividade e reduzir o desperdício associado à produção agrícola, e está sendo usada para converter materiais residuais em mercadorias, como materiais de embalagem à base de plantas para substituir os plásticos, assim contribuindo para a sustentabilidade (McClements, 2020). Ainda no setor agrícola, a nanotecnologia pode contribuir para o setor agroalimentar por meio de diagnóstico e gestão de doenças, entrega de pesticidas-nanocidas, incluindo pesticidas verdes e biopesticidas, liberação lenta e sustentada de micronutrientes e fertilizantes, entre outras opções (Acharya & Pal, 2020).

Na agricultura, ela pode ser aplicada também como nanofertilizantes e nanopesticidas, para rastrear os níveis de produtos e nutrientes no intuito de elevar a produtividade sem contaminar os solos, águas e exercendo proteção contra várias pragas de insetos e doenças microbianas (Prasad, Bhattacharyya & Nguyen, 2017). A aplicação da nanotecnologia visando a sustentabilidade na produção de nanopesticidas e nanofertilizantes que podem ser utilizados para melhorar rendimentos, reduzir perdas, melhorar a qualidade e diminuir a poluição associados à produção de culturas agrícolas (McClements, 2020). Seu uso pode ser utilizado para converter substâncias, isolando materiais residuais em produtos comerciais de valor agregado, reduzindo o desperdício e estimulando a economia (McClements, 2020).

Devido às múltiplas áreas de atuação da nanotecnologia, é necessário avançar no desenvolvimento de nanomateriais ambientalmente sustentáveis e seguros, agrupando os princípios da química verde durante sua síntese e em suas aplicações (Garcia-Quintero & Palencia, 2021). No entanto, os nanomateriais inteligentes tem elevada complexidade e comportamento dinâmico, o que passa a ser considerado um grande desafio para a avaliação de segurança e sustentabilidade (Gottardo *et al.*, 2021). Os autores explicam ainda a existência de um Acordo Verde Europeu, para atingir uma economia sustentável, justa e inclusiva, que é um novo Plano de Ação da Comissão Europeia para uma Economia Circular, uma nova Estratégia Industrial Europeia e a Estratégia Química para a Sustentabilidade.

Atualmente a nanotecnologia é promissora para resolução de problemas de sustentabilidade, mas é impossível ignorar os efeitos adversos dos nanomateriais no meio ambiente e na saúde humana, pois tem alto desempenho e baixo custo na nano-remediação, mas exige pesquisas avançadas para compreender e prevenir os impactos ambientais adversos (Khan, 2020). Seu campo de atuação vasto, necessita de mais estudos para compreender seus impactos à sociedade e ao meio ambiente, como é o caso da utilização das nanopartículas. Contudo ainda é preciso avançar nas questões de segurança no desenvolvimento de materiais a partir de nanopartículas, uma vez que isso ainda não é bem compreendido necessitando ainda abordagens de segurança e sustentabilidade assim como questões sociais e éticas (Gottardo *et al.*, 2021).

2. METODOLOGIA

Explorar a realidade atual e as perspectivas evolutivas de determinada intenção de pesquisa são umas das prerrogativas da revisão sistemática da literatura e análise bibliométrica, com base nisto, esta pesquisa utilizou-se de um protocolo de pesquisa baseado em materiais já publicados e encontrados por meio de busca sistemática nas bases de dados aplicando critérios para melhor seleção dos artigos com delimitação temporal de 2016 a 2020 devido ao fenômeno contemporâneo investigado, o emprego de critérios pré-definidos contribuiu para sistematização das investigações permitindo classificar os artigos pela relevância científica através da intenção de pesquisa. as etapas utilizadas são descritas a seguir:

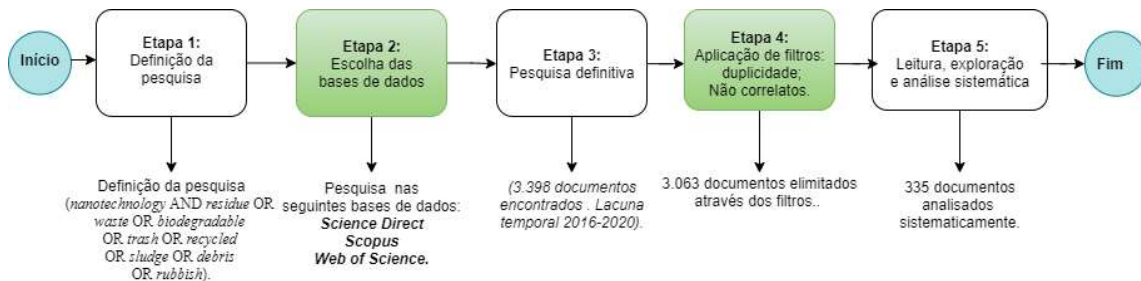
Fase 1 - definição da pesquisa através das combinações de palavras-chaves: *nanotechnology and residue or waste or biodegradable or trash or recycled or sludge or debris or rubbish*.

Fase 2 – escolha dos bancos de dados: “*Science Direct, Scopus e Web of Science*”.

Fase 3 – pesquisa definitiva: 3.398 documentos encontrados.

Fase 4 - forma de filtragem: foram usados para eliminar artigos duplicados; artigos não relacionados ao tema, apoiados pelos *softwares JabRef e Zotero*.

Figura 1: Resultados da aplicação das buscas nas bases de dados.



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Fase 5 - Leitura e sistematização da análise dos artigos: mapeamento bibliométrico e análise de conteúdo foram utilizados para avaliar os artigos.

Na análise quantificada foi empregada a estatística descritiva de frequência, média e proporção. Para isso, foi utilizado como ferramenta planilhas eletrônicas que atuam com dados quantitativos transformando-os em informações por meio de tabelas, quadros, figuras e gráficos que permitiram uma melhor visibilidade dos resultados quantitativos obtidos. Ainda, para compreender melhor a relevância das temáticas abordadas, foram realizadas análises cruzadas considerando o tema como variável principal e as seguintes variáveis secundárias: a frequência dos anos de publicação; o número de artigos por autor; o número de publicações por periódico e; o número de artigos por instituição. A análise qualitativa buscou descrever ainda, o tema abordado citando suas principais características e aplicações. Para isso foi utilizado o *software VOSviewer* como ferramenta de construção e visualização de redes bibliométricas.

A ferramenta de mineração de texto e visualização *VOSviewer* permite a criação de mapas baseados nas ocorrências e co-ocorrências a partir de arquivos provenientes da pesquisa de diversas bases de dados, neste caso *Web of Science, Scopus e Science Direct*. O *VOSviewer* possibilita a criação de clusters de que se apresentam visualmente em áreas com maior intensidade de publicação, autores ou termos de busca, e com isso fornece indícios de possível crescimento científico de acordo com a amplitude dos *clusters*. Logo, o *cluster* pode ser um grupo de atividades semelhantes que se desenvolvem em conjunto, por isso os termos que pertencem ao mesmo cluster são considerados semelhantes entre si, perfazendo o *VOSviewer* uma ferramenta de fundamental importância para análise bibliométricas.

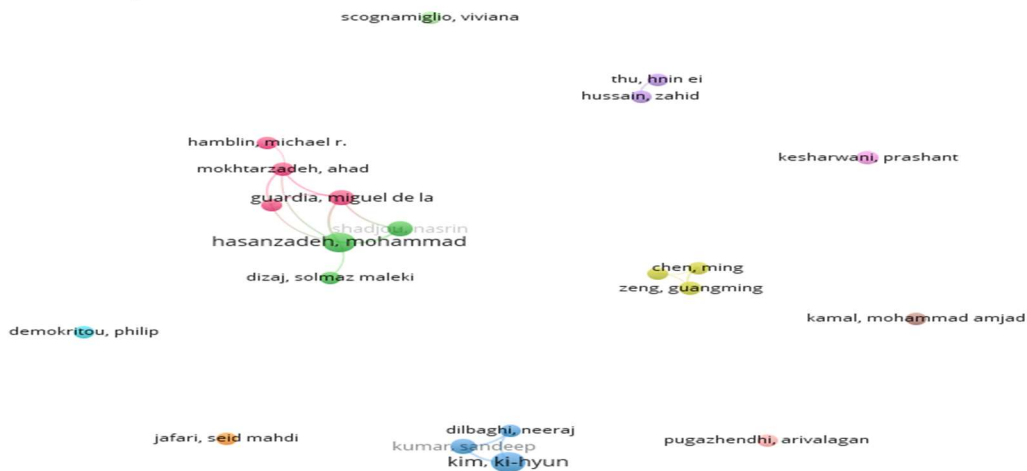
3. RESULTADOS

Para compreensão dos resultados, realizou-se uma análise entre os anos de 2016 e 2020 representadas por redes bibliométricas com apoio do *software VOSviewer* nas três bases de dados utilizadas nesta pesquisa: *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*. Esta análise proporciona o entendimento de quais temas são mais publicados em cada base de dados, quais os principais autores sobre os temas em separados ou em conjunto, os anos de maiores volumes de publicações e como a nanotecnologia pode contribuir na gestão de resíduos para promover a sustentabilidade por meio da junção dos temas.

3.1 Autores

Dentre os autores mencionados pela *Science Direct*, foram encontrados 11 *clusters* com os 21 autores. No *cluster* 1 são 04 autores: Behzad Baradaran, Miguel de La Guardia, Michael R. Hamblin, Ahad Mokhtarzadeh. No *cluster* 2, 3 e 4 são 03 autores: Solmaz Maleki Dizaj, Mohammad Hasanzadeh, Nasrin Shadjou no *cluster* 2; Neeraj Dilbaghi, Ki-hyum Kim, Sandeep Kumar no *cluster* 3; e Ming Chen, Guangming Zeng, Wei Zhang no *cluster* 4. O *cluster* 5 tem 02 itens: Zahid Hussain e Hnin Ei Thu. Os demais *clusters* contam com 01 autor em cada um: *cluster* 6 Philip Demokritou, *cluster* 7 Seid Mahdi Jafari, *cluster* 8 Mohammad Amjad Kamal, *cluster* 9 Prashant Kesharwani, *cluster* 10 Arivalagan Pugazhendhi, e por fim no *cluster* 11 Viviana Scognamiglio. Estes dados são apresentados na Figura 1:

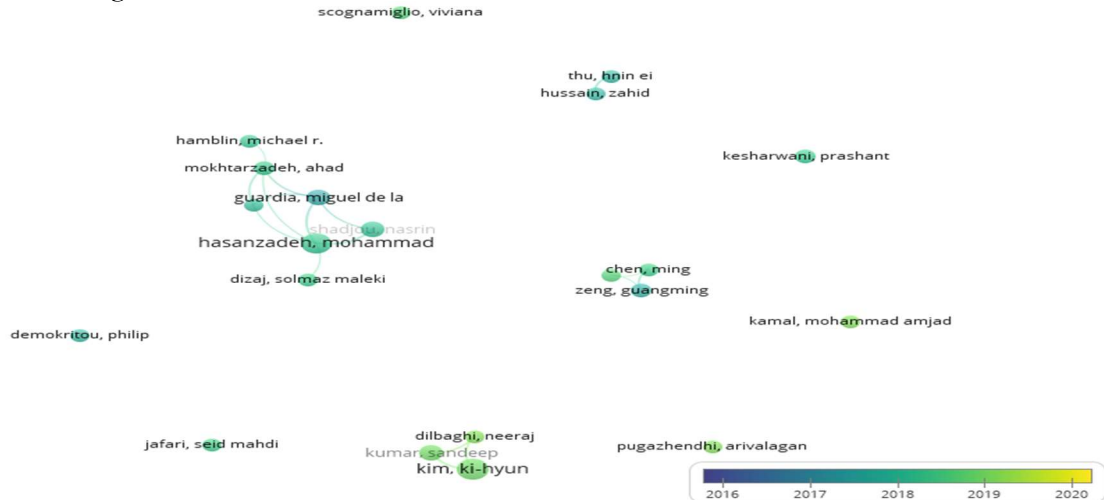
Figura 1: Autores mais citados da base de dados *Science Direct* 2016 a 2020.



Fonte: Os autores.

A Figura 2 apresenta a relação dos autores citados recentemente, em 2020 destaca-se Neeraj Dilbaghi com pesquisa voltada a nanotecnologia para a agricultura visando melhorar a resistência das plantas quanto às pragas como do artigo intitulado *Nanovehicles for Plant Modifications towards Pest- and Disease-Resistance Traits*. Ki-hyum Kim trata do uso da nanotecnologia para tratamento das águas residuais com poluentes a base de petróleo, como no artigo *Nanotechnology-based sorption and membrane technologies for the treatment of petroleum-based pollutants in natural ecosystems and wastewater streams*. Estas pesquisas mencionam a nanotecnologia como tecnologia utilizada para auxiliar no tratamento das águas residuais e voltadas aos impactos ambientais.

Figura 2: Autores citados recentemente da base de dados *Science Direct* 2016 a 2020.



Fonte: Os autores.

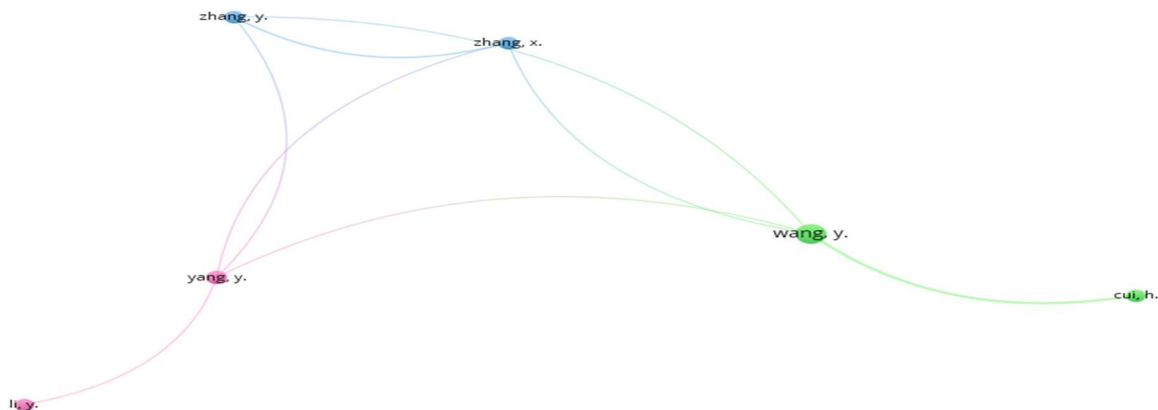
Em 2019 são enfatizados Arivalagan Pugazhendhi, com pesquisa sobre nanotecnologia e as perspectivas no enriquecimento da produção de hidrogênio fermentativo escuro para a utilização de matérias-primas como açúcares e materiais biorresíduos. Mohammad Amjad Kamal, pesquisa como as nanopartículas podem ser administradas em medicações para o câncer. Wei Zhang pesquisa sobre nano vacinas para respostas imunológicas eficientes. Já, Sandeep Kumar realizaram pesquisas sobre gerenciamento do câncer com abordagens nanoterapêuticas.

No ano de 2018 destacam-se os autores Seid Mahdi Jafari que pesquisa sobre nanoencapsulação nas áreas de alimentos e nutracêutico. Viviana Scognamiglio desenvolveu pesquisas voltadas a nanotecnologia para a agricultura sustentável como. Michael R. Hamblin pesquisa sobre nanomedicina. Ahad Mokhtarzadeh e Behzad Baradaran também estudam a nanotecnologia na medicina para tratamento de câncer. Mohammad Hasanzadeh traz estudos sobre nano-antioxidante para evitar toxinas no meio ambiente. Solmaz Maleki Dizaj apresentou pesquisas sobre a aplicação da nanotecnologia para carie dentária. Hnin Ei Thu e Zahid Hussain estudaram sobre nanotecnologia na medicina para o tratamento e prevenção do câncer. Guangming Zeng destacou suas pesquisas com a nanotecnologia na agricultura para reduzir escoamento de pesticidas no meio ambiente.

Em 2017 foram poucos autores como Nasrin Shadjou que pesquisou sobre nanomateriais na área da medicina. Guangming Zeng desenvolveu pesquisa sobre como as nanopartículas podem ser absorvidas pelas plantas e seus impactos na fitorremediação. As pesquisas que apresentam soluções ambientais como sobre a absorção das nanopartículas pelas plantas, contribuem para compreender o impacto e a solução da geração de resíduos vinculados a estas novas tecnologias. Miguel de La Guardia utiliza a nanotecnologia no diagnóstico em estágio inicial de morte celular e Philip Demokritou por fim, destacou-se por pesquisar para a produção de alimentos de modo sustentável com apoio da nanotecnologia.

A Figura 3 apresenta os autores mencionados pela base de dados da *Scopus*, destacam-se 6 itens de 3 *clusters* distintos. O *cluster* 1 tem 2 autores: Y, Li citado em 05 documentos, Y. Yang em 06 documentos. No *cluster* 2 H. Cui citado em 05 documentos também, Y, Wang em 13 documentos, e no *cluster* 3 X, Zhang e Y, Zhang ambos citados em 05 documentos cada um.

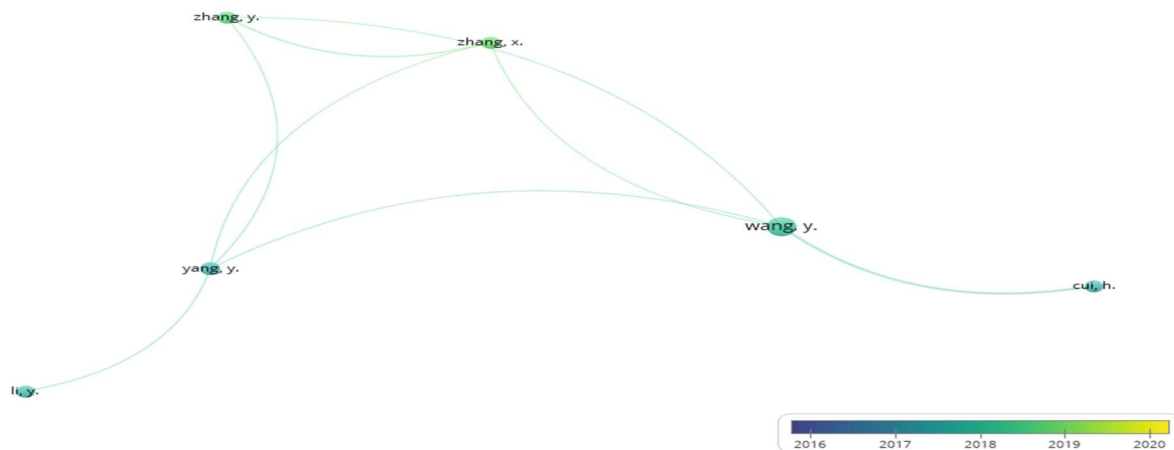
Figura 3: Autores mais encontrados na base de dados *Scopus* 2016 a 2020.



Fonte: Os autores.

Com relação aos autores da base *Scopus* em destaque apresentados na Figura 4, nota-se que os mais citados entre 2018 e 2019 foram Xueji Zhang com pesquisas sobre nanopartículas no DNA e Ying Zhang com pesquisas em nanotecnologia, mas relacionadas a sustentabilidade. Em 2018 destaca-se Ye Wang também com pesquisa sobre a nanotecnologia por meio de nanopartículas para DNA. Os outros três principais autores em suas maiores pesquisas referenciadas entre 2016 e 2017.

Figura 4: Autores citados mais recentemente na base de dados *Scopus* 2016 a 2020.

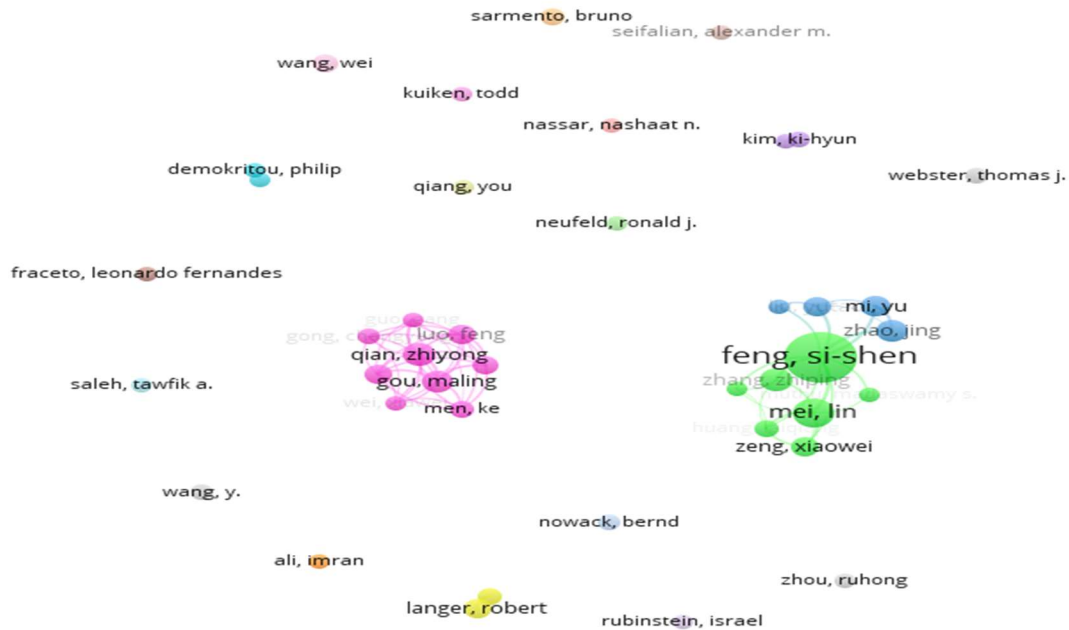


Fonte: Os autores.

A Figura 5 apresenta que dentre os autores mencionados pela *Web of Science* foram encontrados 21 *clusters* com os 41 autores mais buscados nas pesquisas da base de dados. No *cluster 1* destacam-se 09 autores: Chang Yang Gong, Maling Gou, Gang Guo, Feng Luo, Ke Men, Zhiyong Qian, Xiawei Wei, Yuquan Wei, Xia Zhao. No *cluster 2* foram 07 autores: Si-shen Feng, Laiqiang Huang, Lin Mei, Madaswamy S. Muthu, Xiaowei Zeng, Zhiping Zhang, Lingyun Zhao. No *cluster 3* foram 04 autores: Yutao Liu, Yu Mi, Jie Pan, Jing Zhao.

Os *clusters 4, 5 e 6* são compostos por 02 autores em cada um. *Cluster 4*: Omid C. Farokhzad, Robert Langer; *cluster 5*: Ki-hyun Kim, Sandeep Kumar; *cluster 6*: Philip Demokritou, Jason C. White. Já os demais *clusters* são compostos apenas por 01 autor em cada: *cluster 7*: Imran Ali; *cluster 8*: Leonardo Fernando Fraceto; *cluster 9*: Todd Kuiken; *cluster 10*: Nashaat N. Nassar; *cluster 11*: Ronald J. Neufeld; *cluster 12*: Bernd Nowack; *cluster 13*: You Qiang; *cluster 14*: Israel Rubinstein; *cluster 15*: Tawfik A. Saleh; *cluster 16*: Bruno Sarmento; *cluster 17*: Alexander M. Seifalian; *cluster 18*: Wei Wang; *cluster 19*: Y. Wang; *cluster 20*: Thomas J. Webster; e *cluster 21*: Ruhong Zhou.

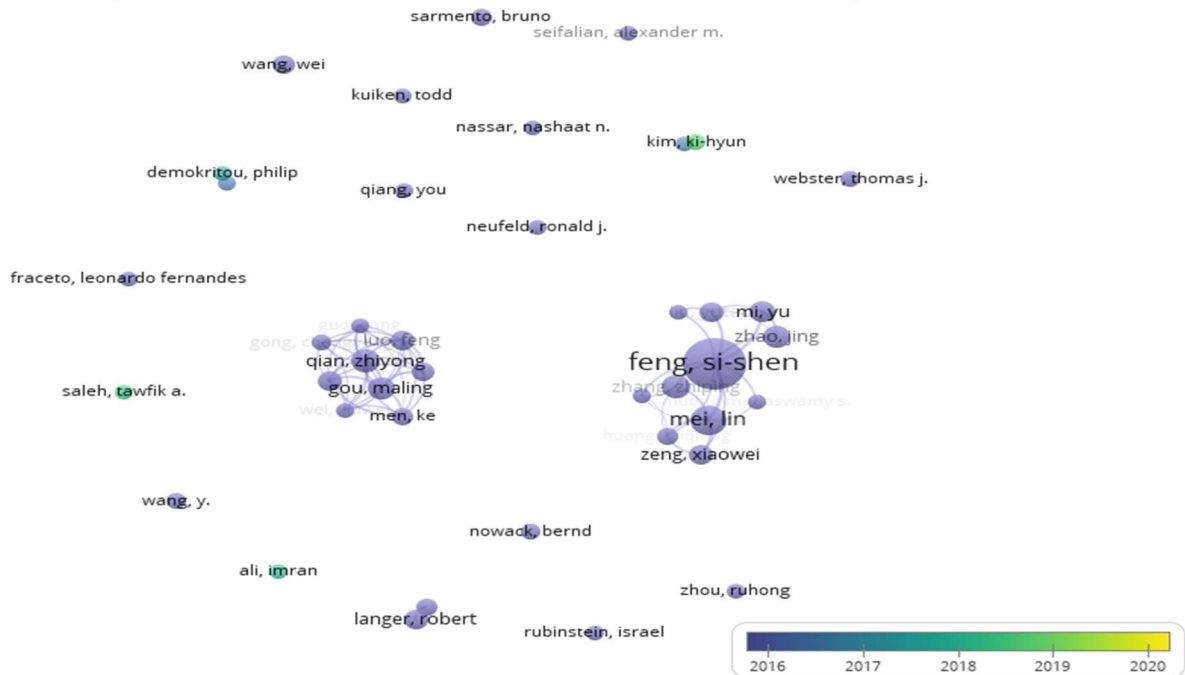
Figura 5: Principais autores da base de dados *Web of Science* 2016 a 2020.



Fonte: Os autores.

Quanto aos autores mais citados recentemente, pela Figura 6 nota-se que em 2019 foram apenas 02 em áreas distintas de pesquisa: Tawfik A. Saleh pesquisa sobre o efeito da temperatura de calcinação sobre a atividade de catalisadores de hidrodessulfurização com utilização de nanopartículas e Ki-Hyun Kim sobre os biomateriais baseados em nanotecnologia para aplicações ortopédicas da área da medicina. Um pouco antes disso, em 2018 destaca-se sobre nanotecnologia em pesticidas, tratamento da água e poluentes do meio ambiente. Os demais autores apresentam maior número de artigos publicados em anos anteriores a 2017.

Figura 6: Autores mais utilizados recentemente da base de dados *Web of Science* 2016 a 2020.



Fonte: Os autores.

Quanto aos autores citados recentemente pelas bases de dados, na *Science Direct* destacou-se em 2020 com tema de nanotecnologia Neeraj Dilbaghi na área da agricultura e Ki-hyum para tratamento das águas

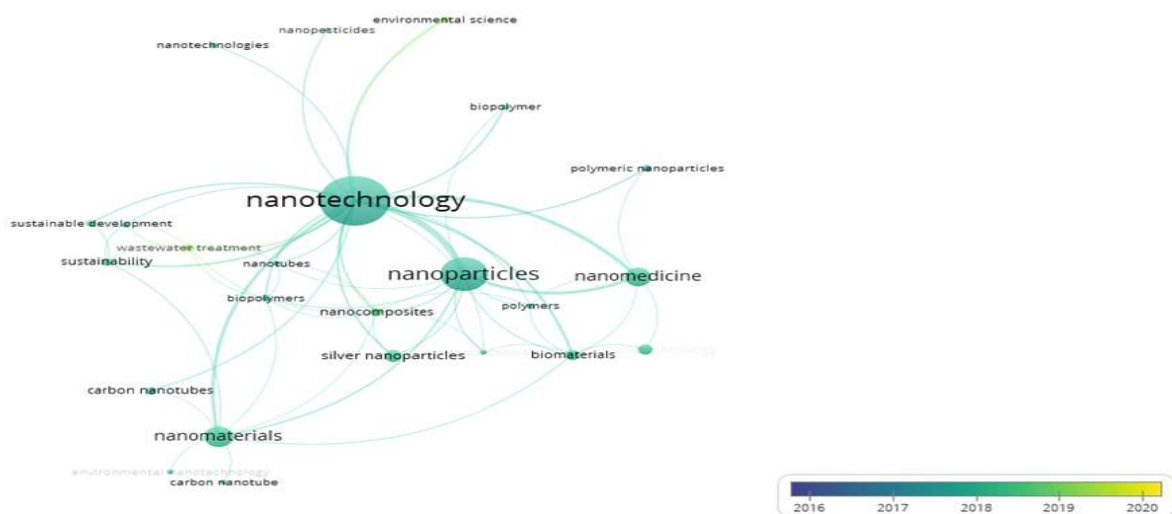
residuais. Em 2019 nesta mesma base de dados os autores se destacaram com pesquisas sobre nanotecnologia na área da medicina e farmacêutica para tratamento de câncer. Na base *Scopus* destacaram-se autores que pesquisam sobre nanotecnologia e sustentabilidade, mas as pesquisas não estão relacionadas entre si, onde o autor mais citado foi Ye Wang abordando a nanotecnologia na medicina. Já na *Web of Science* foi a nanotecnologia nas áreas da medicina e meio ambiente com os autores Tawfik A. Saleh e Ki-Hyun Kim.

3.2 Temas

Dentre os temas abordados nesta pesquisa realizou-se a construção de redes de relacionamento das palavras-chave dos artigos para estabelecer uma análise complementar. Salienta-se que nanotecnologia, gestão de resíduos e sustentabilidade estão em pontos de maior destaque nas redes por serem termos chaves de busca e seleção dos artigos da amostra. A partir da análise foi possível compreender a relação destes com os outros temas associados ao desenvolvimento e/ou emprego da nanotecnologia nas publicações mais recentemente nas três bases de dados analisadas: *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*.

Na Figura 7 observa-se que o tratamento das águas residuais e as ciências do meio ambiente são mais recentes nas pesquisas. É importante salientar que, apesar dos resultados considerados neste estudo apresentarem apenas a relação mais recente destes temas, este é muito pesquisado. Khan, Saeed e Khan (2017) ressaltaram que a nanotecnologia vem sendo analisada desde o século passado, com ênfase nas nanopartículas que continuaram a ser objeto de pesquisa na atualidade na tentativa de compreender seus benefícios e malefícios à natureza e a sociedade. Ainda observa-se que nesta base de dados, a sustentabilidade, o desenvolvimento sustentável e a nanotecnologia encontram-se entre os temas mais pesquisados em 2018 contendo relações com os nanomateriais e com o tratamento das águas residuais, este último com ênfase em pesquisas no ano de 2019.

Figura 7: Termos de pesquisas mais recentes da base de dados *Science Direct*.



Fonte: Os autores.

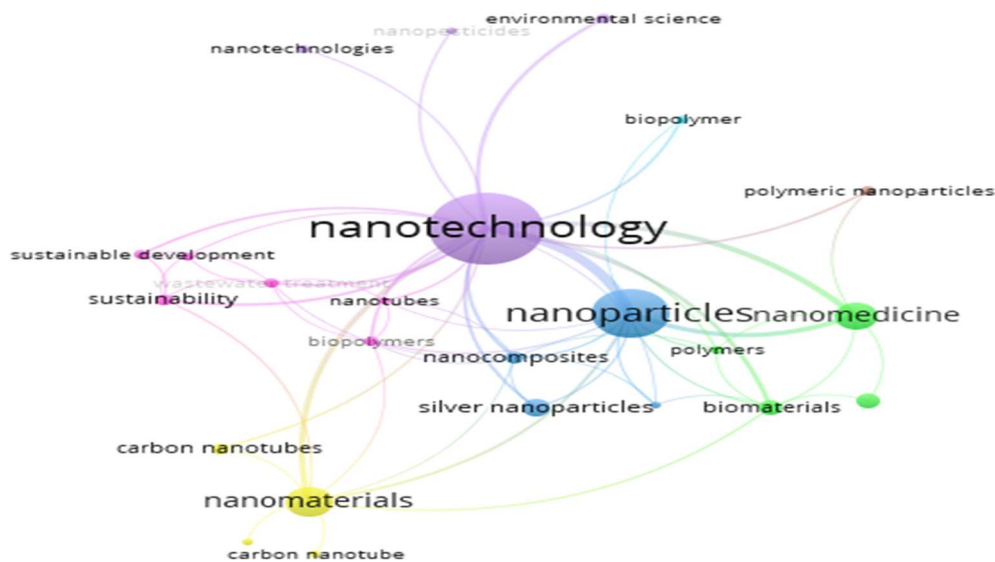
Com relação a base da *Scopus*, a figura 8 apresenta dados que destacam pesquisas sobre nanopartículas de ferro como termos mais trabalhados em 2019. Já os termos nanopartículas de metal, tratamento das águas residuais, impactos no meio ambiente, polímeros biodegradáveis e nanotecnologia médica foram mais pesquisados em 2018.

3.3 Utilização da nanotecnologia na gestão de resíduos para a sustentabilidade e suas principais áreas de aplicabilidade

Para um melhor entendimento de como a nanotecnologia foi utilizada em resíduos, seja na reestruturação da produção de materiais que evita a geração ou na gestão dos resíduos gerados, esta pesquisa buscou compreender como os temas se intercalam dentro de cada base de dados e na pesquisa como um todo. Além disso, esta análise proporcionou a compreensão de que as principais áreas de aplicabilidade da nanotecnologia, já que dos temas abordados para as buscas desta pesquisa, a nanotecnologia foi a que obteve maior destaque como tema principal dos artigos identificados. Os demais temas são tratados de forma complementar a nanotecnologia. A partir das buscas na base de dados *Science Direct* notou-se quais são os termos mais citados nesta base, quais termos estão relacionados com nanotecnologia, com a sustentabilidade, desenvolvimento sustentável, totalizando 25 itens divididos em 9 *clusters*.

O *cluster* 1, apresentado Figura 10, tem 06 itens que relacionam os materiais com o tratamento de águas residuais e o desenvolvimento sustentável a partir dos termos: *biopolymers*, *nanostructured material*, *nanotubes*, *sustainability*, *sustainable development*, e *waste water treatment*. No *cluster* 2 são 04 itens sobre materiais e nanotecnologia voltadas ao DNA na medicina: *biomaterials*, *DNA nanotechnology*, *nanomedicine* e *polymers*. O *cluster* 3 em azul escuro, é composto por 04 itens relacionados as nanopartículas: *nanobiotechnology*, *nanocomposites*, *nanoparticles* e *silver nanoparticles*. Enquanto o *cluster* 4 também composto por 04 itens é voltado os nanomateriais e nanotubos de carbono para a nanotecnologia no meio ambiente: *carbono nanotube*, *carbono nanotubes*, *environmental nanotechnology*, *nanomaterials*. O *cluster* 5 trata-se de 03 itens voltados a nanotecnologia direcionada para as ciências do meio ambiente: *environmental science*, *nanotechnologies*, *nanotechnology*. Enquanto contém apenas 01 item em cada um dos demais *clusters*, sendo: os *clusters* 6 os *biopolymer*; o *cluster* 7 com o termo *Green nanotechnology*; o *cluster* 8 com o termo *polymeric nanoparticle*; e o *cluster* 9 com o termo *nanopesticides*. Estes são apresentados na Figura 11.

Figura 11: Termos mais citados nas buscas da base *Science Direct* de 2016 a 2020.

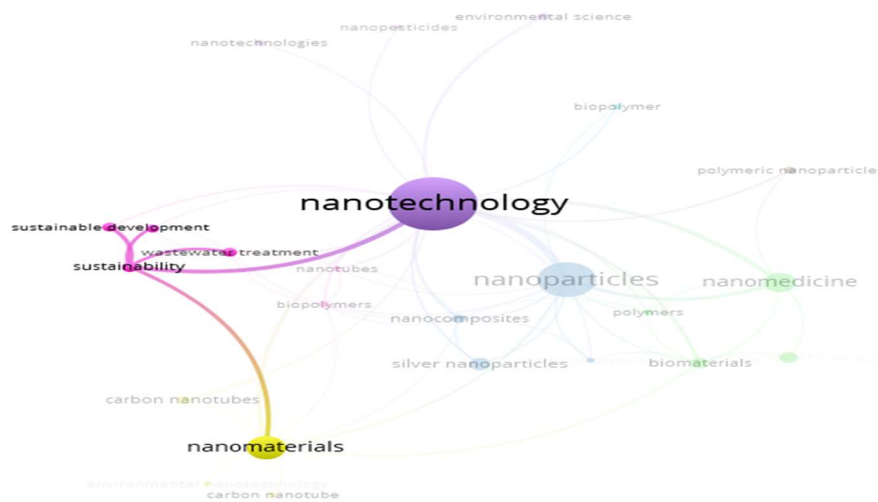


Fonte: Os autores.

Os termos encontrados que contém relações diretas com as palavras-chave desta pesquisa foram sustentabilidade, desenvolvimento sustentável, nanotecnologia e com relação aos resíduos, o mais próximo encontrado foi o tratamento das águas residuais. Estes dados justificam a tratativa dos termos em pares ou isolados, não sendo possível encontrá-los em conjunto. Os demais termos referem-se a gestão de resíduos quanto a sua produção visando gerar resíduos que, ao serem descartados não ocasionem impactos ambientais e contribuam com o desenvolvimento sustentável, por isso os termos: *silver nanoparticles*, *biomaterials*, *nanocomposites*, *nanotubes*, *carbon nanotubes*, *biopolymers* e *polymeric nanoparticle*.

No que se refere a sustentabilidade, na Figura 12 pode-se perceber que ela está relacionada com o desenvolvimento sustentável, tratamento das águas residuais e nanotecnologia e nanomateriais. Conforme ressaltado por Prasad, Bhattacharyya e Nguyen (2017) quando afirmam que a sustentabilidade contém relações com a área de nanotecnologia. Já conforme discutiram Le e Nunes (2016) o tratamento dos resíduos na água podem impactar na sustentabilidade, pois em sua maioria os dejetos das nanopartículas e nanomateriais são descartados no solo e na água, que justifica a ligação dos termos *waste water treatment* e *sustainable development*. Além disso, estes aspectos contribuem para a proposta desta pesquisa de aderir o uso das nanotecnologias que conforme ressaltado por Zhu e Xu (2016) oferecem benefícios a sociedade, como tecnologia de apoio a gestão de resíduos em sua produção e descarte promoção do desenvolvimento sustentável.

Figura 12: Termos sustentabilidade e suas relações na base de dados *Science Direct* de 2016 a 2020.



Fonte: Os autores.

A base de dados da *Scopus* apresentada na Figura 13, resultou em 24 itens divididos em 4 *clusters*. O *cluster 1* é composto por 08 termos relacionados com nanotecnologia no tratamento das águas residuais, seus impactos no meio ambiente e os materiais produzidos a partir de alguma nanotecnologia. Logo seus termos são: *biotechnology*, *environmental impact*, *iron nanoparticle*, *metal nanoparticles*, *nanocomposites*, *nanotechnology*, *silver nanoparticles* e *waste water treatment*. No *cluster 2* também foram encontrados 07 itens que relacionam novamente a nanotecnologia com os materiais biodegradáveis e a área da medicina. Os termos do *cluster 2* são: *biocompatible materials*, *biodegradability*, *biodegradable*, *biodegradable polymers*, *medical nanotechnology*, *nanoparticles*, *polymers*. O *cluster 3* resultou em 05 itens relacionados a estrutura dos materiais, o tratamento das águas residuais, o desenvolvimento sustentável e nanotecnologia. Estes são apresentados com os termos: *biopolymers*, *nanostructured materials*, *nanotubes*, *sustainable development* e *waste water management*. O *cluster 4* contém 04 itens que tratam a estrutura dos materiais e a nanotecnologia voltadas a área da nanomedicina: *carbono nanotubes*, *nanomaterial*, *nanomedicine* e *nanostructures*.

Concluiu-se que a nanotecnologia vem sendo estudada a tempos, como visto pela base da *Web of Science*, e que ela contribui para a gestão de resíduos e promoção da sustentabilidade quando busca soluções para evitar a produção e descarte de resíduos no meio ambiente. No entanto, necessita-se de maiores investigações de sua abordagem científica pela amplitude de aplicações da nanotecnologia, pela carência de pesquisas que comprovem seus benefícios e malefícios ao meio ambiente e a saúde humana, bem como da ampla gama de tipologias dos resíduos.

REFERÊNCIAS

- Acharya, A.; Pal, P.K. Agriculture nanotechnology: Translating research outcome to field applications by influencing environmental sustainability. **NanoImpact**, v. 19, p. 100232, 2020.
- Adeleye, A. S.; Conway, J. R.; Garner, K. L.; Huang, Y.; Su, Y.; Keller, A. A. Engineered nanomaterials for water treatment and remediation: Costs, benefits, and applicability. **Chemical Engineering Journal**, Estados Unidos, v. 286, p. 640-662, fev. 2016.
- Agboola, O. et al. Nanotechnology in wastewater and the capacity of nanotechnology for sustainability. In: **Environmental Nanotechnology Volume 3**. Springer, Cham, 2020. p. 1-45. Aljenbaz, A. Z.; Çağnan, Ç. Evaluation of Nanomaterials for Building Production within the Context of Sustainability. **European Journal of Sustainable Development**, v. 9, n. 1, p. 53-53, 2020.
- Anjum, M. et al. Remediation of wastewater using various nano-materials. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 12, n. 8, p. 4897-4919, 2019.
- Das, B. et al. Green synthesized silver nanoparticles destroy multidrug resistant bacteria via reactive oxygen species mediated membrane damage. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 10, n. 6, p. 862-876, 2017.
- Duhan, J. S. et al. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. **Biotechnology Reports**, v. 15, p. 11-23, 2017.
- Engelmann, W.; Hupffer, H. M.; Hohendorff, R. V. Potential Legal Avenues for Managing the Environmental Risks of Nanotechnology. In: **Sustainable Consumption**. Springer, Cham, 2020. p. 479-494.
- García-quintero, A.; Palencia, M. A critical analysis of environmental sustainability metrics applied to green synthesis of nanomaterials and the assessment of environmental risks associated with the nanotechnology. **Science of The Total Environment**, v. 793, p. 148524, 2021.
- Gottardo, S. et al. Towards safe and sustainable innovation in nanotechnology: State-of-play for smart nanomaterials. **NanoImpact**, v. 21, p. 100297, 2021.
- Haider, A.; Haider, S.; Kang, I. A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 11, n. 8, p. 1165-1188, 2018.
- Karn, B.P.; Bergeson, L.L. Green nanotechnology: straddling promise and uncertainty. **Nat. Resources & Env't**, v. 24, p. 9, 2009.
- Khan, I.; Saeed, K.; Khan, I. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. **Arabian journal of chemistry**, v. 12, n. 7, p. 908-931, 2019.
- Khan, S. H.. Green nanotechnology for the environment and sustainable development. In: **Green materials for wastewater treatment**. Springer, Cham, 2020. p. 13-46.
- Kuppusamy, P. et al. Biosynthesis of metallic nanoparticles using plant derivatives and their new avenues in pharmacological applications—An updated report. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 24, n. 4, p. 473-484, 2016.
- Luciano, A.P. A responsabilidade civil ambiental frente aos riscos sociais, ambientais e laborais associados à nanotecnologia. 2020.

- Mcclements, D. J. Nanotechnology approaches for improving the healthiness and sustainability of the modern food supply. **ACS omega**, v. 5, n. 46, p. 29623-29630, 2020.
- Mohanta, D.; AhmaruzzamaN, M. Addressing nanotoxicity: green nanotechnology for a sustainable future. **The ELSI handbook of nanotechnology: risk, safety, ELSI and commercialization**, p. 103-112, 2020.
- Murshid, S.; Gopinath, K. P.; Prakash, D. G. Current Nanotechnology Based Solutions for Sustainable Wastewater Treatment. **Current Analytical Chemistry**, v. 17, n. 2, p. 166-184, 2021.
- Nagar, A.; Pradeep, T.. Clean water through nanotechnology: needs, gaps, and fulfillment. **ACS nano**, v. 14, n. 6, p. 6420-6435, 2020.
- NATIONS, UNIES. World population prospects 2019: highlights. **UN Dep. Econ. Soc. Aff. Popul. Div**, 2019.
- Prasad, R.; Bhattacharyya, A.; Nguyen, Q.D. Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives. **Frontiers in microbiology**, v. 8, p. 1014, 2017.
- Rizvi, S.AA; Saleh, A.M. Applications of nanoparticle systems in drug delivery technology. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 26, n. 1, p. 64-70, 2018.
- Selva, M. Nanotechnologies for the sustainable valorization of biowastes. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 24, p. 38-41, 2020.
- Svendsen, C. et al. Key principles and operational practices for improved nanotechnology environmental exposure assessment. **Nature Nanotechnology**, v. 15, n. 9, p. 731-742, 2020.
- Zhu, Q.; Xu, Q. Immobilization of ultrafine metal nanoparticles to high-surface-area materials and their catalytic applications. **Chem**, v. 1, n. 2, p. 220-245, 2016.