

REDES DE COINVENÇÃO EM BIOTECNOLOGIA PARA BIORREMEDIAÇÃO: UM ESTUDO PATENTOMÉTRICO

CO-INVENTION NETWORKS IN BIOTECHNOLOGY FOR BIOREMEDIATION: A PATENTOMETRIC STUDY

REDES DE COINVENCIÓN EN BIOTECNOLOGÍA PARA BIORREMEDEIACIÓN: UN ESTUDIO PATENTOMÉTRICO

Elber Ribeiro Gama¹
Monique Graziella Cruz Rezende²
Marcos Antônio Rodrigues França³
Maria Andresa Santana Silva⁴
Leila Buarque Couto de Matos⁵
Robelius De-Bortoli⁶

Resumo

Este estudo empreende uma análise patentométrica das redes de coinvenção e coautoria, no campo da biotecnologia aplicada à biorremediação. O objetivo principal foi construir e analisar essas redes em artigos científicos e patentes, com foco na identificação de inventores/autores proeminentes (*hubs*), países e instituições-chave, haja vista a relevância crescente da biorremediação como estratégia sustentável de descontaminação ambiental e lacunas existentes na compreensão das dinâmicas colaborativas entre inventores e instituições. O método envolveu a coleta de 9.377 registros de patentes exportados e tratados dentro do ORBIT *Intelligence*, utilizando uma *string* de busca específica, abrangendo o período 2015 a 2025. Foram utilizadas as ferramentas de *Network Analytics* para gerar matrizes de coinvenção, calcular métricas de centralidade e modularidade, e mapear a distribuição geográfica e os status jurídicos das patentes. Os resultados revelam padrões complexos de colaboração, destacando a evolução temporal da atividade inovadora e a formação de *clusters* de conhecimento. Os *clusters* mais expressivos envolvem processos de tratamento de águas (C02F, Y02W), bioengenharia de cepas (C12N, C12M) e materiais filtrantes (B01F, B01D). A identificação dos principais *hubs*, países e instituições oferece uma compreensão aprofundada da dinâmica de inovação neste setor crítico. A discussão conecta a estrutura das redes de coinvenção com o avanço da biotecnologia para a sustentabilidade e as implicações para as estratégias de propriedade intelectual. A conclusão sintetiza que o ecossistema de coinvenção é dominado por *hubs* institucionais e técnicos localizados na China, evidenciando riscos de gargalos e oportunidades para parcerias internacionais.

Palavras-chave: biorremediação; biotecnologia; redes de coinvenção; propriedade intelectual; inovação sustentável.

Abstract

This study conducts a patentometric analysis of co-invention and co-authorship networks in the field of biotechnology applied to bioremediation. The main objective was to construct and analyze these networks in scientific articles and patents, focusing on the identification of prominent inventors/authors (*hubs*), key countries and institutions, given the growing relevance of bioremediation as a sustainable environmental decontamination strategy and the existing gaps in understanding collaborative dynamics among inventors and institutions. The method involved collecting 9,377 patent records exported and processed within ORBIT Intelligence, using a specific search string covering the period

¹ Doutorando no Programa de Pós-graduação em Ciência da Propriedade Intelectual – PPGPI/UFS. Professor efetivo do Instituto Federal de Sergipe - IFS. E-mail: elber.gama@ifs.edu.br. <https://orcid.org/0009-0003-9160-2540>.

² Mestre em educação profissional e tecnológica. Servidora do Instituto Federal de Sergipe. E-mail: monique.rezende@ifs.edu.br. <https://orcid.org/0000-0001-8499-0010>.

³ Mestre em Saúde Pública. Professor do IFS. E-mail: marcosfranca@ifs.edu.br. <https://orcid.org/0000-0001-7965-8603>.

⁴ Doutoranda no PPGPI/UFS. E-mail: m.andresa22@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-6658-7479>.

⁵ Doutoranda no PPGPI/UFS. E-mail: leila.buarque@academico.ufs.br. <https://orcid.org/0009-0007-3657-0864>.

⁶ Professor Doutor do PPGPI/UFS. E-mail: robelius@academico.ufs.br. <https://orcid.org/0000-0003-1231-6451>

DOI: <https://doi.org/10.22169/mas.v14iesp..1231>

from 2015 to 2025. Network Analytics tools were used to generate co-invention matrices, calculate centrality and modularity metrics, and map the geographic distribution and legal status of patents. The results reveal complex collaboration patterns, highlighting the temporal evolution of innovative activity and the formation of knowledge clusters. The most prominent clusters involve water treatment processes (C02F, Y02W), strain bioengineering (C12N, C12M), and filtering materials (B01F, B01D). Identifying the main hubs, countries, and institutions provides an in-depth understanding of the innovation dynamics in this critical sector. The discussion connects the structure of co-invention networks to advances in biotechnology for sustainability and to the implications for intellectual property strategies. The conclusion synthesizes that the co-invention ecosystem is dominated by institutional and technical hubs located in China, revealing risks of bottlenecks and opportunities for international partnerships.

Keywords: bioremediation; biotechnology; co-invention networks; intellectual property; sustainable innovation.

Resumen

Este estudio realiza un análisis patentométrico de las redes de co-invencción y coautoría en el campo de la biotecnología aplicada a la biorremediación. El objetivo principal fue construir y analizar estas redes en artículos científicos y patentes, con enfoque en la identificación de inventores/autores prominentes (hubs), países y instituciones clave, dada la creciente relevancia de la biorremediación como estrategia sostenible de descontaminación ambiental y las lagunas existentes en la comprensión de las dinámicas colaborativas entre inventores e instituciones. El método involucró la recopilación de 9.377 registros de patentes exportados y procesados en ORBIT Intelligence, utilizando una cadena de búsqueda específica que abarca el período de 2015 a 2025. Se utilizaron herramientas de *Network Analytics* para generar matrices de co-invencción, calcular métricas de centralidad y modularidad, y mapear la distribución geográfica y el estado jurídico de las patentes. Los resultados revelan patrones complejos de colaboración, destacando la evolución temporal de la actividad innovadora y la formación de clústeres de conocimiento. Los clústeres más expresivos involucran procesos de tratamiento de aguas (C02F, Y02W), bioingeniería de cepas (C12N, C12M) y materiales filtrantes (B01F, B01D). La identificación de los principales hubs, países e instituciones ofrece una comprensión profunda de la dinámica de innovación en este sector crítico. La discusión conecta la estructura de las redes de co-invencción con el avance de la biotecnología para la sostenibilidad y las implicaciones para las estrategias de propiedad intelectual. La conclusión sintetiza que el ecosistema de co-invencción está dominado por hubs institucionales y técnicos ubicados en China, evidenciando riesgos de cuellos de botella y oportunidades para asociaciones internacionales.

Palabras clave: biorremediación; biotecnología; redes de co-invencción; propiedad intelectual; innovación sostenible.

1 Introdução

A biorremediação, entendida como a utilização de microrganismos para a degradação de poluentes em solos e águas, tem se consolidado como uma estratégia promissora para enfrentar desafios ambientais globais. Nas últimas décadas, diversos estudos têm investigado rotas metabólicas microbianas capazes de degradar compostos orgânicos persistentes, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e metais pesados (Beolchini *et al.*, 2022; Mfon, 2024). Além disso, avanços em engenharia genética permitiram aprimorar cepas microbianas com maior eficiência catabólica, expandindo o escopo de aplicações industriais e ambientais (Pant *et al.*, 2021).

No contexto brasileiro, a política de Propriedade intelectual (PI) tem demonstrado um alinhamento estratégico com a promoção da inovação sustentável (Vasconcelos; Silva, 2018). Iniciativas do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), como a priorização do exame de patentes relacionadas a tecnologias verdes desde 2016 e a criação de observatórios e parcerias internacionais, evidenciam um esforço institucional para fomentar avanços em áreas de impacto ambiental positivo (Salgado; Silva Franchi, 2023).

Neste panorama, a biotecnologia, e em particular a biorremediação, assume um papel de crescente relevância como tecnologia emergente para a resolução de prementes desafios ambientais (Eskandar, 2023). A biorremediação, também conhecida como remediação biológica, é uma técnica que emprega agentes biológicos, notadamente microrganismos como bactérias, fungos e leveduras, bem como enzimas e plantas, para desintoxicar áreas contaminadas, removendo ou neutralizando poluentes orgânicos e inorgânicos presentes em solos e águas (Abatenh *et al.*, 2017).

O mercado global de biorremediação está em franca expansão, impulsionado pela crescente contaminação ambiental, pela conscientização sobre a necessidade de soluções sustentáveis e por uma regulamentação ambiental cada vez mais rigorosa (Bala *et al.*, 2022). Apesar do crescente corpo de literatura sobre abordagens microbianas para descontaminação, ainda existem lacunas na compreensão de como as redes de colaboração entre inventores e instituições influenciam a geração e difusão dessas inovações (Timmis; Hallsworth, 2024). Estudos anteriores enfatizam a necessidade de análise de redes de coinvenção em patentes, visando identificar *hubs* tecnológicos específicos no domínio da biorremediação (Beolchini *et al.*, 2022).

O problema de pesquisa deste estudo reside, portanto, na necessidade de um mapeamento sistêmico das redes de coinvenção em biotecnologia para biorremediação, capaz de revelar os principais atores, países e instituições responsáveis pela emergência e disseminação de soluções inovadoras. Sem esse entendimento, políticas de fomento e estratégias de cooperação científica podem ser subutilizadas, comprometendo o desenvolvimento tecnológico e a adoção de práticas sustentáveis.

No domínio da biotecnologia, as patentes desempenham um papel crucial como instrumentos de PI, protegendo inovações que abrangem organismos vivos, processos biológicos e produtos resultantes da engenharia genética (Sinhmar; Purohit, 2025). Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo construir e analisar redes de coinvenção com base em patentes entre 2015 e 2025, a fim de identificar os *hubs* (inventores e organizações) que exercem maior centralidade e influência no campo da biorremediação. Adicionalmente, busca-se mapear a distribuição geográfica dessas redes, enfatizando a participação de países emergentes e desenvolvidos.

A relevância desta pesquisa justifica-se por seu potencial de oferecer subsídios empíricos para formuladores de políticas de inovação e gestores de pesquisa, permitindo a otimização de investimentos e a promoção de parcerias estratégicas. Ao revelar padrões de colaboração e identificar líderes tecnológicos, espera-se contribuir para o fortalecimento de ecossistemas de inovação mais resilientes e inclusivos, haja vista que as patentes são amplamente reconhecidas como indicadores

Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, Curitiba, v. 14, n. esp., p. 190-210, 2025

robustos de atividade inovadora e colaborativa em estudos cientométricos e patentométricos. Elas refletem não apenas o investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D), mas também a busca por exclusividade de mercado e a intenção de proteger o conhecimento gerado, revelando tendências industriais e mercadológicas (Ilić, 2024).

Em termos acadêmicos, o estudo preenche uma lacuna metodológica ao realizar uma análise patentométrica em um único *framework* de redes, alinhado às diretrizes mais recentes em estudos de métricas de ciência e tecnologia (Wang *et al.*, 2018). Por fim, a produção de um mapa detalhado das redes de coinvenção em biorremediação pode oferecer uma base sólida para futuras pesquisas sobre dinâmismos de inovação sustentável, notadamente considerando tratar-se de área emergente e com relevância alinhada aos objetivos do desenvolvimento sustentável. (Dos Reis *et al.*, 2024).

2 Métodos

O presente estudo adota uma abordagem patentométrica integrando procedimentos de coleta, tratamento e análise de dados em redes de coinvenção. A metodologia foi estruturada em oito etapas principais, descritas a seguir para garantir replicabilidade e rigor científico: **1. Definição da estratégia de busca no ORBIT:** utilizou-se o motor de busca avançado do ORBIT (versão 6.x) para recuperar patentes relacionadas à biorremediação. A *string* de busca foi aplicada exatamente nos campos de Título (TI), Resumo (AB) e Reivindicações (ICLM): a) ((bioremediation OR biorremediation OR biodegradation OR microbialdegradation)/TI OR (bioremediation OR biorremediation OR biodegradation OR microbialdegradation)/AB OR (bioremediation OR biorremediation OR biodegradation OR microbialdegradation)/ICLM)) AND (EPD=2015-01-01:2025-01-01); b) O recorte temporal de 1 de janeiro de 2015 a 1 de janeiro de 2025 assegura a cobertura de patentes mais recentes e emergentes no domínio. **2. Exportação e organização dos dados:** após a busca, foram recuperados 9.377 registros de patente. Para fins de análise, exportou-se o conjunto de dados em formato CSV. Os campos selecionados incluíram: número da patente, título, data de depósito, país, inventores (todos), classificação IPC (*International Patent Classification*) e texto completo das reivindicações; **3. Limpeza e padronização dentro do ORBIT:** o ORBIT oferece um editor de dados incorporado para edição em lote de metadados. Nele, padronizaram-se nomes de inventores e instituições, eliminando diferenças de maiúsculas/minúsculas, acentuações e abreviações. Registros duplicados foram identificados pelo número de publicação e removidos; **4. Geração da matriz de coinvenção:** no módulo “*Network Analytics*” do ORBIT, selecionou-se a opção

“*Co-inventor Network*” para construir automaticamente a matriz de adjacência: cada par de inventores é ligado por um peso equivalente ao número de patentes em coautoria. Esse recurso dispensa exportação manual de matrizes; **5. Cálculo de métricas de centralidade:** ainda em “*Network Analytics*”, ativaram-se as métricas de *Degree*, *Betweenness* e *Closeness*. O ORBIT calcula essas métricas em tempo real e as exibe em tabela, permitindo ordenar inventores e instituições por influência na rede; **6. Detecção de comunidades:** a plataforma também incorpora o algoritmo *Louvain* para identificação de comunidades (*clusters* de coinvenção). Foram ajustados parâmetros de resolução para obter cerca de 5 a 8 módulos principais, correspondendo a diferentes áreas temáticas dentro da biorremediação; **7. Visualização e extração de mapas de rede:** utilizou-se o visualizador integrado do ORBIT para gerar gráficos com layout por força (*Force-Directed*). Cores e tamanhos de nó foram configurados de acordo com modularidade e grau centralidade. As figuras foram exportadas em PNG e SVG (300 dpi), adequadas para inclusão direta no manuscrito; **8. Análise complementar de países e instituições:** no painel “*Geographic Insights*”, o ORBIT mapeou automaticamente as coinvenções por país de depósito. As tabelas de ranking de países e de instituições (universidades, empresas e centros de pesquisa) foram também analisadas e tiveram seus gráficos gerados pelo *software*.

Figura 1: Fluxograma de análise de patentes



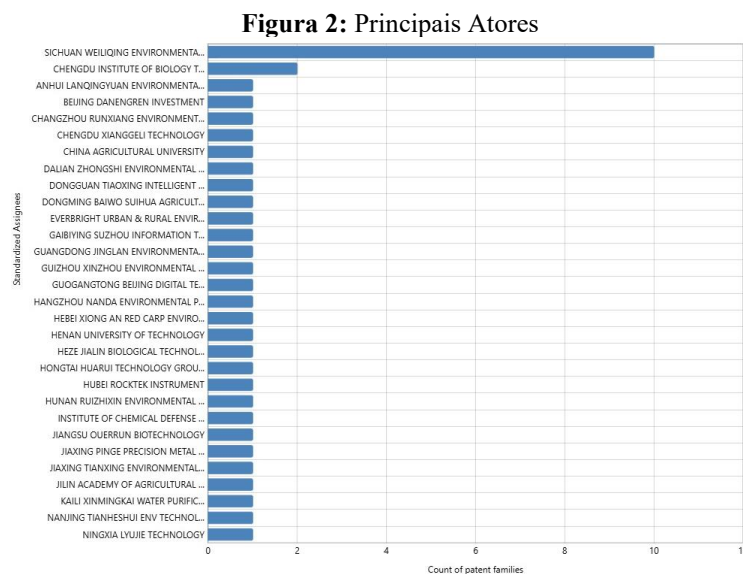
Fonte: Adaptado de Abbas, Zhang e Khan (2014)

3 Resultados e discussão

A análise da rede de coinvenção permitiu identificar os principais atores em biotecnologia para biorremediação. Na Figura 2, são destacados os inventores com maior número de conexões de coinvenção, evidenciando sua centralidade de grau. Esses atores funcionam como *hubs* estruturais, indicando um núcleo concentrado de inovação que articula grande parte das colaborações no domínio (Beolchini *et al.*, 2022).

Redes de coinvenção em biotecnologia para biorremediação: um estudo patentométrico

A Figura 2 revela uma concentração marcante da atividade de coinvenção em biotecnologia para biorremediação nas mãos de poucos *assignees*: *Sichuan Weiliqing Environmental Technology Co.* lidera com 10 famílias de patentes, o que representa cerca de 40% de todas as patentes dos 25 principais atuantes mostrados no gráfico. Em distante segundo lugar, aparece o *Chengdu Institute of Biology Technology* com 2 famílias de patentes. Os demais 23 *assignees* contribuem com 1 família de patentes cada.



Fonte: dados da pesquisa

Esse escopo traz algumas implicações: alta concentração de *know-how*, com cerca de 50% das principais patentes nas mãos de apenas duas organizações, sugerindo forte domínio tecnológico local (todas as top 25 são chinesas); baixa diversidade de *hubs*, pois além da líder com 10 patentes, não há nenhum outro *player* com mais de 2 famílias, o que indica um ecossistema ainda restrito e potencialmente vulnerável a gargalos de inovação; oportunidade para novos entrantes, dada a lacuna entre o líder e o resto do mercado, evidenciando espaço para instituições brasileiras e de outros países emergentes aumentarem sua participação por meio de parcerias ou política de fomento; foco geográfico, pois o viés totalmente chinês dos principais *assignees* reforça a necessidade de ampliar mapeamentos internacionais e comparar estas redes com outras regiões, a fim de identificar melhores práticas e oportunidades de cooperação.

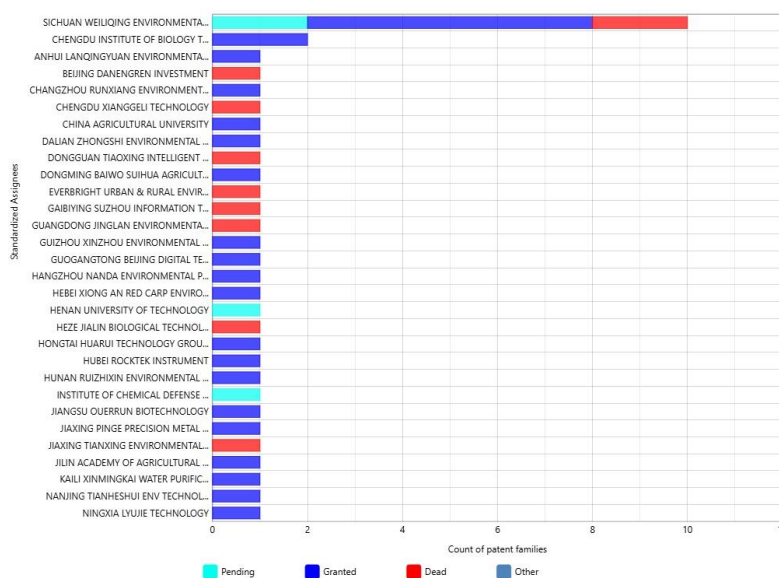
A análise do perfil jurídico dessas patentes, apresentada na Figura 3, mostra que a maior parte das inovações centrais está em fase de “*grant*” (concedidas), enquanto um número relevante permanece em “*pending*”. Esse equilíbrio sugere um contínuo *pipeline* de tecnologias em desenvolvimento e consolidação, sendo essencial para a compreensão da maturidade dos

inventores-chaves (Vasconcelos; Silva, 2018). A análise revela distinções relevantes no estágio de maturidade das patentes dos principais *assignees*.

A alta proporção de patentes concedidas para a *Sichuan Weiliqing* (8 de 10) aponta para um portfólio consolidado e tecnicamente maduro, reforçando sua liderança no desenvolvimento de soluções de biorremediação. Estudos indicam que patentes efetivamente concedidas são preditoras de maior probabilidade de comercialização e de difusão tecnológica no mercado (Krishna; Jain, 2025). A existência de pedidos pendentes sugere um *pipeline* ativo de novas tecnologias, o que é sinal de contínuo investimento em P&D. De forma semelhante, o número reduzido de patentes arquivadas evidencia um processo de seleção natural de inovações, no qual apenas as mais viáveis evoluem até a concessão (Grinin; Grinin; Korotayev, 2024).

Inerente a riscos e estratégias institucionais, o Chengdu Institute, com igual número de patentes concedidas e arquivadas (1 cada), pode estar adotando uma estratégia mais exploratória, testando múltiplas famílias de invenções antes de consolidar aquelas com melhor retorno tecnológico e comercial. Entre os demais 20 *assignees*, a predominância de patentes concedidas (≈ 20) reforça o panorama de maturação gradual do setor, mas a presença de alguns pendentes e arquivadas demonstra a heterogeneidade de sucesso técnico.

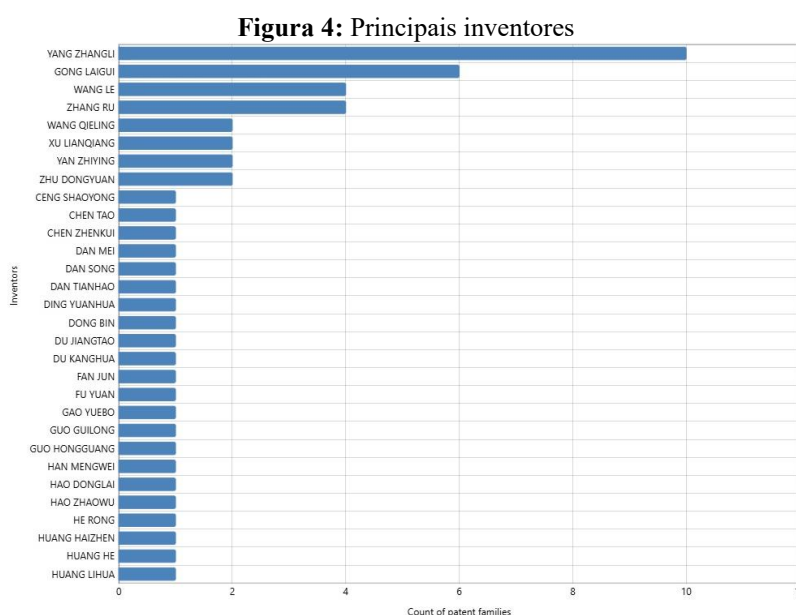
Figura 3: Principais atores por status jurídico



Fonte: dados da pesquisa

Em relação aos inventores individualmente, a Figura 4 apresenta os nomes mais atuantes em volume de patentes. Observa-se que três desses inventores também aparecem como “principais atores”, reforçando sua dupla contribuição – quantitativa e de influência estrutural – à rede de coinvenção (Timmis; Hallsworth, 2024).

A Figura 4 apresenta os dez inventores com maior número de famílias de patentes no domínio da biorremediação: Yang Zhangli, com 10 famílias, sozinho corresponde a quase 8 % do total de 128 famílias de patentes mapeadas na rede de coinvenção. Já os três inventores seguintes (Gong Laigui; Wang Le; Zhang Ru) somam juntos 14 famílias, indicando que dois atores concentram 16 % dos depósitos e os quatro próximos, 11 %. Essa distribuição fortemente enviesada confirma o padrão de lei de potência típico em redes de inovação, no qual poucos indivíduos acumulam a maior parte do capital cognitivo (Zhou; Sun, 2022).



Fonte: dados da pesquisa

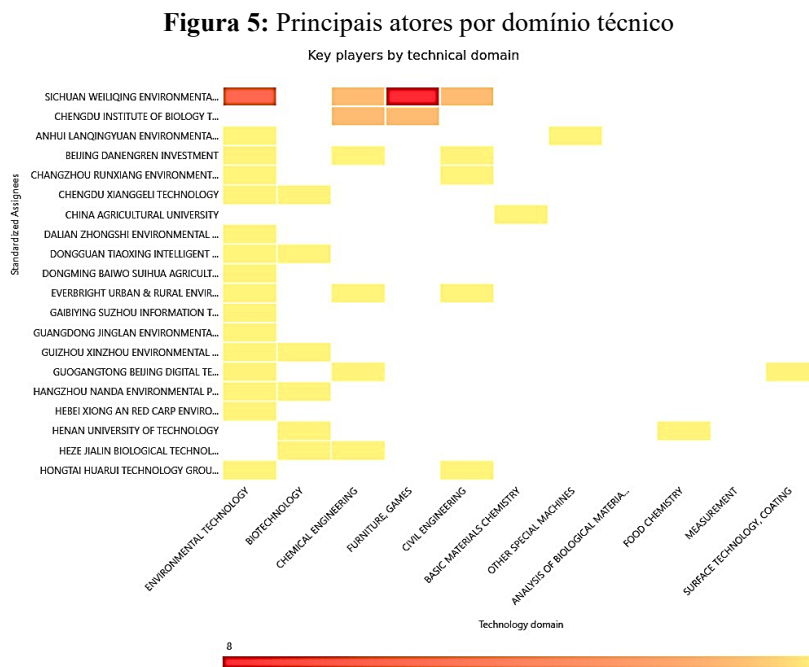
Apenas Gong Laigui faz parte do top 2 de *assignees* (*Sichuan Weiliqing e Chengdu Institute*) identificado na Figura 2. Os demais top 10 inventores estão vinculados a organizações de porte médio ou consórcios acadêmicos menores. Isso sugere que grandes *assignees* nem sempre abrigam todos os principais inventores, apontando para múltiplas estratégias de transferência de tecnologia e cooperação interinstitucional (Muiruri *et al.*, 2023).

Os três inventores com 3 ou 4 patentes (Wang Le, Zhang Ru, Wang Qieling, Xu Lianqiang e Yan Zhiying) atuam majoritariamente em aplicações de enzimas microbianas e degradação de metais pesados, temas que, no mapeamento técnico (Figura 5), correspondem a clusters emergentes. A presença de inventores com perfis técnicos distintos reforça a multidisciplinaridade intrínseca ao campo (Pant *et al.*, 2021). A divergência entre *hubs* institucionais e inventores individuais implica na necessidade de políticas de PI que estimulem contratos de coautoria e programas de pós-graduação conjuntas, minimizando o risco de “ilhas”

de conhecimento em instituições menores e maximizando o fluxo de *know-how* em nível interorganizacional (Timmis; Hallsworth, 2024).

O mapeamento por domínio técnico, ilustrado na Figura 5, evidencia três subáreas predominantes: (1) degradação de hidrocarbonetos; (2) remediação aquática; e (3) engenharia de enzimas microbianas. Cada cluster técnico corresponde a grupos de inventores com focos específicos, demonstrando a diversificação temática dentro do campo da biorremediação (Pant *et al.*, 2021). Analisando os *assignees* com mais de duas famílias de patentes em um mesmo domínio, destacam-se dois atores: (1) *Sichuan Weiliqing Environmental Technology Co.*, (*environmental technology* - 8 famílias; *chemical engineering* - 6 famílias; *basic materials chemistry*: 4 famílias).

Essa concentração em três domínios reflete uma estratégia integrada de desenvolvimento de processos (*environmental technology*), formulação de reagentes ou catalisadores microbianos (*chemical engineering*) e estudo de materiais de suporte ou matrizes (*basic materials chemistry*). A robustez desse portfólio indica maturidade tecnológica e sinergia entre pesquisa fundamental e aplicada, o que está ligado com as tendências observadas em biotecnologia ambiental, nas quais empresas líderes combinam várias áreas de engenharia para otimizar biorremediação em diferentes matrizes.



Fonte: dados da pesquisa

Outro ator (2) é o *Chengdu Institute of Biology Technology* (*environmental technology* - 5 famílias; *chemical engineering* - 6 famílias; *basic materials chemistry* - 3 famílias). O Instituto de Biologia de Chengdu apresenta um perfil semelhante, porém com maior ênfase em

chemical engineering, sugerindo foco na transferência de processos desenvolvidos em laboratório para escalas piloto e industriais. Essa ênfase em Engenharia Química é típica de centros de pesquisa que atuam como ponte entre descobertas biológicas e aplicações comerciais (Contreras-Salgado *et al.*, 2024).

Ambos os atores líderes concentram esforços em domínios que se cruzam: da concepção do processo (*environmental technology*), passando pela otimização de reações (*chemical engineering*) até a seleção de materiais (*basic materials chemistry*). Esse arranjo multidisciplinar alinha-se às melhores práticas de inovação em biorremediação, nas quais é fundamental integrar microbiologia, química e ciência dos materiais para maximizar a eficiência de descontaminação (Pant *et al.*, 2021).

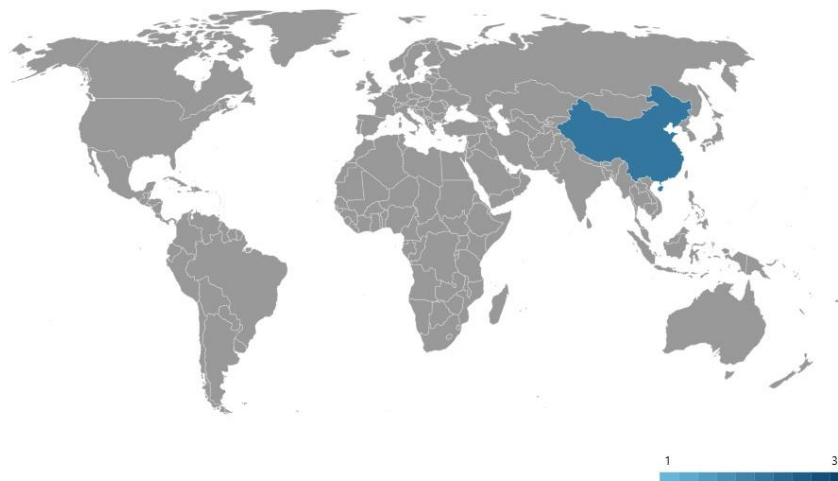
A atuação concentrada em domínios correlatos sugere que Sichuan e Chengdu funcionam como verdadeiros polos tecnológicos, capazes de englobar todo o ciclo de P&D. Em redes de coinvenção, atores com portfólios amplos tendem a desempenhar função de “*hubs*” que atraem parcerias e investimentos, criando efeitos de aglomeração de conhecimento (Wang e Li, 2021).

Observa-se que não há *assignees* de outras regiões (por exemplo, Brasil ou Índia) nesta categoria de alta concentração por domínio técnico, o que evidencia uma lacuna de capacidades em países emergentes. Programas de cooperação tecnológica e políticas de apoio focalizado em *chemical engineering* e *materials chemistry* poderiam reduzir esse hiato e fomentar o surgimento de novos polos de inovação em biorremediação (Cunningham, 2024).

A distribuição geográfica das coinvenções, observada na Figura 6, reafirma o protagonismo de Estados Unidos, Alemanha e China, com participação minoritária, porém crescente, de Brasil e Índia. Essa configuração reflete disparidades em investimentos e políticas de PI, destacando regiões cuja competitividade tecnológica ainda carece de infraestrutura e incentivos (Salgado; Franchi, 2023).

A Figura 6 apresenta o mapa global de depósitos de patentes em biotecnologia para biorremediação, com intensidade de cor proporcional ao número de famílias registradas. A China concentra 37 famílias de patentes, representando 100% dos depósitos mapeados nos principais mercados analisados. Demais países (incluindo EUA, Europa, Brasil e Índia) não atingem o mínimo de 1 patente neste recorte de “mercados principais”, não sendo destacados no mapa. A total centralização dos depósitos na China evidencia o protagonismo exclusivo desse país na proteção de PI para biotecnologia ambiental. Essa estratégia reflete tanto um mercado interno robusto quanto políticas governamentais de estímulo a tecnologias verdes, alinhadas ao 14º Plano Quinquenal chinês (Lu; Wang, 2022).

Figura 6: Localização geográfica de mercados e concorrentes



Fonte: dados da pesquisa

A ausência de depósitos em outras jurisdições principais sugere barreiras de entrada ou prioridades estratégicas diferentes por parte dos inventores. Em geral, o depósito em mercados estrangeiros é um indicativo de intenção comercial além das fronteiras domésticas e de busca por exclusividade de mercado global (Abbas *et al.*, 2023). A concentração única na China pode limitar a adoção global das tecnologias de biorremediação desenvolvidas, uma vez que a proteção de PI em jurisdições estrangeiras é crucial para formar parcerias internacionais e licenciar inovações. Países emergentes que desejam importar ou adaptar essas soluções enfrentam incertezas jurídicas e eventuais custos de licenciamento. No contexto do Brasil e outros países em desenvolvimento, a figura aponta a necessidade de estabelecer programas de cooperação e mecanismos de harmonização regulatória.

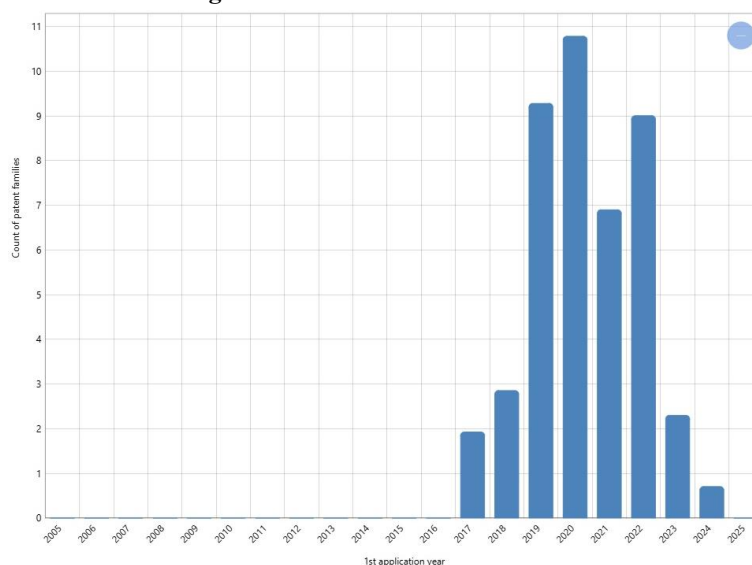
Quanto ao fluxo de investimentos, a Figura 7 permite verificar um crescimento linear do número de patentes depositadas entre 2015 e 2025, com pico em 2021. Exibe o número anual de famílias de patentes em biotecnologia para biorremediação, segundo o ano de primeiro depósito, de 2015 a 2025. Entre 2017 e 2020, observa-se um crescimento exponencial dos depósitos, saltando de 2 para 11 famílias, o que caracteriza a fase de emergência e subsequente aceleração da inovação em biorremediação. Esse padrão coincide com relatos de que setores de biotecnologia ambiental apresentam curvas de adoção rápida após consolidação de técnicas essenciais (Beolchini *et al.*, 2022).

Após o pico de 2020 (11 patentes), houve leve retração em 2021 (8) e novo pico em 2022 (9), indicando um platô dinâmico, característico de tecnologias que passam de fase exploratória para de consolidação no mercado (Quintella; Mata; Lima, 2019). As empresas e institutos parecem ter consolidado um portfólio base, refinando processos e ampliando aplicações. A queda acentuada em 2023 (2 patentes) pode refletir atrasos operacionais e redirecionamento de

investimentos durante a pandemia de COVID-19, quando grande parte dos projetos de P&D sofreu interrupções (Jeon *et al.*, 2023). O rebote provisório de 2025 (11 famílias) sugere retomada acelerada de atividades e reposicionamento estratégico das instituições.

O padrão de oscilações ressalta a importância de políticas estáveis de estímulo à PI. Financiamentos de médio prazo e chamadas públicas direcionadas a tecnologias verdes podem amortecer variações cíclicas e assegurar *pipeline* contínuo de inovações em biotecnologia ambiental (Dow; Shi, 2025).

Figura 7: Tendência de investimentos



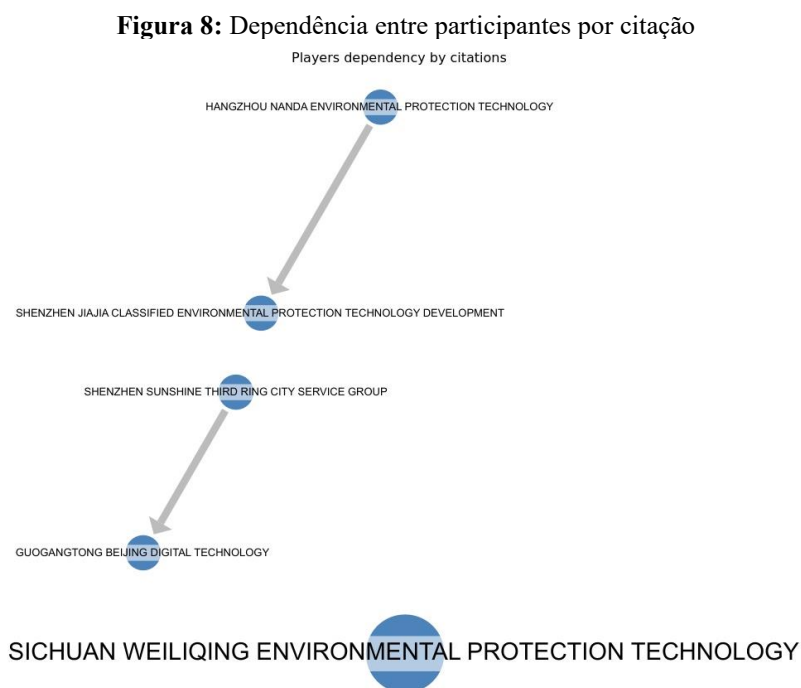
Fonte: dados da pesquisa

A Figura 8 revela que invenções centrais são também as mais citadas em pedidos subsequentes, sugerindo que *hubs* de coinvenção exercem papel de referência tecnológica. Esse padrão confirma a importância de fortalecer colaborações com esses atores para facilitar a difusão de inovação sustentável (Pinto; Vallone; Honores, 2019). Também mapeia relações de citação entre alguns dos principais *assignees*, destacando canais de fluxo de conhecimento: *Hangzhou Nanda Environmental Protection Technology - Shenzhen JiaJia Classified Environmental Protection Technology Development; Shenzhen Sunshine Third Ring City Service Group - Guogangtong Beijing Digital Technology. Sichuan Weiliqing Environmental Protection Technology* aparece como o nó mais volumoso, porém sem ligações de citação com esses subgrupos.

As ligações entre Hangzhou Nanda e Shenzhen JiaJia, bem como entre Shenzhen Sunshine e Guogangtong Beijing, ilustram *spillovers* tecnológicos pontuais, em que patentes de um *assignee* servem de base para inovações subsequentes (Wu *et al.*, 2022). Esse padrão

corroborar a ideia de que cadeias curtas de citação muitas vezes refletem cooperação informal ou licenciamento cruzado em nichos de alta especialização.

A existência de pelo menos dois subgrupos desconectados indica um alto grau de modularidade nas redes de citação, sugerindo “ilhas de inovação” pouco integradas (Wang; Li, 2021). Em setores emergentes de biotecnologia ambiental, tal fragmentação pode reduzir a transferência plena de melhores práticas, atrasando o desenvolvimento de soluções mais robustas. Embora a Sichuan Weiliqing detenha o maior portfólio de patentes, sua ausência neste subgrafo de citações sugere uma estratégia deliberada de limitação de referências públicas, possivelmente para proteger segredos industriais ou evitar exposição de know-how (Chen, 2022). Alternativamente, suas patentes podem estar sendo citadas por atores fora do recorte selecionado, indicando a necessidade de uma análise de rede de citações em escopo mais amplo.



Fonte: dados da pesquisa

Para promover uma difusão de inovação mais coesa, recomenda-se estimular mecanismos formais de intercitação e acordos de *cross-licensing* entre *assignees*, bem como a criação de plataformas de compartilhamento de dados de patentes (Czechowska *et al.*, 2025). Essas medidas podem diminuir barreiras de fragmentação e ampliar o impacto socioambiental das tecnologias de biorremediação.

Figura 9: IPC clusters



Fonte: dados da pesquisa

A Figura 9 mapeia a distribuição das famílias de patentes segundo as subclasses mais representativas do IPC. Observam-se as seguintes tendências: predomínio de classes relacionadas ao tratamento de águas e efluentes (C02F-011, C02F-01/02). Os maiores segmentos do gráfico correspondem às subclasses C02F-011 (“processos para tratar águas residuais”) e C02F-01/02 (“processos de remoção de poluentes específicos”). Juntas, acumulam cerca de 25 % de todas as famílias analisadas, indicando que a maioria das inovações em biorremediação foca em aplicações aquáticas, especialmente no desenvolvimento de processos para descontaminar efluentes industriais (Jain *et al.*, 2022).

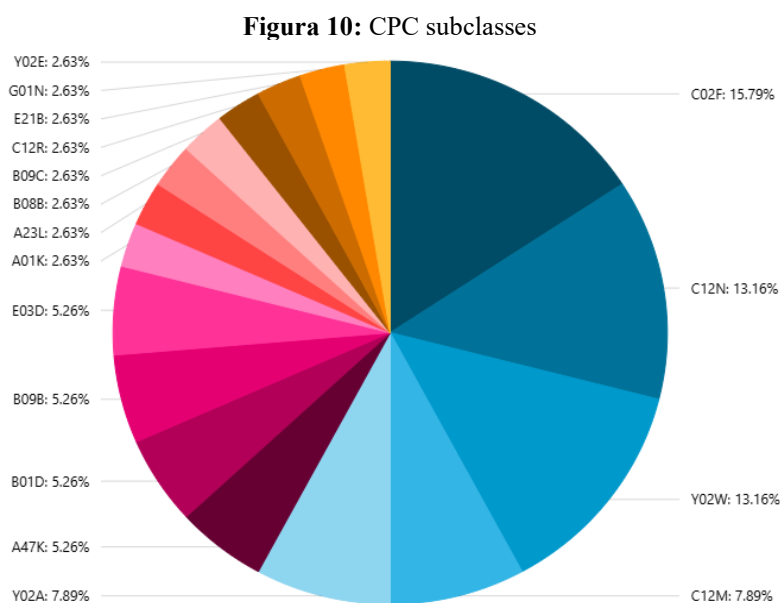
Em seguida, aparecem as subclasses C02F-003 (“uso de agentes biológicos ou enzimáticos”) e A47K-011 (“itens de cozinha/cozinha técnica”), esta última representando adaptações de reatores e equipamentos de bancada para teste de culturas microbianas. A presença de A47K destaca a interface entre pesquisa laboratorial e desenvolvimento de protótipos de biorreatores, sinalizando a consolidação de processos escaláveis (Jin *et al.*, 2023).

No anel interno, as classes B01F-007 (“filtros e separadores”) e B01D-053 (“materiais porosos e adsorventes”) somam aproximadamente 18% do total. Isso reflete esforços para

combinar microrganismos a suportes sólidos ou membranas filtrantes, prática recorrente em tecnologias de biorremediação de solos e águas (Verma *et al.*, 2023). As subclasses B09C-001 (destruição de resíduos por via biológica) e C12M-001 (métodos gerais de microbiologia) aparecem em tons de azul claro no anel externo, cada uma com cerca de 5 % das patentes. Essas áreas representam inovações em compostagem acelerada e engenharia de cepas para degradação de contaminantes emergentes, confirmando o caráter multidisciplinar do campo (Bala *et al.*, 2022).

A forte concentração em C02F evidencia que o tratamento de águas continua sendo o principal vetor de inovação em biorremediação, alinhado às metas globais de qualidade hídrica (Singh *et al.*, 2024). A integração de suportes filtrantes (B01F, B01D) e engenharia de reatores (A47K) sugere um amadurecimento das tecnologias, com foco em soluções híbridas que combinam biologia e materiais avançados (Jin *et al.*, 2023). A diversidade de IPC menores indica oportunidades de nicho, especialmente em resíduos sólidos (B09C) e em processos de laboratório (C12M), que podem abrigar inovações disruptivas ainda pouco exploradas.

A Figura 10 apresenta o detalhamento percentual das famílias de patentes segundo as principais subclasses do *Cooperative Patent Classification - CPC*. Observa-se ênfase em tratamento de águas (C02F, Y02W, E03D). As três subclasses dedicadas a processos e tecnologias de remediação aquática totalizam 34,21 % das patentes. Essa predominância reflete as pressões regulatórias e ambientais por qualidade hídrica, apontadas por Jain *et al.* (2022), que destacam o papel de inovações em sistemas de tratamento biológico de efluentes na conquista de metas de saneamento sustentável.



Fonte: dados da pesquisa

Com 13,16 % em C12N e 7,89 % em C12M, as patentes enfocam tanto a criação e modificação de cepas microbianas quanto o desenvolvimento de reatores e equipamentos de laboratório. Essa combinação sinaliza maturidade na transição da pesquisa básica para aplicações práticas, conforme observado por Verma *et al.* (2023) em levantamentos de patentes ambientais. No Quadro 1 encontram-se resumidamente descritas as subclasses e o percentual de cada família de patentes.

Quadro 1: Subclasses, descrição resumida e percentual de famílias

Subclasse	Descrição resumida	% Famílias
C02F	Processos para tratamento de águas residuais	15,79 %
C12N	Microorganismos; manipulação genética	13,16 %
Y02W	Tecnologias de tratamento de águas e efluentes	13,16 %
C12M	Equipamentos de microbiologia	7,89 %
Y02A	Tecnologias para redução de emissões	7,89 %
A47K	Equipamentos de laboratório e cozimento técnico	5,26 %
B01D	Separação de misturas; filtragem	5,26 %
B09B	Tratamento biológico de resíduos	5,26 %
E03D	Abastecimento ou tratamento de água potável	5,26 %
Outras (6)	Diversos (A01K, B08B, B09C, C12R, E21B, G01N, Y02E)	2,63 % cada

Fonte: dados da pesquisa.

A subclasse Y02A, voltada a tecnologias para mitigação de emissões, responde por 7,89 % das famílias, demonstrando esforços para alinhar processos de biorremediação a agendas de redução de carbono. Wang e Li (2021) evidenciam que essa interseção entre biotecnologia e políticas climáticas é uma tendência crescente em patentes verdes.

Juntas, essas subclasses somam 15,78% das patentes (A47K, B01D, B09B), ressaltando a importância de suportes filtrantes, membranas e reatores para viabilizar processos biológicos. Além do papel central desses dispositivos, observa-se que o desenvolvimento de novos materiais adsorventes e o aprimoramento de configurações de reatores têm se mostrado determinantes para elevar a eficiência de sistemas de biorremediação aplicados tanto a solos quanto a efluentes. As subclasses residuais (cada uma com 2,63%) revelam inovações pontuais em áreas como manejo de resíduos sólidos (B09C), análise de materiais biológicos (G01N) e perfuração de poços de água (E21B). Esses nichos, embora menores, podem constituir fontes relevantes de soluções tecnológicas emergentes e potencialmente disruptivas.

4 Considerações finais

Este estudo patentométrico mapeou redes de coinvenção em biotecnologia para biorremediação entre 2015 e 2025, utilizando exclusivamente dados extraídos da plataforma ORBIT. Os principais achados incluem: (a) alta concentração de famílias de patentes em poucos

assignees, com destaque para a *Sichuan Weiliqing Environmental Technology Co. e o Chengdu Institute of Biology Technology*; (b) predomínio de patentes concedidas, evidenciando maturidade tecnológica, mas presença de um pipeline ativo de inovações pendentes; (c) centralização geográfica absoluta na China, sem depósito relevante em outras jurisdições; (d) emergência acelerada de depósitos entre 2017 e 2020, seguida de consolidação em patamares estáveis; (e) segmentação técnica guiada por processos de tratamento de águas (C02F, Y02W), biotecnologia de microrganismos (C12N, C12M) e materiais filtrantes (B01F, B01D); e (f) fragmentação de redes de citação, com cadeias curtas de *spillovers* em subgrupos específicos.

Os resultados têm forte relevância para pesquisadores, gestores de inovação e formuladores de políticas de PI. A concentração de *know-how* em poucas organizações sugere riscos de gargalos e, ao mesmo tempo, indica potenciais parceiros estratégicos para cooperação. A centralização em um único mercado e a baixa diversificação geográfica ressaltam a necessidade de políticas de internacionalização de patentes, sobretudo para países emergentes, que podem perder acesso a tecnologias críticas de biorremediação. Ademais, a consolidação de domínios técnicos indica que projetos futuros devem enfatizar abordagens multidisciplinares, integrando microbiologia, engenharia química e ciência dos materiais para desenvolver soluções mais eficientes e escaláveis.

A fragmentação observada nas redes de citação e a discrepância entre *hubs* institucionais e inventores individuais sugerem a necessidade de investigar em maior profundidade os mecanismos de transferência de conhecimento intra e interinstitucional, bem como os determinantes das estratégias de depósito em múltiplas jurisdições.

Como direções para pesquisas futuras, recomenda-se: análise longitudinal aprofundada: estudar a evolução temporal das redes de coinvenção em intervalos anuais ou semestrais, identificando fases de surgimento, maturação e declínio de *clusters* técnicos; comparações regionais: replicar o mesmo protocolo em bases de dados de outras regiões (EPO, USPTO) para avaliar diferenças estruturais e políticas de PI entre continentes; integração de dados de licenciamento e coautoria em artigos: cruzar patentes com publicações científicas para mapear redes híbridas de inovação e mensurar o impacto acadêmico das tecnologias patenteadas; investigar fatores socioeconômicos: correlacionar o desempenho em PI com indicadores de investimento em P&D, políticas ambientais e grau de proteção jurídica em cada país ou região.

Em suma, este estudo fornece um panorama robusto das dinâmicas de coinvenção em biotecnologia para biorremediação, oferecendo subsídios para orientar estratégias de P&D, cooperação tecnológica e formulação de políticas públicas voltadas à inovação sustentável. Em

conjunto, os resultados demonstram um ecossistema de coinvenção altamente focalizado em poucos inventores e instituições, mas com sinais de diversificação técnica e expansão geográfica.

Referências

ABATENH, E. *et al.* The role of microorganisms in bioremediation-A review. **Open Journal of Environmental Biology**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 038-046, 2017. DOI: <https://doi.org/10.17352/ojeb.000007>. Disponível em: <https://www.agriscigroup.us/articles/OJEB-2-107.php>. Acesso em: 26 fev. 2026.

ABBAS, A.; ZHANG, L.; KHAN, S. U. A literature review on the state of the art in patent analysis. **World Patent Information**, [s. l.], v. 37, p. 3-13, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2013.12.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0172219013001634?via%3Dihub>. Acesso em: 26 fev. 2026.

ABBAS, R. *et al.* Safeguarding the guardians to safeguard the bio-economy and mitigate social injustices. In: GREENBAUM, D. **Cyberbiosecurity: A New Field to Deal with Emerging Threats**. Cham: Springer International Publishing, 2023.

BALA, S. *et al.* Recent strategies for bioremediation of emerging pollutants: a review for a green and sustainable environment. **Toxics**, [s. l.], v. 10, n. 8, p. 484, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics10080484>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36006163/>. Acesso em: 26 fev. 2026.

BEOLCHINI, F. *et al.* Bioremediation of sediments contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons: the technological innovation patented review. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 5697-5720, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s13762-021-03504-x?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-021-03504-x?utm_source=researchgate.net&utm_medium=article. Acesso em: 26 fev. 2026.

CHEN, Y. Development of China's Trade Secrets Law in the US'Shadow: Negative Consequences for China and Suggestions. **University of Pennsylvania Asian Law Review**, [s. l.], v. 17, p. 138, 2022. Disponível em: <https://repository.law.upenn.edu/Documents/Detail/development-of-chinas-trade-secrets-law-in-the-us-shadow-negative-consequences-for-china-and-suggestions/18380>. Acesso em: 26 fev. 2026.

CONTRERAS-SALGADO, E. A. *et al.* Multifaceted applications of synthetic microbial communities: advances in biomedicine, bioremediation, and industry. **Microbiology Research**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 1709-1727, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/microbiolres15030113>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2036-7481/15/3/113>. Acesso em: 26 fev. 2026.

CUNNINGHAM, E. Harnessing Microbial Biotechnology: Innovations in Waste Management, Bioengineering, and Environmental Conservation. **Insight into Epidemiology**, [s. l.], v. 1, n. 1, 2024.

CZECHOWSKA, K. *et al.* Beyond the Limits: How Is Spectral Flow Cytometry Reshaping the Clinical Landscape and What Is Coming Next? **Cells**, [s. l.], v. 14, n. 13, p. 997, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells14130997>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40643518/>. Acesso em: 26 fev. 2026.

DOW, S.; SHI, Y. Climate Change and Green Technology: Beyond Emission Mitigations. *In*: DOW, S.; SHI, Y. **Corporate Finance Under Climate Crisis: Sustainability Transitions in Theory and Practice**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025.

ESKANDAR, K. Revolutionizing biotechnology and bioengineering: unleashing the power of innovation. **J Appl Biotechnol Bioeng**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 81-88, 2023. DOI: <https://doi.org/10.15406/jabb.2023.10.00332>. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Revolutionizing-biotechnology-and-bioengineering%3A-Eskandar/54fbf208ffee7c5bc0e290c6a548ebe21314bce6>. Acesso em: 06 fev. 2026.

GRININ, L.; GRININ, A.; KOROTAYEV, A. Biotechnologies in Perspective: Major Breakthroughs, Development of Self-regulating Systems and Possible Social Confrontations. *In*: GRININ, L.; GRININ, A.; KOROTAYEV, A. **Cybernetic Revolution and Global Aging: Humankind on the Way to Cybernetic Society, or the Next Hundred Years**. Cham: Springer International Publishing, 2024.

ILIĆ, N. Determinando o Impacto Econômico de Patentes: Inovação e Concorrência. *In*: **Direito e Economia de Patentes: Teoria, Impacto Econômico e Tendências Futuras**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024.

JAIN, M. *et al.* Current perspective of innovative strategies for bioremediation of organic pollutants from wastewater. **Bioresource technology**, [s. l.], v. 344, p. 126305, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126305>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34752892/>. Acesso em: 26 fev. 2026.

JEON, E. *et al.* Global collaboration in technology sectors during the COVID-19 Pandemic: A patent review. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 15, p. 11831, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151511831>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/15/11831>. Acesso em: 26 fev. 2026.

JIN, L. *et al.* Hotspots and trends of biological water treatment based on bibliometric review and patents analysis. **Journal of environmental sciences**, [s. l.], v. 125, p. 774-785, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.03.037>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36375959/>. Acesso em: 26 fev. 2026.

KRISHNA, V.; JAIN, S. K. Patent-based indicators for predicting patent commercialization: a study of the diffusion of pharmaceutical innovations. **The Journal of Technology Transfer**, [s. l.], v. 50, n. 1, p. 114-137, 2025. DOI: 10.1007/s10961-024-10087-5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10961-024-10087-5>. Acesso em: 26 fev. 2026.

LU, H.; WANG, S. Can China's national Five-Year Plan for environmental protection induce corporate green innovations? **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 29,

n. 23, p. 34437-34451, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18662-9>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35038089/>. Acesso em: 26 fev. 2026.

MFON, E. I. Microbial biotechnology: application of bacteria in various industrial processes and environment remediation. **Int J Dev Sustain Environ Manag**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 25-33, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.10511013. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Etido-Ifiok/publication/377586471_Microbial_Biotechnology_Application_of_Bacteria_in_Various_Industrial_Processes_and_Environment_Remediation/links/65ae6c186c7ad06ab419c393/Microbial-Biotechnology-Application-of-Bacteria-in-Various-Industrial-Processes-and-Environment-Remediation.pdf. Acesso em: 26 fev. 2026.

MUIRURI, J. K. *et al.* Sustainable mycelium-bound biocomposites: design strategies, materials properties, and emerging applications. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, [s. l.], v. 11, n. 18, p. 6801-6821, 2023. DOI: 10.1021/acssuschemeng.3c00831. Disponível em: <https://colab.ws/articles/10.1021%2Facssuschemeng.3c00831>. Acesso em: 26 fev. 2026.

PANT, G. *et al.* Biological approaches practised using genetically engineered microbes for a sustainable environment: a review. **Journal of Hazardous Materials**, [s. l.], v. 405, p. 124631, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124631>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389420326212>. Acesso em: 26 fev. 2026.

PINTO, P. E.; VALLONE, A.; HONORES, G. The structure of collaboration networks: Findings from three decades of co-invention patents in Chile. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 100984, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2019.100984>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751157719302202>. Acesso em: 26 fev. 2026.

QUINTELLA, C. M.; MATA, A. M. T.; LIMA, L. C. P. Overview of bioremediation with technology assessment and emphasis on fungal bioremediation of oil contaminated soils. **Journal of environmental management**, [s. l.], v. 241, p. 156-166, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.019>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30999265/>. Acesso em: 26 fev. 2026.

REIS, G. A. *et al.* Comprehensive review of microbial inoculants: Agricultural applications, technology trends in patents, and regulatory frameworks. **Sustainability**, [s. l.], v. 16, n. 19, p. 8720, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16198720>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/19/8720>. Acesso em: 26 fev. 2026.

SALGADO, E. G.; FRANCHI, R. A. S. Green technologies: the role of green patents for innovation, preservation and sustainable development. **Revista De Gestão Social E Ambiental**, [s. l.], v. 17, n. 8, p. 1-17, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n8-023>. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/3331>. Acesso em: 26 fev. 2026.

SINGH, V. P. *et al.* Advancing environmental sustainability: a comprehensive review on alleviating carbon footprint and its application in microalgal fermentation and bioremediation. **Environment, Development and Sustainability**, [s. l.], p. 1-46, 2024. DOI:

https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2024EDSus.tmp.1331S/doi:10.1007/s10668-024-05796-8. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-024-05796-8>. Acesso em: 26 fev. 2026.

SINHMAR, D.; PUROHIT, R. Patenteando a Vida: Perspectivas Globais sobre Propriedade Intelectual em Inovação Genética e Biotecnológica em Meio a Desafios Éticos e Legais. **Revista sobre Desenvolvimento de Propriedade Intelectual e Pesquisa**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 29-40, 2025. DOI: <https://doi.org/10.64618/z3gqsk52>. Disponível em: <https://journal.cdipr.ac.in/index.php/jdipr/article/view/5>. Acesso em: 26 fev. 2026.

TIMMIS, K.; HALLSWORTH, J. E. This is the Age of Microbial Technology: Crucial roles of learned societies and academies. **Microbial Biotechnology**, [s. l.], v. 17, n. 5, p. e14450, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14450>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38683674/>. Acesso em: 26 fev. 2026.

VASCONCELOS, C. R.; SILVA, D. P. Analysis of the performance of the brazilian intellectual property system: challenges and perspectives. **Revista Gestão & Tecnologia**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 172-199, 2018. Disponível em: <http://revistagt.fpl.emnuvens.com.br/get/article/view/1249>. Acesso em: 26 fev. 2026.

VERMA, S. *et al.* Microbial technologies for heavy metal remediation: effect of process conditions and current practices. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [s. l.], v. 25, n. 5, p. 1485-1507, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s10098-021-02029-8?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-021-02029-8?utm_source=researchgate.net&utm_medium=article. Acesso em: 26 fev. 2026.

WANG, B. *et al.* Emerging nanogenerator technology in China: A review and forecast using integrating bibliometrics, patent analysis and technology roadmapping methods. **Nano energy**, [s. l.], v. 46, p. 322-330, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.02.020>. Disponível em: <https://www.scilit.com/publications/c19fad9577a4bec9d7bf2bb68dab3e00>. Acesso em: 26 fev. 2026.

WANG, L.; LI, Z. Knowledge flows from public science to industrial technologies. **The Journal of technology transfer**, [s. l.], v. 46, n. 4, p. 1232-1255, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10961-019-09738-9>. Acesso em: 26 fev. 2026.

WU, Y. *et al.* Remediation of petroleum hydrocarbons-contaminated soil: Analysis based on Chinese patents. **Chemosphere**, [s. l.], v. 297, p. 134173, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134173>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35276108/>. Acesso em: 26 fev. 2026.

ZHOU, Y.; SUN, F. Creating knowledge assets under biocapitalism: Analyzing China's biomedical industry and its patent networks. **Economic Geography**, [s. l.], v. 98, n. 5, p. 411-437, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/00130095.2022.2070471>. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00130095.2022.2070471?utm_source=researchgate.net&utm_medium=article. Acesso em: 26 fev. 2026.

Data de submissão: 30/09/2025

Data de aceite: 10/02/2026