

Estudo Científico e Patentário de Novas Oportunidades Tecnológicas para o Aproveitamento de Resíduos de Celulose em Escórias Asfálticas

Scientific and Patent Study of New Technological Opportunities for the Utilization of Cellulose Waste in Asphalt Slags

Carlos Augusto Francisco de Jesus Ribeiro¹, Cristina M. Quintella¹

¹Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil

Resumo

A geração de resíduos industriais é um dos muitos desafios enfrentados pela cadeia produtiva de celulose. Novas tecnologias inovadoras estão sendo implementadas para a destinação e reutilização eficiente dos resíduos de celulose, visando não apenas reduzir o volume de aterros dentro da própria indústria, mas também promover práticas sustentáveis e contribuir para a preservação ambiental. Este artigo teve como objetivo analisar o cenário científico e patentário relacionado ao uso de resíduos de celulose em combinação com escória, utilizando as bases científicas Web of Science e Scopus, além da base tecnológica de patentes Orbit. A análise identificou 140 publicações científicas nas bases Web of Science e Scopus, e 2.003 famílias de patentes na base Orbit. Os resultados mostram aumento no número de publicações científicas e redução no depósito de patentes nos últimos sete anos, a partir de 2017. As principais palavras-chave associadas às patentes e às publicações científicas são “Slag”, “Raw Material” e “Fly Ash”. A China se destaca como o principal país de origem dessas produções. Os achados indicam a viabilidade do desenvolvimento de um novo composto asfáltico utilizando resíduos de celulose, com estabilidade, durabilidade e, principalmente, com sustentabilidade.

Palavras-chave: Celulose; Escória; Resíduo.

Áreas Tecnológicas: Engenharia Química. Resíduos Industriais. Gestão Tecnológica.

Abstract

The generation of industrial waste is one of the many challenges faced by the pulp production chain. Innovative new technologies are being implemented for the efficient disposal and reuse of cellulose waste, aiming not only to reduce landfill volume within the industry itself but also to promote sustainable practices and contribute to environmental preservation. This article aims to analyze the scientific and patent landscape related to the use of cellulose waste in combination with slag, using the Web of Science and Scopus scientific databases, in addition to the Orbit patent technology database. The analysis identified 140 scientific publications in the Web of Science and Scopus databases, and 2,003 patent families in the Orbit database. The results show an increase in the number of scientific publications and a reduction in patent filings over the past seven years, starting in 2017. The main keywords associated with the patents and scientific publications are “Slag,” “Raw Material,” and “Fly Ash.” China stands out as the leading country of origin for these works. The findings indicate the feasibility of developing a new asphalt compound using cellulose waste, with stability, durability, and, most importantly, sustainability.

Keywords: Cellulose; Slag; Waste.



1 Introdução

A construção e a manutenção de estradas de chão e de terra para o uso da logística de eucalipto enfrentam grandes desafios e, entre eles, estão a erosão e/ou compactação do solo dentro das fazendas, acessibilidade e alto custo de manutenção das estradas. Diante dessa problemática, observa-se um crescimento de pesquisas de cunho científico e tecnológico, seja para melhorar a composição de materiais asfálticos ou também métodos de reduzir os custos de investimentos na construção de estradas (Terrones-Saeta *et al.*, 2021a).

Segundo Cui, Li e Chen (2022), a inovação representa a força motriz para o avanço do desenvolvimento sustentável. É essencial aprofundar o estudo técnico-científico de um tema específico, promovendo uma colaboração intensificada entre instituições de pesquisa. Além disso, é importante diversificar as formas de interação, seja por meio da transferência de tecnologia ou por meio de pesquisas realizadas em parceria.

A procura por colaborações entre entidades que possuem recursos e habilidades que se complementam, o que, em certos casos, transforma a dependência científica e tecnológica em uma interação estratégica e cooperativa. Isso contribui para o desenvolvimento de competências distintas por meio do aprendizado mútuo entre organizações (Teece *et al.*, 1994)

Krymskaya (2023) ressalta que a análise dos resultados obtidos por meio das atividades de revisão, bibliometria e patentária possibilita a busca por novas áreas de desenvolvimento ou áreas pouco exploradas. De acordo com Aria e Cuccurullo (2017), o estudo bibliométrico pode se tornar complexo, pois abrange várias etapas e utiliza diversas ferramentas de *software* para análise e mapeamento, mediante a aquisição de licenças comerciais. Para Kim e Lee (2019, p. 1), “[...] a importância do mercado de patentes tem aumentado no mercado de alta tecnologia devido à inovação aberta e à eficiência social”. Após a análise e mineração dos dados encontrados, é possível tirar conclusões a respeito de um determinado interesse de estudo e compreender como esse resultado pode aprofundar o direcionamento da pesquisa para um âmbito mais aplicado.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo apresentar um estudo bibliométrico e patentário sobre novas oportunidades tecnológicas para o uso de resíduos de celulose na implementação de escórias asfálticas. Os dados revelam a existência de 140 resultados de pesquisa nas bases científicas Web of Science e Scopus, além de 2.003 famílias de patentes na base Orbit.

2 Metodologia

Este estudo seguiu parâmetros quantitativos e utilizou o método bibliométrico com a ênfase nas palavras-chave “celulose” and “waste” and “slag”, a fim de encontrar as áreas de conhecimento associados ao estudo pesquisado. Por outro lado, também será traçado de forma generalista sobre a aplicabilidade de resíduos da celulose em diversas áreas no Brasil e no mundo, explorando os possíveis caminhos que este estudo poderá analisar de maneira mais aprofundada.

A bibliometria é um estudo que envolve tratamento de dados obtidos por meio de acervos de base científica e tecnológica, e, com isso, o seu resultado fornece informações importantes para avaliação e análises de produção científica (Moral-Muñoz *et al.*, 2020).

A análise bibliométrica pode ser aprimorada com a utilização de *softwares* de tratamentos de dados bibliométricos. As ferramentas utilizadas neste estudo de prospecção científica foram o Gephi e o Biblioshiny.

Os resultados da pesquisa bibliométrica realizada no dia 15 de junho de 2024 revelaram um total 140 documentos que estão publicados na Web of Science e na plataforma Scopus. Já a pesquisa patentária realizada no dia 18 de julho de 2024 mostra um total de 2.003 famílias de patentes, extraídas da plataforma Orbit Questel. O estudo seguiu as seguintes etapas:

- 1) realização um recorte temporal, com o intuito de identificar a evolução das palavras pesquisadas ao longo dos anos;
- 2) seleção das bases de artigo, utilizando a base de dados brasileira da Capes, que reúne e disponibiliza conteúdo científico internacional para instituições de ensino e pesquisa do Brasil, composta de aproximadamente 38 mil periódicos, 532 bases de dados de referência. Entre as bases disponíveis, foi escolhida duas bases científicas e tecnológicas: a Web of Science e a Scopus;
- 3) seleção da base de patentes para revelar o desenvolvimento geracional da tecnologia, análise de títulos de patentes, datas de publicação de patentes e regiões de concessão de patentes;
- 4) utilização da palavras-chave “celulose” and “waste” and “slag”;
- 5) exportação, importação e conversão da base de dados encontrados nos *softwares* Biblioshiny, Gephi e do Orbit para análises e geração de gráficos dos resultados encontrados neste estudo.

A pesquisa científica foi conduzida utilizando três plataformas de bases de dados científicas, a Web of Science, Scopus e o Orbit. Para que o objetivo fosse alcançado, foi realizado um levantamento científico, com artigos publicados entre 1983 e 2024, e patentários depositados entre 2004 e 2024. Esse estudo foi executado por meio da plataforma de dados da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) em parceria com as principais plataformas de base tecnológica do mundo e no Orbit por intermédio do convênio entre o Fórum Nacional de Gestores de Inovação e Transferência de Tecnologia (Fortec) e a empresa Axonal Consultoria Tecnológica Ltda. Os detalhes dessas plataformas e suas contribuições serão discutidos na sequência.

3 Resultados e Discussão

Em termos gerais, este estudo busca encontrar novas formas de reuso da fibra da celulose associados com compostos asfálticos. De acordo com Quintella *et al.* (2011, p. 1), “[...] a prospecção tecnológica contribui para a visão estratégica da produção de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), otimizando políticas de médio e longo prazo, estratégias, planos e processos de tomada de decisão”.

A Figura 1 demonstra que a China (36%) possui o maior número de publicações nas duas bases científicas tecnológicas, seguidos de Brasil (9%) e Espanha (6%).

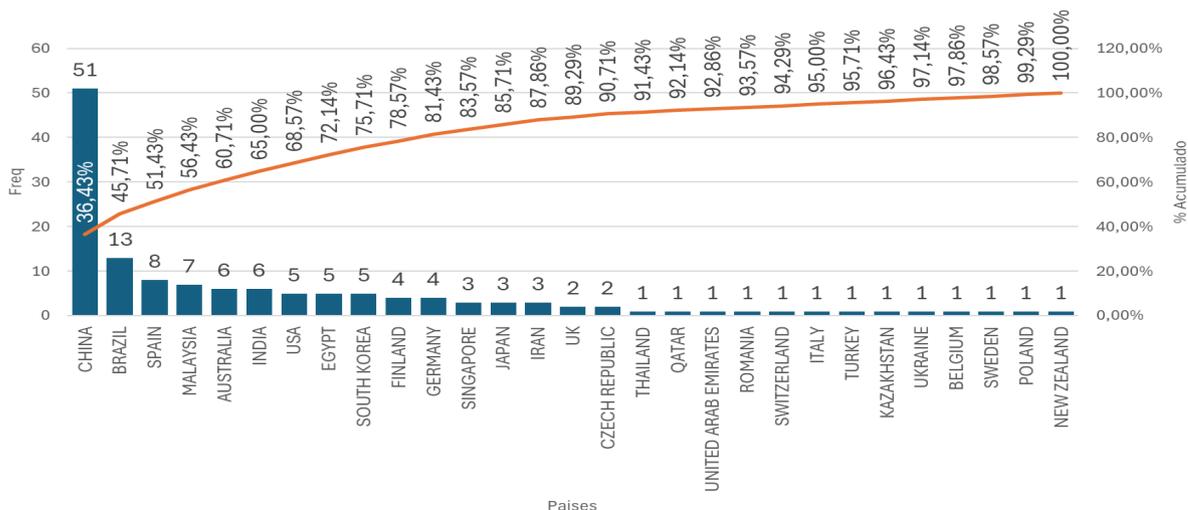
A elevada quantidade de publicações científicas originárias da China e do Brasil pode ser atribuída à significativa demanda chinesa por esse produto, particularmente da produção brasileira, e ao fato de o Brasil ser reconhecido como o maior exportador global de celulose, segundo o Imprensa e Notícias (2024).

A Figura 2 apresenta os principais países que realizaram depósito de patentes relacionadas às palavras-chave pesquisadas.

O Diagrama de Pareto é uma ferramenta de qualidade essencial que permite aos usuários identificarem e classificarem os fatores mais importantes, sendo amplamente utilizado em diversos processos de produção, os quais sugerem que 80% dos resultados advêm de 20% das causas mais significativas (Alkiayat, 2021).

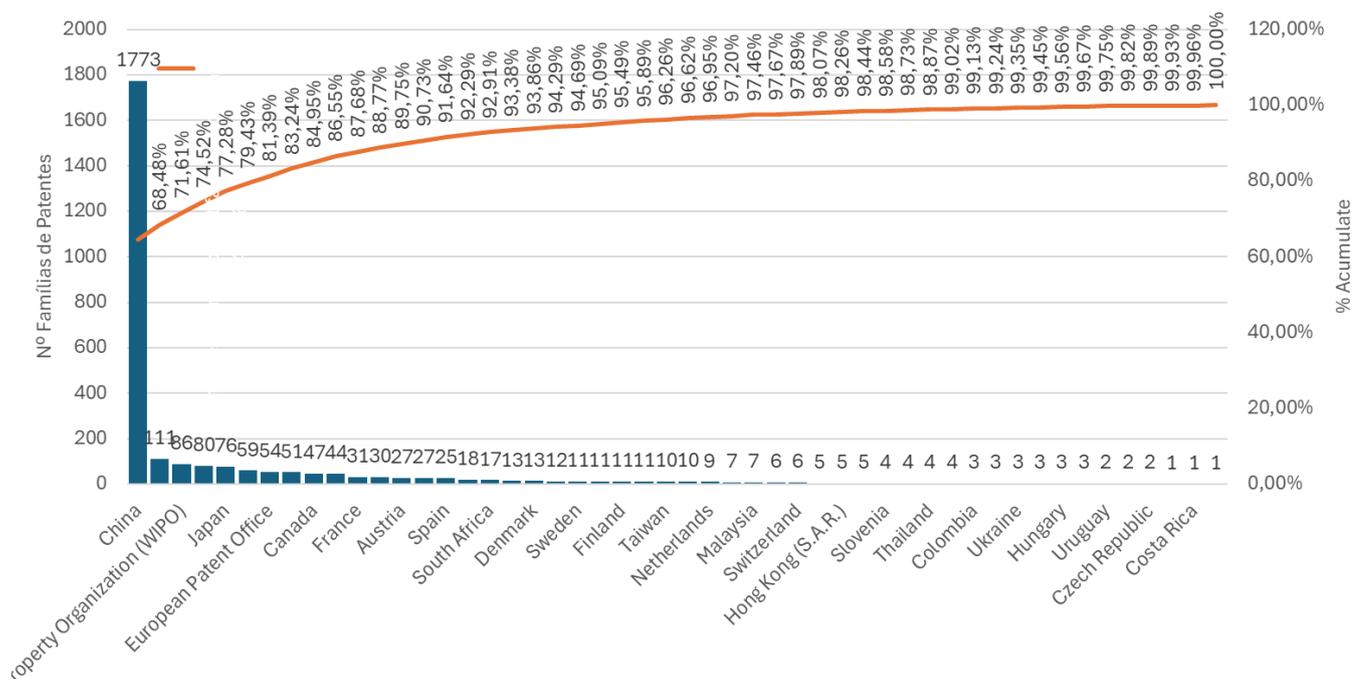
Ao analisar a tabela em forma de Pareto, observa-se que a região asiática tem o predomínio de patentes depositadas dentro dos 20% dos países que representam 80% do total que mais depositaram no mundo. Isso ocorre devido ao fato de a região possuir vastas florestas e plantações de bambu, que são fontes ricas de celulose e, até 2050, a produção de muitos produtos à base de madeira ocorrerá principalmente nesse continente, em vez de na América do Norte e Europa (Morland; Schier, 2020).

Figura 1 – Número de artigos publicados por país



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2024)

Figura 2 – Número de famílias de patentes por país

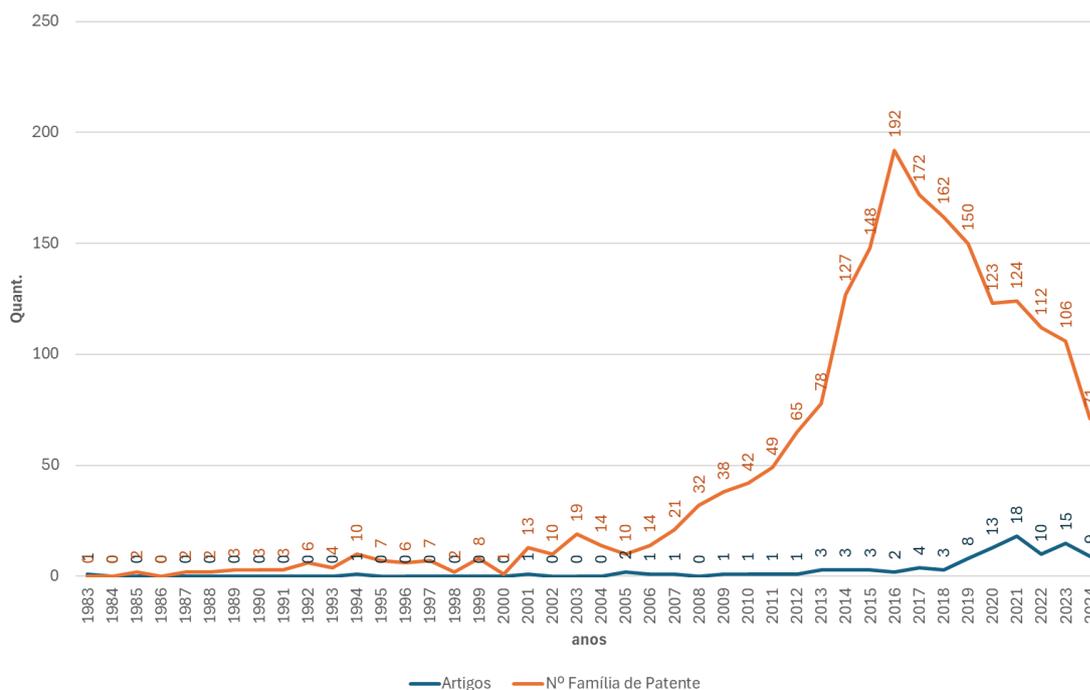


Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2024)

A Figura 3 ilustra claramente a progressão de publicações científicas e patentárias, particularmente entre os anos de 2021 com 18 e 2023 com 15 publicações científicas. Porém, em relação ao volume de depósitos de

famílias de patentes por ano, observa-se uma crescente a partir do ano de 2006 e tendo seus picos máximos nos anos de 2016, com 192 depósitos, e de 2017, com 172.

Figura 3 – Quantidade de publicações científicas e de depósitos de famílias de patente no mundo por ano



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2024)

Ao analisar o número total de documentos científicos por autor (Figura 4), observou-se uma distribuição equitativa, sem a predominância de um único autor. Os pesquisadores com o maior número de publicações são: Francisco Antonio Corpas-Iglesias e Juan Maria Terrones-Saeta, ambos com duas publicações na Scopus e seis na Web of Science. É notável que essas publicações foram realizadas em coautoria por ambos os pesquisadores. Corpas-Iglesias e Terrones-Saeta atuam na Universidade de Jaén, na Espanha. O primeiro é associado ao Departamento de Engenharia Química, Ambiental e de Materiais o segundo também está vinculado à Universidade de Jaén, onde desenvolveu sua tese de doutorado sobre misturas betuminosas para a conservação de estradas utilizando escórias de aciaria. A Figura 4 destaca os dez autores mais proeminentes no tema em questão.

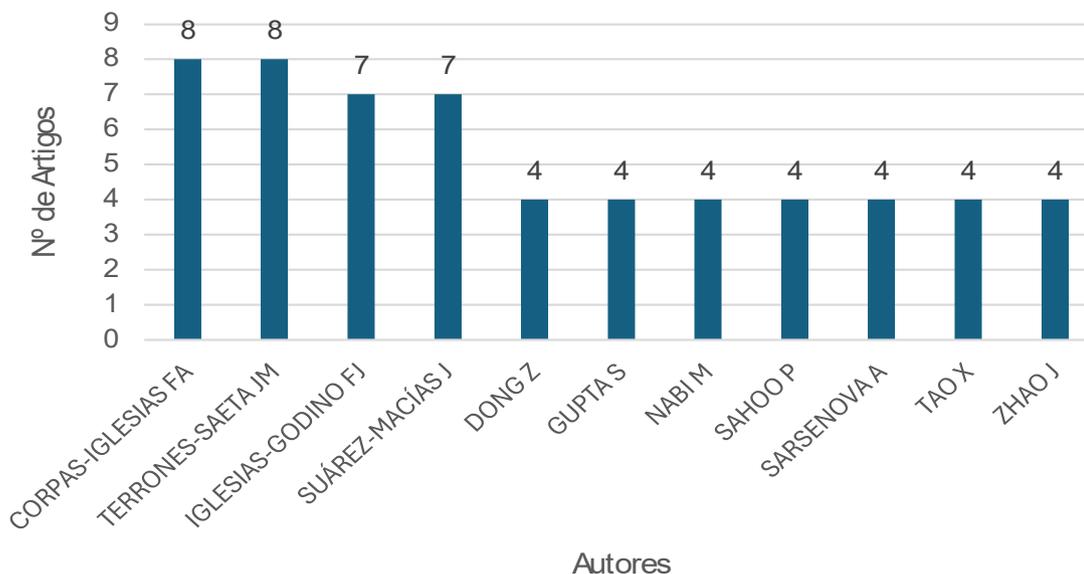
Em relação à quantidade de depósitos de patentes por inventor (Figura 5), observa-se que não há correlação com os autores dos artigos publicados. Entre os inventores, destacam-se 30 depósitos com solicitação de sigilo de identidade, seguidos por Ma Hongzhang e Zhu Anhui, cada um com 15 depósitos. Ma Hongzhang (IEE Xplore, 2024) e Zhu Anhui (Royal Society of Chemistry, 2020) atuam no Instituto de Processos Bioquímicos da Academia Chinesa

de Ciências e são conhecidos por seus trabalhos nas áreas de biotecnologia e engenharia bioquímica.

Para Katz e Martin (1997), colaboradores são definidos como indivíduos que trabalham em conjunto ao longo de um projeto ou durante uma parte significativa dele. São pesquisadores que contribuem frequentemente e de maneira substancial para os estudos e cujos nomes ou cargos aparecem no projeto de pesquisa original. Assim, a Figura 6 ilustra a rede de colaboração entre autores com base no número de publicações identificadas na pesquisa. O propósito dessa ilustração é examinar os padrões e as conexões existentes em uma área específica de estudo. As redes apresentadas neste estudo foram criadas por meio do *software* Gephi, no qual é possível observar uma distribuição dispersa e as interações limitadas entre os autores mencionados. O grau de entrada varia entre 1 e 5, e o grau de entrada ponderada varia de 2 a 7.

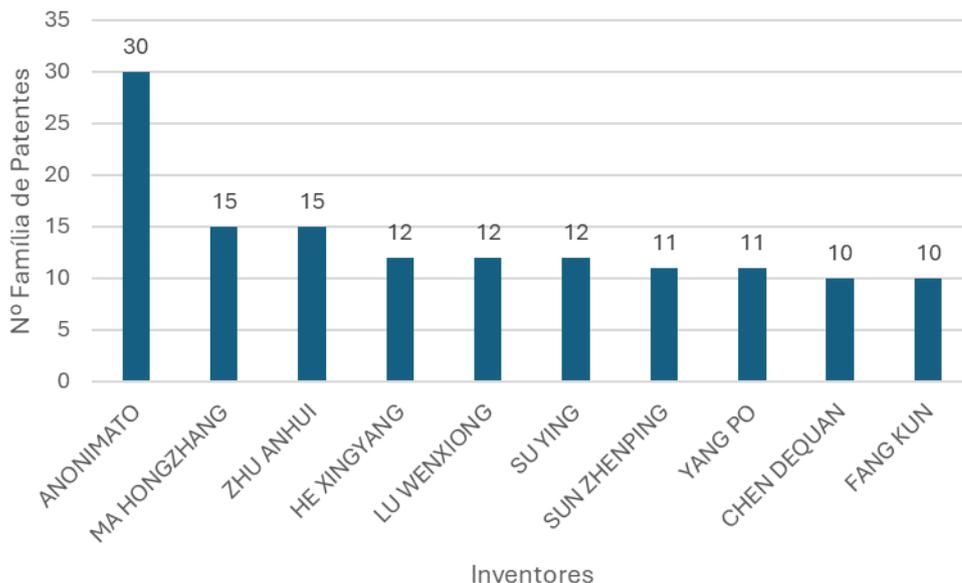
Na Figura 6, é exibida a interação dos autores que contemplem pelo menos uma colaboração entre eles. Do ponto de vista dos resultados, destacam-se os autores Li, Wang e Wang, com interação de seis autores cada, um total de 150 conexões.

Figura 4 – Quantidade de publicações por autor no mundo (Top 10)



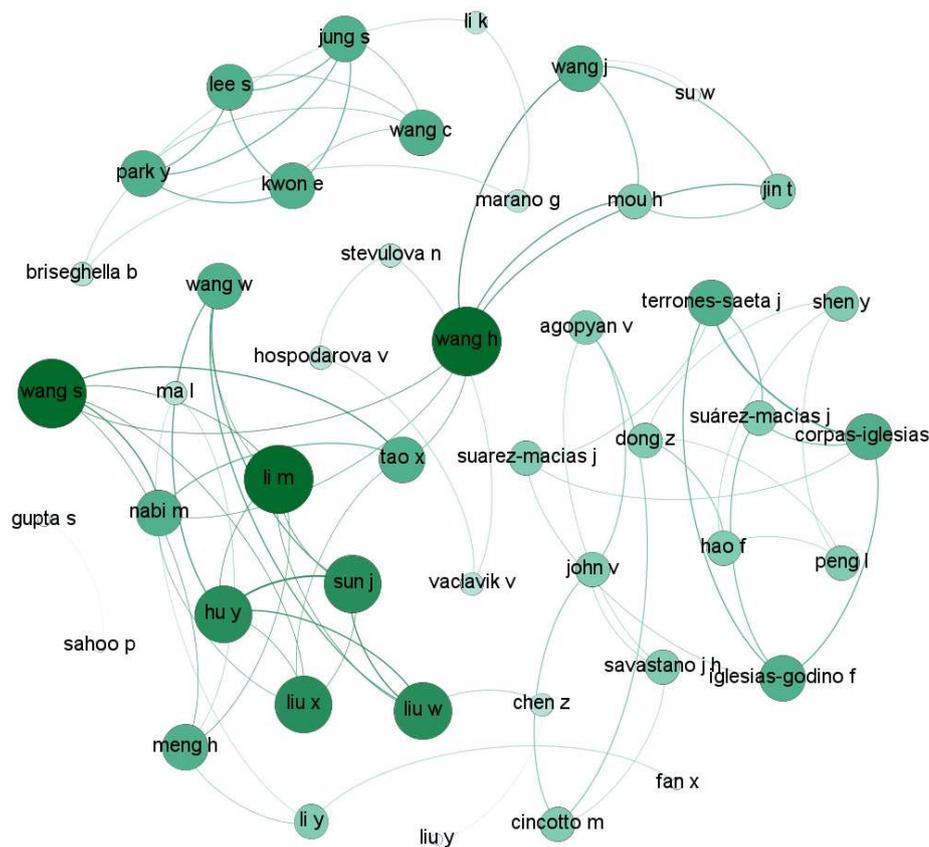
Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2024)

Figura 5 – Quantidade de depósitos de patentes por inventor (Top 10)



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2024)

Figura 6 – Rede de cooperação entre autores



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2024)

O pesquisador Mingkui Li (Google Scholar, 2024) atua na Universidade Oceânica da China, na Faculdade de Ciências Oceânicas e Atmosféricas, em Qingdao. Ele se especializa em processos dinâmicos oceânicos e interações ar-mar, além de trabalhar com modelos numéricos de clima acoplados e com visualização de dados científicos. O artigo mais citado relacionado ao autor é intitulado “*Ocean barrier layers’ effect on tropical cyclone intensification*”, com 230 citações.

De maneira semelhante, Haoxi Wang (2024) atua na Universidade Politécnica do Noroeste, na Escola de Química e Engenharia Química, em Xi’an. Ele se dedica à pesquisa em engenharia química, com foco em processos sustentáveis e inovação tecnológica. O artigo mais citado relacionado ao autor é intitulado “*A new high sensitivity far-infrared laser interferometer for the HL-2A tokamak*”, com 38 citações.

Por outro lado, Sheng Wang (2024) é professor na Universidade Xi’an Jiaotong, na Escola de Energia e Engenharia de Energia, em Xi’an, Shaanxi. Seus interesses de pesquisa incluem sistemas de energia renovável e eficiência energética. O artigo mais citado relacionado ao autor é intitulado “*Review of catalytic supercritical water gasification for hydrogen production from biomass*”, com 418 citações.

Para verificar se as parcerias estabelecidas durante a criação das patentes se repetem, foram realizadas análises de correlação. A Figura 7 ilustra as interações entre os inventores que atuam na área temática analisada. Observa-se que os inventores Zhu Anhui e Ma Hongzhang trabalharam juntos em vários projetos, especialmente focados em sensoriamento remoto de umidade do solo e tecnologia de aplicação de dados de sensoriamento remoto. Zhu Anhui é professor na Universidade de Anhui, e Ma Hongzhang é professor associado na China University of Petroleum, ambos na China. Com relação ao resultado encontrado na pesquisa, ambos possuem parceria em 15 invenções. He Xinyang e Lu Wenxiong possuem 12 invenções cada um. No entanto, o que diferencia He Xinyang de Lu Wenxiong é o número de coinvenções: 11 e nove, respectivamente. Todas as invenções estão voltadas para o setor da construção civil. He Xinyang é professor e orientador de doutorado na Universidade de Tecnologia de Hubei, em Wuhan, China, e diretor do Centro de Pesquisa em Tecnologia de Engenharia

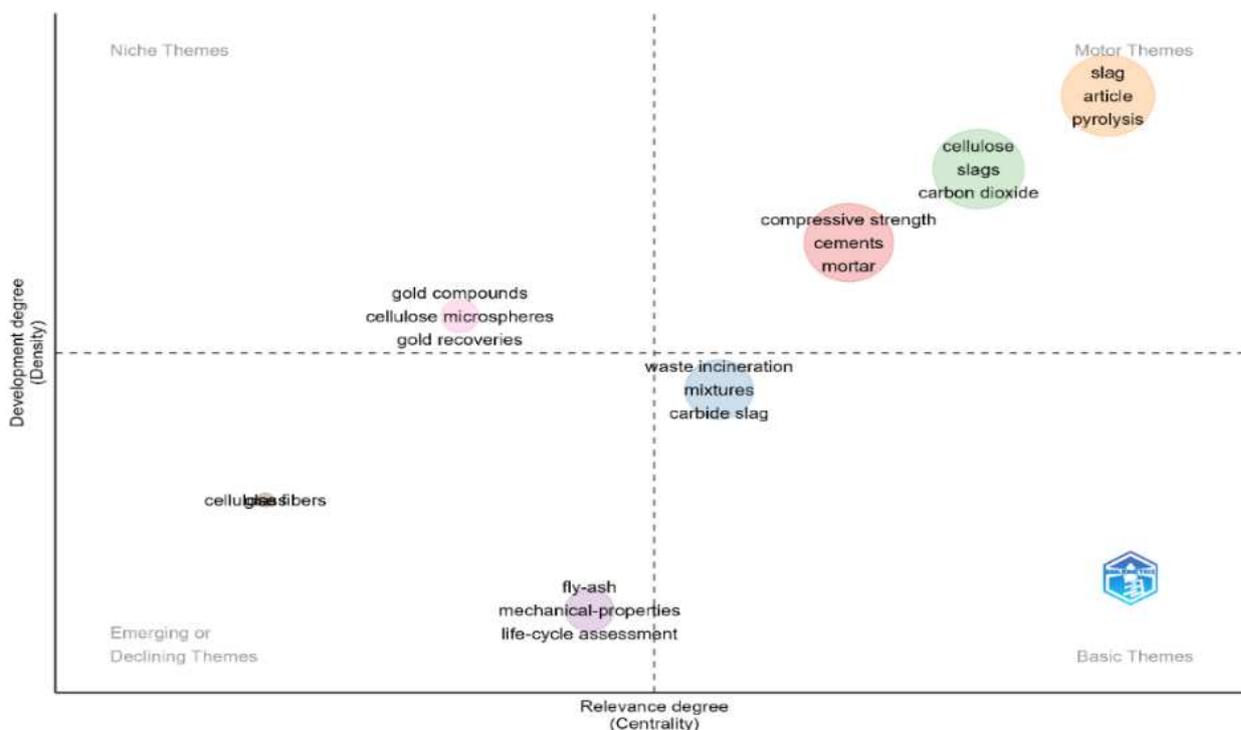
de Impermeabilização de Edifícios (Xingyang, 2024). Por outro lado, Lu Wenxiong é professor titular de Química de Materiais na City University of Hong Kong, especializado na síntese de materiais nanoestruturados para aplicações energéticas, incluindo baterias, eletrocatalise e fotocatalise (Lou, 2023).

Na Figura 7, é possível constatar a rede cooperação entre os inventores.

A nuvem de palavras é gerada a partir de um conjunto de palavras-chave ou termos encontrados em um texto ou conjunto de documentos. Essa nuvem exibe visualmente as palavras mais frequentes, com tamanhos proporcionais à sua ocorrência, geralmente destacando os termos mais relevantes (Dicle; Research; Mandeville, 2018). A Figura 8 apresenta a nuvem de palavras resultante da análise bibliométrica e patentária. Destacam-se as palavras “*slags*”, “*Raw Material*” e “*fly Ash*”, com 916, 890 e 551 registros, respectivamente. Essas palavras estão principalmente associadas às áreas de engenharia de materiais e ciências ambientais. “*Slag*” refere-se ao subproduto da fundição de metais, estudado para reciclagem e reutilização na construção civil (Piatak; Etler, 2021). “*Raw material*” envolve a pesquisa de materiais básicos usados na produção de bens, abrangendo estudos em química e sustentabilidade (Vollprecht; Daniel, 2023). “*Fly ash*” é um subproduto da queima de carvão, analisado para uso em concreto e mitigação de impactos ambientais (Holappa; Kaçar, 2016).

A Figura 9 mostra o mapa temático bibliográfico que tem a função de apontar os temas típicos de um domínio com base nas redes de coocorrência de palavras-chave para descrever o que a ciência diz em um campo, temas-chave e temas-padrão (Farooq, 2024). Os temas localizados no primeiro quadrante superior são os temas de nicho, com baixa densidade e alta centralidade. No segundo quadrante superior, pode-se ver a alta centralidade e densidade, que estão bem desenvolvidas e são significativas para o campo de pesquisa. Os temas no primeiro quadrante inferior são emergentes ou estão em declínio, apresentando baixa densidade e baixa centralidade. Por fim, os temas no segundo quadrante inferior são considerados básicos, com alta centralidade e baixa densidade.

Figura 9 – Mapa temático bibliográfico



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2024)

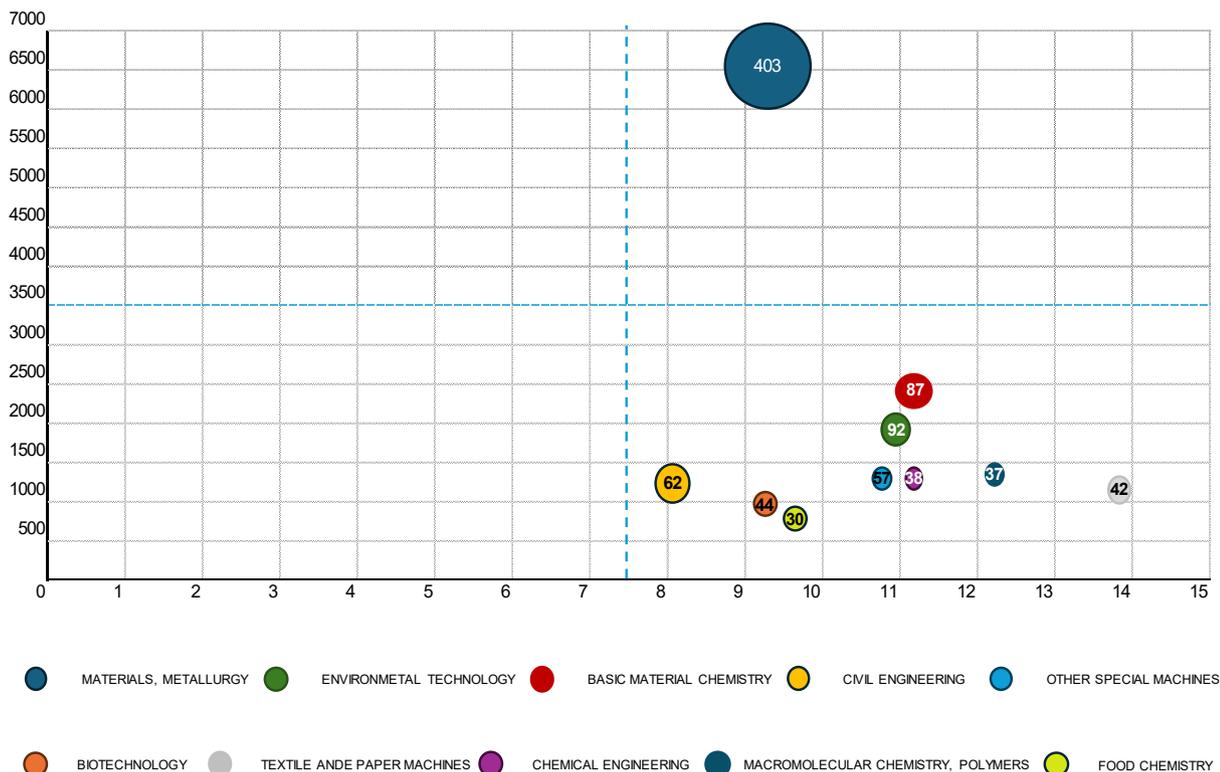
As principais palavras-chave são: “Slag”, “Article” e “pyrolysis”, que possuem alto grau de desenvolvimento e de relevância devido às palavras-chave pesquisadas. As palavras-chave “cellulose fibers” (2) são temas emergentes, de baixa relevância e atuação nas áreas física, química e mecânica dos materiais. Os dados indicam que a palavra-chave “slag” (20) está relacionada às áreas de construção civil, especialmente no desenvolvimento de novos compostos de cimento, e à área de gestão ambiental, com foco na descontaminação de afluentes. Os autores mais citados nesse contexto são Hashim Ma e Vahan Agopyan. O primeiro é pesquisador associado ao National Water Research Center (NWRC) no Egito, com várias publicações em áreas como qualidade da água subterrânea, diagnóstico de falhas em motores de combustão e bombas centrífugas, e uso de algoritmos de aprendizado de máquina para prever a qualidade da água para irrigação (Google Scholar, 2009). Vahan Agopyan é engenheiro civil brasileiro e professor titular de materiais e componentes de construção civil na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Ele também atua como conselheiro em várias instituições, incluindo o Instituto de Engenharia (IE), o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) e o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) (Regina, 2013). Destaca-se que a palavra-chave de menor grau de relevância, “cellulose fibers” (2), possui o pesquisador Jm. Juan María Terrones-Saeta, que atua como professor substituto interino no

Departamento de Engenharia de Minas, Mecânica e Energética da Universidade de Huelva, na Espanha. Ele tem várias publicações em áreas como geopolímeros, materiais cerâmicos e reutilização de resíduos industriais (Orcid, 2024).

O mapa temático patentário estuda indicadores patentários para identificar atividades de inovação e tecnologia, permitindo conhecer a atividade tecnológica, refletir sobre tendências de mudanças técnicas, avaliar resultados de investimentos em P&D e determinar o grau de inovação tecnológica de uma região, área ou instituição (Menezes; Santos; Bortoli, 2016).

A Figura 10 revela uma concentração de atividade na área de metalurgia de materiais, com 1.108 famílias de patentes identificadas. Destas, 403 famílias de patentes foram concedidas, apresentando uma idade média de nove anos, o que sugere um ciclo de inovação ativo e relativamente recente nesse campo específico. Em contraste, outras áreas, apesar de terem menos famílias de patentes, mostram uma maturidade maior, com uma idade média superior a 10 anos. Isso pode indicar que essas outras áreas são menos exploradas ou que a inovação nelas ocorre em um ritmo mais lento. Essa análise pode ser útil para direcionar esforços de pesquisa e desenvolvimento, bem como para estratégias de investimento em tecnologia e inovação.

Figura 10 – Mapa temático patentário



Fonte: Adaptada de Orbit Questel (2024)

4 Considerações Finais

Este estudo investigou novas abordagens para a reutilização da fibra de celulose em combinação com compostos asfálticos, ressaltando a importância da prospecção tecnológica na produção de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I). A análise revelou que a China lidera as publicações científicas nessa área, seguida pelo Brasil e Espanha, o que reflete a crescente demanda chinesa e a posição do Brasil como principal exportador mundial de celulose.

Ao analisar os resultados encontrados, percebe-se que o estudo bibliométrico e patentário tem sido procurado de forma significativa, sobretudo com a disponibilização de publicações via *web* e o acesso das universidades ao disponibilizar gratuitamente aos seus discentes o acesso às diversas bases de dados científicos e patentários (Thelwall, 2008).

A aplicação do Diagrama de Pareto evidenciou que a região asiática é predominante nos depósitos de patentes, atribuída à abundância de florestas e plantações de bambu, além de uma previsão de aumento na produção de produtos à base de madeira até 2050. A análise temporal mostrou um

crescimento significativo nas publicações científicas e nos depósitos de patentes, com picos em 2016 e 2017.

A distribuição de publicações por autor foi equilibrada, sem a predominância de um único pesquisador, enquanto os depósitos de patentes por inventor não apresentaram similaridade com os autores dos artigos. As redes de colaboração entre autores e inventores destacaram interações limitadas, mas significativas, especialmente nas áreas de física, química e mecânica/metalurgia de materiais.

Quanto aos estudos mais relevantes sobre resíduos de celulose associados à escória, destacam-se os artigos de Terrones-Saeta *et al.* (2020, 2021b, 2021c), que exploram a viabilidade de incorporar esses resíduos em diferentes aplicações. Além disso, o estudo de Wong, Mohd Hasan e Peng (2022) aborda especificamente o uso de resíduos de celulose como componente de associação para fabricação de asfalto betuminoso, evidenciando sua viabilidade e benefícios ambientais.

Em síntese, este estudo oferece uma compreensão aprofundada das tendências tecnológicas e da inovação na reutilização da fibra de celulose, fornecendo *insights* valiosos para futuras pesquisas e políticas de CT&I.

5 Perspectivas Futuras

Embora ainda seja prematuro afirmar que haverá um aumento significativo nos estudos voltados para o desenvolvimento de novas tecnologias para o uso de resíduos de celulose como escórias asfálticas, este estudo pode representar um marco pioneiro nessa área. A inovação e a exploração de novas aplicações para resíduos de celulose possuem o potencial de transformar a indústria, promovendo a sustentabilidade e a eficiência no uso de recursos. A continuidade das pesquisas e o incentivo a novos estudos serão essenciais para consolidar essa tecnologia emergente e ampliar suas aplicações práticas, contribuindo para um futuro mais sustentável.

Referências

- ALKIAYAT, M. A Practical Guide to Creating a Pareto Chart as a Quality Improvement Tool. **Global Journal on Quality and Safety in Healthcare**, [s.l.], v. 4, n. 2, p. 83-84, 1º maio 2021.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 959-975, 1º nov. 2017.
- CUI, W.; LI, L.; CHEN, G. Market-value oriented or technology-value oriented? Location impacts of industry-university-research (IUR) cooperation bases on innovation performance. **Technology in Society**, [s.l.], v. 70, 1º ago. 2022.
- DICLE, M. F.; RESEARCH, B. D.; MANDEVILLE, T. A. **Content analysis: Frequency distribution of words**The Stata Journal. [2018]. Disponível em: <http://www.cnn.com>. Acesso em: 16 set. 2024.
- FAROOQ, R. Knowledge management and performance: a bibliometric analysis based on Scopus and WOS data (1988-2021). **Journal of Knowledge Management Emerald Publishing**, [s.l.], 24 jul. 2023.
- FAROOQ, R. A review of knowledge management research in the past three decades: a bibliometric analysis. **VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems**, [s.l.], v. 54, n. 2, p. 339-378, 19 jan. 2024.
- GOOGLE SCHOLAR. **M. A. Hashim**. [2009]. Disponível em: <https://scholar.google.com/citations?user=HMwH2mgAAAAJ>. Acesso em: 17 set. 2024.
- ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. **Hannah, K.** [2020]. Disponível em: https://blogs.rsc.org/nr/2020/09/08/professor-manzhou-zhu-joins-the-associate-editor-team/?doing_wp_cron=1726612178.5341289043426513671875. Acesso em: 16 set. 2024.
- HOLAPPA, L.; KAÇAR, Y. Slag Formation – Thermodynamic and Kinetic Aspects and Mechanisms. In: **Advances in Molten Slags, Fluxes, and Salts. In: PROCEEDINGS OF THE 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOLTEN SLAGS, FLUXES AND SALTS**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 1017-1024. **Anais [...]**. Cham, 2016.
- HUBBE, M. A. *et al.* Analytical Staining of Cellulosic Materials: A Review. **BioResources**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 7.387-7.464, 2019.
- IEEE XPLORE. **Hongzhang Ma**. [2024]. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/author/37089778354>. Acesso em: 18 set. 2024.
- IMPrensa e Notícias. **Exportação de celulose brasileira para a China cresce mais e bate recorde em 2023**. Em 13 de março de 2024. Disponível em: <https://iba.org/exportacao-de-celulose-brasileira-para-a-china-cresce-mais-e-bate-recorde-em-2023>. Acesso em: 24 jul. 2024.
- KATZ, J. S.; MARTIN, B. R. What is research collaboration? **Research Policy**, [s.l.], v. 26, n. 1, p. 1-18, 1997.
- KIM, S. Y.; LEE, H. J. The effect of patent acquisition on subsequent patenting activity. **World Patent Information**, [s.l.], v. 59, 1 dez. 2019.
- KRYMSKAYA, A. S. The Bibliometrics of Bibliometrics as a New Area of Research. **Scientific and Technical Information Processing**, [s.l.], v. 50, n. 4, p. 286-291, 1º dez. 2023.
- LOU, David X. **City University of Hong Kong**. [2023]. Disponível em: <https://www.cityu.edu.hk/chem/people/academic-staff/davidlou>. Acesso em: 16 set. 2024.
- MACHADO, B. A. S. *et al.* Tendências tecnológicas de embalagens biodegradáveis através da prospecção em documentos de patentes. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 5, n. 3, p. 132-140, 30 set. 2012.
- MENEZES, C.; SANTOS, S.; BORTOLI, R. Mapeamento de Tecnologias Ambientais: Um Estudo sobre Patentes Verdes no Brasil. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 110-127, 1º abr. 2016.
- MINGHUI, Li. **Google Scholar**. [2024]. Disponível em: <https://scholar.google.com/citations?user=A7hCLHXBkacC>. Acesso em: 18 set. 2024.
- MORAL-MUÑOZ, José A. *et al.* Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. **El profesional de la información**, [s.l.], v. 29, n. 1, 2020.

MORLAND, C.; SCHIER, F. Modelling bioeconomy scenario pathways for the forest products markets with emerging lignocellulosic products. **Sustainability**, Switzerland, v. 12, n. 24, p. 1-15, 2 dez. 2020.

ORBIT QUESTEL. **Página de busca**. 2024. Disponível em: <https://www.orbit.com/>. Acesso em: 17 set. 2024.

ORCID. **Terrones-Saeta, Juan-Maria**. [2024]. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0002-8665-2549>. Acesso em: 17 set. 2024.

PIATAK, Nadine M.; ETTLER, Vojtech. Introduction: Metallurgical slags – Environmental liability or valuable resource? In: PIATAK, Nadine M.; ETTLER, Vojtech (ed.). **Metallurgical slags: Environmental geochemistry and resource potential**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2021. p. 1-13.

QUINTELLA, C. M. *et al.* Technology assessment as a tool applied in science and technology to achieve innovation: Optical methods for fuels quality assessment. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 3, n. 5, p. 406-415, 2011.

REGINA, C. **Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo**. [2013]. Disponível em: <http://www.ica.usp.br/pessoas/pasta-pessoav/vahan-agopyan>. Acesso em: 17 set. 2024.

SANTANA, M. C. C. B. de *et al.* Processo de remoção de metais pesados derivados de mandioca por meio da utilização de quitosana. **Cadernos de Prospecção**, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 543-552, 30 dez. 2013.

TEECE, D. J. *et al.* Understanding corporate coherence: Theory and evidence. **Journal of Economic Behavior and Organization**, [s.l.], v. 23, p. 1-30, 1994.

TERRONES-SAETA, J. M. *et al.* Development of Porous Asphalt with Bitumen Emulsion, Electric arc Furnace Slag and Cellulose Fibers for Medium Traffic Roads. **Minerals**, [s.l.], v. 10, n. 10, p. 872, 1º out. 2020.

TERRONES-SAETA, J. M. *et al.* Development of high resistance hot mix asphalt with electric arc furnace slag, ladle furnace slag, and cellulose fibers from the papermaking industry. **Applied Sciences**, Switzerland, v. 11, n. 1, p. 1-23, 1º jan. 2021a.

TERRONES-SAETA, J. M. *et al.* Development of Geopolymers as Substitutes for Traditional Ceramics for Bricks with Chamotte and Biomass Bottom Ash. **Materials**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 199, 4 jan. 2021b.

TERRONES-SAETA, J. M. *et al.* Determination of the Chemical, Physical and Mechanical Characteristics of Electric Arc Furnace Slags and Environmental Evaluation of the Process for Their Utilization as an Aggregate in Bituminous Mixtures. **Materials**, [s.l.], v. 14, n. 4, p. 782, 7 fev. 2021c.

THELWALL, M. Bibliometrics to webometrics. **Journal of Information Science**, [s.l.], v. 34, n. 4, p. 605-621, ago. 2008.

VOLLPRECHT, D. Mineralogy of Metallurgical Slags. In: TRIBAUDINO, M.; VOLLPRECHT, D.; PAVESE, A. (ed.). **Minerals and Waste**. Springer, Cham: Earth and Environmental Sciences Library, 2023.

WANG, H. **Clarivate Access**. [2024]. Disponível em: <https://www-webofscience-com.ez10.periodicos.capes.gov.br/wos/author/record/5880943>. Acesso em: 18 set. 2024a.

WANG, S. **Researchgate**. [2024]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Sheng-Wang-27>. Acesso em: 30 out. 2024.

WONG, T. L. X.; MOHD HASAN, M. R.; PENG, L. C. Recent development, utilization, treatment and performance of solid wastes additives in asphaltic concrete worldwide: A review. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)KeAi Communications Co.**, [s.l.], v. 1 out. 2022.

XINGYANG, He. **Hubei University of Technology**. [2024]. Disponível em: <https://sie.hbut.edu.cn/info/1283/2729.htm>. Acesso em: 16 set. 2024.

Sobre os Autores

Carlos Augusto Francisco de Jesus Ribeiro

E-mail: carlosinovacao@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9180-8595>

Pós-graduado em Planejamento e Gestão da Inovação pela Universidade Federal da Bahia.

Endereço profissional: Rua Alfa, n. 1.033, AIN, Complexo Industrial de Camaçari, Camaçari, BA. CEP: 42816-100.

Cristina M. Quintella

E-mail: cris5000tina@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3827-7625>

Pós-Doutora pelo Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade de Lisboa, Portugal, e em Ciências Sociais Aplicadas em 2020.

Endereço profissional: Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química, Departamento de Química Geral e Inorgânica, Câmpus de Ondina, Ondina, Salvador, BA. CEP: 40170-290.