

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS DOIS VIZINHOS
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS E BIOTECNOLOGIA**

RENATA CÂNDIDO ARAÚJO DE LIMA

**PROCESSOS DE ADSORÇÃO USANDO BIOCARVÃO: TENDÊNCIAS E
PERSPECTIVAS A PARTIR DE UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA**

***ADSORPTION PROCESSES USING BIOCHAR: TREND AND PERSPECTIVES
FROM A SCIENTOMETRIC ANALYSIS.***

DOIS VIZINHOS

2021

RENATA CÂNDIDO ARAÚJO DE LIMA

**PROCESSOS DE ADSORÇÃO USANDO BIOCARVÃO: TENDÊNCIAS E
PERSPECTIVAS A PARTIR DE UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA**

***ADSORPTION PROCESSES USING BIOCHAR: TREND AND PERSPECTIVES
FROM A SCIENTOMETRIC ANALYSIS.***

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e
Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Profa. Dra. Andréia Anschau.

DOIS VIZINHOS

2021

RENATA CÂNDIDO ARAÚJO DE LIMA

**PROCESSOS DE ADSORÇÃO USANDO BIOCARVÃO: TENDÊNCIAS E
PERSPECTIVAS A PARTIR DE UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA**

***ADSORPTION PROCESSES USING BIOCHAR: TREND AND PERSPECTIVES
FROM A SCIENTOMETRIC ANALYSIS.***

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e
Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 11/maio/2021

Pedro Yahico Ramos Suzaki
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Nédia de Castilhos Ghisi
Doutorado em Ciências Ambientais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Andréia Anschau
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DOIS VIZINHOS

2021

Aos meus pais e ao meu irmão, vocês são tudo na minha vida, obrigada por sempre me apoiarem e fazerem de tudo para este sonho se tornar realidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me sustentar e me fortalecer para conquistar os meus objetivos e seguir em frente.

Aos meus pais, Marlene e Remi, que dedicam suas vidas para me ensinar e me guiar, que sempre me apoiam e embarcam juntos em todos os meus sonhos. Ao meu irmão Renan e a minha amiga Lays, que sempre me apoiam, me escutam e me incentivam todos os dias a ser alguém melhor.

Um agradecimento especial a minha professora Andréia Anschau, que me deu todo o suporte necessário desde o início da graduação, durante as pesquisas de iniciação científica, aos experimentos no laboratório e a elaboração deste trabalho. Obrigada por ser você com toda essa paciência, dedicação e ensinamento, com certeza tornou a caminhada mais leve.

Aos meus amigos da faculdade, cada um tem um espaço especial em minha vida, obrigada por fazerem parte desta etapa, vocês foram essenciais.

RESUMO

LIMA, Renata Cândido Araújo de. **Processos de adsorção usando biocarvão: Tendência e perspectivas a partir de uma análise cienciométrica**. 2021. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Dois Vizinhos, 2021.

Um dos maiores problemas que afetam o meio ambiente é a quantidade de materiais oriundos de atividades agrícolas, florestais e urbanas dispostos na natureza e em aterros sanitários. A produção de carvões ativados e biocarvões apresentam uma alternativa para destinação desses resíduos a fim de minimizar o impacto causado. Outro problema que vem se destacando nos últimos anos, é o lançamento indevido de efluentes industriais (contendo metais pesados, fármacos e corantes) em corpos hídricos, que acabam por contaminar também o solo. A adsorção se enquadra como um dos principais processos para remoção e diminuição destes resíduos do ambiente devido às propriedades características do carvão. Sendo assim, os biocarvões podem ser produzidos a partir de resíduos para processos de adsorção. A revisão sistemática da literatura se difere da revisão de literatura tradicional pois utiliza de uma abordagem mais racional para seleção de artigos bem como sua análise, para isso são necessárias aplicações de leis e ferramentas. O objetivo deste trabalho foi identificar as tendências e perspectivas dos processos de adsorção por biocarvão a partir de uma análise cienciométrica. A análise cienciométrica foi composta por diversas fases, a primeira foi a definição do tema de pesquisa e a busca das palavras chaves (*biochar AND adsorption*) na base de dados. Entre 2001 e 2020, 712 publicações obtidas na base de dados *Web of Science* foram exportadas e analisadas usando a ferramenta *Bibliometrix* para definição e análise crítica dos principais autores, periódicos e países. O autor mais relevante de acordo com o número de citações globais foi Ahmad M. com seu artigo sobre processo de pirólise, o periódico e o país mais relevante com base na quantidade de artigos foi o Bioresource Technology e a China, respectivamente. Muitas vezes se torna inviável analisar e selecionar artigos devido ao grande número de resultados obtidos nas pesquisas. Nesse sentido, foi usada a metodologia *Methodi Ordinatio*, que permite classificar as publicações considerando o ano e número de citações de cada publicação e o fator de impacto do periódico. Com essa metodologia, foram selecionados 20 artigos com índice *InOrdinatio* acima de 200. Os resíduos agrícolas se destacaram como a biomassa mais utilizada para produção de biocarvão. Dentre os contaminantes, o que teve maior foco foram os metais pesados, devido a sua dificuldade de remoção do meio ambiente, para isso, em diversas publicações foi relatada a modificação da superfície do biocarvão a fim de facilitar o processo de adsorção.

Palavras-chave: Adsorção. Bibliometria. Biocarvão. Contaminantes. *Methodi Ordinatio*.

ABSTRACT

LIMA, Renata Cândido Araújo de. **Adsorption processes using biochar: Trend and perspectives from a scientometric analysis.** 2021. 100 f. Final Term Paper, (Bachelor of Bioprocess Engineering and Biotechnology) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2021.

One of the biggest problems that affect the environment is the amount of materials from agricultural, forestry and urban activities disposed in nature and in landfills. The production of activated carbon and biochar presents an alternative for the destination of these residues in order to minimize the impact caused. Another problem that has been highlighted in recent years is the improper release of industrial effluents (containing heavy metals, drugs and dyes) to water resources, which end up also contaminating the soil. Adsorption is one of the main processes for removing and reducing these residues from the environment due to the characteristic properties present in biochar. Thus, biochars fit into the waste treatment with adsorption processes. The systematic review of the literature differs from the review of the traditional literature in that it uses a more rational approach for the selection of articles as well as their analysis, for this, applications of laws and tools are necessary. The objective of this work was to identify the trends and perspectives of the adsorption processes by biochar from a scientometric analysis. The scientometric analysis was composed of several phases, the first was the definition of the research theme and the search for keywords in the database. Between 2001 and 2020, 712 publications obtained from the Web of Science database were exported and analyzed using the Bibliometrix tool to define and critically analyze the main authors, journals and countries. The most relevant author according to the number of global citations was Ahmad M. with his article on the pyrolysis process, the periodical and the most relevant country based on the number of articles was Bioresource Technology and China, respectively. It is often impracticable to analyze and select articles due to the large number of results obtained in the research. In this sense, the Methodi Ordinatio methodology was used, which allows classifying publications considering the year and number of citations for each publication and the journal's impact factor. With this methodology, 20 articles with an InOrdinatio index above 200 were selected. Agricultural residues stood out as the most used biomass for biochar production. Among the contaminants, the main focus was heavy metals, due to their difficulty in removing them from the environment. For this purpose, in several publications, the modification of the biochar surface was reported in order to facilitate the adsorption process.

Keywords: Adsorption. Bibliometrics. Biochar. Contaminants. Methodi Ordinatio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de adsorção	16
Figura 2 - Correlação entre as diferentes técnicas quantitativas de revisão	22
Figura 3 - Leis e princípios bibliométricos	25
Figura 4 - Etapas para construção de indicadores e mapeamento da ciência	28
Figura 5 - Etapas aplicadas do processo de clusterização dessa pesquisa.....	33
Figura 6 - Fluxograma para revisão sistemática de literatura.....	36
Figura 7 - Produção anual de artigos relacionados com adsorção e biocarvão	38
Figura 8 - Dez principais autores e seus vínculos aos periódicos (a) e relação entre os países com os principais autores (b)	39
Figura 9 - Periódicos mais relevantes de acordo com o nº de artigos publicados.....	40
Figura 10 - Número de publicações por ano de acordo com o periódico	41
Figura 11 - Periódicos com maior número de citações	41
Figura 12 - Zonas de análise da Lei de Bradford	42
Figura 13 - Classificação dos periódicos de acordo com o Índice-H.....	43
Figura 14 - Classificação de autores por número de publicações (a) e citações (b) .	45
Figura 15 - Linha do tempo com análise de publicações dos autores.....	46
Figura 16 - Lei de Lotka e produtividade científica dos autores	46
Figura 17 - Índice-H para os principais autores.....	47
Figura 18 - Instituições com maior número de publicações	48
Figura 19 - Produção científica por país (a) e respectivas citações (b).....	50
Figura 20 - Número de citações globais (a) e locais (b).....	51
Figura 22 - (a) Palavras-chave, (b) palavras-chave <i>plus</i> , (c) títulos e (d) resumos ...	53
Figura 23 - Frequência de palavras-chaves <i>plus</i>	54
Figura 24 - Frequência de palavras-chaves ao longo dos anos.....	54
Figura 25 - Rede de palavras-chave mais frequentes.....	56
Figura 26 - Temas motores da pesquisa.....	57
Figura 27 - Mapa temático e sua evolução ao longo dos anos	59
Figura 28 - Categorização dos temas ao longo dos anos	61
Figura 29 - Principais co-citações com mais de 10 conexões relacionadas entre periódicos.....	63
Figura 30 - Principais co-citações entre autores que possuem ao menos 10 conexões.....	64
Figura 31 - Rede de citações diretas.....	67
Figura 32 - Principais redes de coautoria	70
Figura 33 - Principais redes de coautoria entre as instituições	71
Figura 34 - Rede de colaboração entre os países.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação quanto à razão de MCP por número de artigos	49
Tabela 2 - Principais temas de pesquisa e respectiva centralidade	58
Tabela 3 - Ranking dos artigos com InOrdinatio acima de 200	73

LISTA DE SIGLAS

AM	Azul De Metileno
BC	Biocarvão
CA	Carvão Ativado
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
FI	Fator de Impacto
IBI	<i>International Biochar Initiative</i>
KNR	Azul Brilhante Reativo
RB	Rodamina B
SMX	Sulfametoxazol
TCE	Tricloroetileno
TET	Tetraciclina
WoS	<i>Web of Science</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 GERAL	15
2.2 ESPECÍFICOS	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 ADSORÇÃO	16
3.2 CARVÃO ATIVADO	17
3.3 BIOCARVÃO A PARTIR DE BIOMASSAS VEGETAIS	18
3.4 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	19
3.4.1 Ferramentas para Revisões Sistemáticas da Literatura	20
3.4.2 Indicadores Bibliométricos e Cienciométricos	23
3.4.2.1 Leis bibliométricas	23
3.4.2.2 Índice-H	25
3.4.2.3 Citações	26
3.4.2.4 Softwares de análise	28
3.4.2.5 Methodi ordinatio	29
4 METODOLOGIA	31
4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	31
4.2 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS	31
4.3 ESTRUTURAS DO CONHECIMENTO	32
4.4 METHODI ORDINATIO	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	37
5.1.1 Periódicos	40
5.1.2 Autores	44
5.1.3 Publicações	50
5.2 ESTRUTURAS DO CONHECIMENTO	55
5.2.1 Estrutura Conceitual	55
5.2.2 Estrutura Intelectual	62
5.2.3 Estrutura Social	69
5.3 METHODI ORDINATIO	72
5.3.1 Biomassas para Produção de Biocarvão	76
5.3.2 Processos de Adsorção de Contaminantes	76
6 CONCLUSÃO	82
REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

A utilização de materiais de baixo custo na obtenção de carvão ativado (CA) é uma alternativa para a utilização de rejeitos industriais alimentícios, que normalmente são descartados e acabam perdendo seu valor (JUCHEN et al., 2013). Resíduos agroindustriais podem ser reaproveitados representando uma importante estratégia no que tange a redução do acúmulo de resíduos em lixos e aterros sanitários, além de representar uma solução alternativa e econômica para o tratamento de efluentes (ANTUNES et al., 2018).

No Brasil a diversidade de biomassas e a disponibilidade de recursos renováveis pavimentam o uso estratégico de resíduos da cadeia produtiva agroindustrial para produção de materiais de valor agregado, como por exemplo produção de carvão vegetal (PAZ et al., 2017).

Dias et al. (2007) afirmam que o preparo de CA a partir de materiais residuais possui diversas vantagens, principalmente de natureza econômica e ambiental, de forma a diminuir os custos de disposição de resíduos, auxiliando na proteção do ambiente. O biocarvão, também conhecido como *biochar*, tem sido estudado em substituição ao CA. Embora ambos sejam materiais ricos em carbono, apresentam algumas diferenças em relação à forma como é produzido e a matéria-prima que é utilizada.

Os CAs têm sido estudados para aplicações de tratamento de água (KIM e KANG, 2008), adsorção de poluentes orgânicos (LILLO-RÓDENAS, CAZORLA-AMORÓS e LINARES-SOLANO, 2005), tratamento de fluidos poluídos com corantes (BONILLA-PATRICIOLET, MENDOZA-CASTILLO e REYNEL-ÁVILA, 2017), remoção de cloro de água potável (PAZ, PAZ e PEDROZA, 2018), adsorção de fenol em meio alcalino (GUILARDUCI et al., 2006) dentre outros contaminantes.

Os biocarvões também apresentam uma gama de aplicações e podem ser destinados para diversos segmentos da indústria, bem como para utilização residencial urbana e rural. De acordo com Froehlinch e Moura (2014), pode-se destacar seus usos em: tratamentos de ar, água e solo e tratamentos de efluentes de indústria química, farmacêutica e alimentícia, podendo também ser usado para melhoramento do solo, fertilizante e sequestro de carbono (MOHAN et al., 2014), apresentando grande potencial para remover metais potencialmente tóxicos tanto no ambiente aquático quanto nos solos (AHMAD et al., 2014; ZHAO et al., 2013).

A bibliometria e a cienciometria aplicam análises e estatísticas quantitativas às publicações como artigos de periódicos e suas respectivas citações. A avaliação quantitativa dos dados de publicação e citação é usada em quase todos os campos científicos para avaliar o crescimento, a maturidade, os principais autores, os mapas conceituais e intelectuais e as tendências de uma comunidade científica (ARIA, 2017). Analisar a produção científica de um portfólio de uma área do conhecimento, usando a abordagem bibliométrica, aumenta a objetividade e permite ao pesquisador analisar grandes quantidades de dados para identificar relacionamentos difíceis para os seres humanos detectarem sem o auxílio de computadores (WALLIN, 2012).

A produção de indicadores que permitam traçar o perfil da pesquisa científica na área de adsorção por biocarvão, pode possibilitar o diagnóstico da produção científica relacionada ao tema em comparação a outros países, e auxiliar por exemplo, nas tomadas de decisão. Cabem, portanto, nesse momento, as perguntas: como se configura a pesquisa sobre adsorção usando biocarvões a nível internacional? Quais são as tendências e oportunidades nessa área? Quem são os pesquisadores envolvidos nesses estudos? Quais são os principais periódicos que se dedicam em divulgar seus resultados?

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

O objetivo geral deste estudo foi mapear a produção científica sobre a adsorção a partir de biocarvão, identificar os pesquisadores atuantes, bem como os principais periódicos em que é escoada sua produção científica, contribuindo desta forma, para o mapeamento da ciência, proporcionando uma visão ampla sobre esta área de estudo.

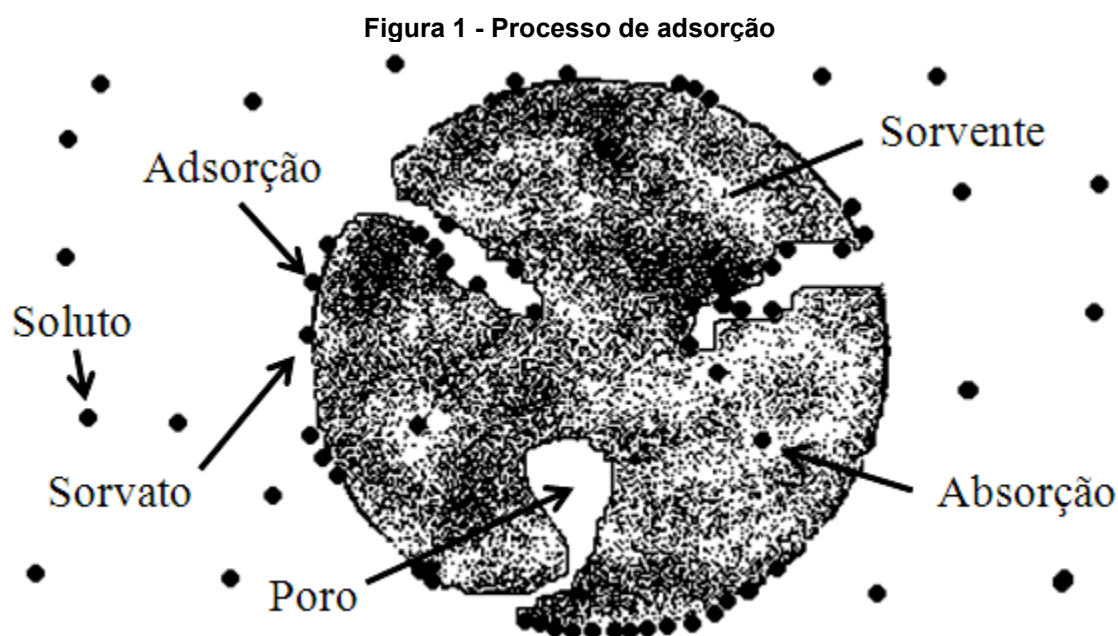
2.2 ESPECÍFICOS

- Estabelecer a intenção de pesquisa: processo de adsorção por biocarvão;
- Realizar pesquisa prévia das palavras-chave nas bases de dados;
- Definir a combinação de palavras-chave e a serem utilizadas nas bases de dados;
- Finalizar a busca na base de dados selecionada;
- Filtrar os resultados obtidos na base de dados;
- Mapear os resultados usando o *Bibliometrix*;
- Identificar os principais pesquisadores da área aplicando a Lei de Lotka;
- Identificar os principais periódicos, através da Lei de Bradford;
- Analisar os resultados obtidos, identificando os destaques, lacunas e os temas ainda pouco estudados na área;
- Aplicar a equação InOrdinatio da metodologia Methodi Ordinatio para ordenar os artigos mais relevantes dos últimos 20 anos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ADSORÇÃO

A adsorção é um processo da interação de uma espécie denominada adsorvato com outra contendo sítios adsorventes (Figura 1). As moléculas são acumuladas na camada interfacial do adsorvente (MCKAY, 1995). No sistema líquido-sólido, a adsorção é um processo de transferência de uma ou mais espécies da fase líquida para a superfície da fase sólida. Nesse processo as espécies presentes na fase líquida são atraídas para a área interfacial devido à existência de interações com a superfície do adsorvente (STUMM e MORGAN, 2012).



Fonte: Bonetto (2016)

No processo de adsorção é necessário considerar vários fatores, como: natureza do adsorvente, natureza do adsorvato e condições operacionais. As características do adsorvente incluem: área superficial (granulometria), tamanho do poro, densidade, entre outros (FERNANDES, 2008). O adsorvato depende da polaridade, do tamanho da molécula, da solubilidade e da acidez ou basicidade. As condições operacionais incluem, principalmente, temperatura, pH e natureza do solvente (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Altas temperaturas diminuem a viscosidade da solução contaminada e podem aumentar a taxa de difusão, aumentando a taxa de transporte através da camada

limite externa e no interior dos poros (SOTO et al., 2011). No entanto, altas temperaturas também podem ser capazes de romper as ligações adsorptivas e diminuir a adsorção. O que pode depender do composto orgânico a ser removido. No entanto, na maioria dos casos, baixas temperaturas tendem a ser melhores para a adsorção (SILVA, 2000).

O valor do pH é levado em consideração uma vez que o CA contém ácidos inorgânicos e outros grupos em sua superfície que podem alterar o pH dos líquidos ao qual for adicionado (VAGHETTI, 2009). A maioria dos compostos orgânicos são menos solúveis e mais rapidamente adsorvidos a baixos valores de pH, assim quanto maior for o pH, menor será a remoção (SILVA, 2000). O ideal é que a solução final apresente um pH neutro para evitar custos adicionais com reagentes para sua neutralização.

Em relação à área, a adsorção está relacionada com o contato entre superfícies, logo, área e adsorção são equipotentes (NASCIMENTO et al., 2020). Quanto maior for a área superficial da partícula, mais eficiente será o processo de adsorção.

3.2 CARVÃO ATIVADO

Uma grande variedade de resíduos convencionais (oriundos da agricultura e indústria da madeira) e não convencionais (oriundos de resíduos de atividades municipais e industriais) podem ser utilizados para a produção de CA. O CA é o material que apresenta maior capacidade de adsorção (CAVALCANTE, 2015).

Os métodos mais aplicados no preparo de CA são a ativação física e química. A ativação física é geralmente feita através da carbonização seguida da etapa de ativação utilizando o vapor d'água ou o dióxido de carbono (ÇEÇEN e AKTAS, 2012; AL-QODAH e SHAWABKAH, 2009). Uma desvantagem deste tipo de ativação é o baixo rendimento e uma heterogeneidade maior no produto (KIM et al., 2001).

A ativação química se caracteriza por uma reação sólido-sólido ou sólido-líquido envolvendo a redução de hidróxidos e oxidação do carbono, ou seja, desidratação e degradação da matéria-prima para gerar porosidade (ADINATA, DAUD e AROUA, 2007). Este método utiliza diferentes ativantes químicos, como: ácido fosfórico, ácido nítrico, peróxido de hidrogênio, cloreto de zinco, permanganato de

potássio, persulfato de amônio ou hidróxido de potássio (CEYHAN et al., 2013; HAIMOUR e EMEISH, 2006; THEYDAN e AHMED, 2012).

Uma das vantagens da ativação química é a utilização de temperaturas mais baixas de carbonização, na faixa de 350 a 900°C (HEYLMANN, 2015). Após a aplicação do agente químico à biomassa, a mistura é aquecida para carbonização, ou seja, a carbonização ocorre após a ativação química (MUSSATO et al., 2010). As principais vantagens da ativação química são: maior rendimento de CA; desenvolvimento da estrutura porosa; maior área superficial; temperatura e tempo de ativação menores, menor custo de energia (AHMED e THEYDAN, 2012; CEYHAN et al., 2013; DURAL et al., 2011; KALYANI e ANITHA, 2013).

3.3 BIOCARVÃO A PARTIR DE BIOMASSAS VEGETAIS

Por definição, segundo o comitê consultivo *International Biochar Initiative* (IBI) (2012), o *biochar* é um carvão de baixa granulometria rico em carbono orgânico e em grande parte resistente à decomposição. De acordo com Beesley et al. (2011) biocarvões são resíduos biológicos queimados sob condições de baixo oxigênio, resultando em um material poroso e rico em carbono de baixa densidade. Estes materiais são produzidos a partir da pirólise de plantas e resíduos de colheitas, biomassa de madeiras, restos de animais e resíduos sólidos (HU et al., 2010). Segundo Crini (2006) e Gao et al. (2011), os subprodutos da agricultura ou de agroindústrias podem ser considerados como adsorventes de baixo custo, uma vez que são abundantes na natureza, requerem pouco processamento e são materiais eficazes, fazendo com que aumente o interesse na obtenção de biocarvões proveniente destas biomassas.

Além disso, o seu emprego contribui para a diminuição do impacto ambiental negativo causado pelo descarte, muitas vezes indiscriminado, de resíduos no meio ambiente (LIMA, 2013). Tais resíduos, se não aproveitados, podem aumentar o potencial poluidor associado à disposição inadequada que, além da poluição de solos e de corpos hídricos, acarreta também problemas de saúde pública (ROSA, 2001). A busca por materiais alternativos de baixo custo que possam ser utilizados em substituição ao CA vem crescendo cada vez mais, dessa forma, as biomassas vegetais estão ganhando uma maior visibilidade. A utilização de biomassas se

enquadra perfeitamente no conceito de desenvolvimento sustentável, além de reduzir custos e não agredir o meio ambiente (CORDEIRO, 2011).

Resíduos de culturas agrícolas, como a palha de cereais, o talo de milho, o algodão, o bagaço da cana, entre outros, que são produzidos em bilhões de toneladas em todo o mundo, representam uma fonte abundante e de baixo custo de biomassa lignocelulósica prontamente disponível (BROWN JÚNIOR; SAXENA, 2007; KALIA; KAITH; KAUR, 2011). Dentre as principais características que fazem das biomassas vegetais bons precursores para a produção de biocarvão podem ser citadas: o baixo teor de cinzas, a grande durabilidade, o alto teor de carbono e lignocelulose, a baixa quantidade de compostos inorgânicos e ainda por serem facilmente ativadas (WERLANG et al., 2013; BHATNAGAR e SILAMPAA, 2010).

Segundo Lehmann e Joseph (2012), a principal diferença entre o carvão e o *biochar* consiste em sua forma de utilização. Os biocarvões são produzidos exclusivamente de restos de podas de árvores, ossos de animais, resíduos de colheitas e resíduos sem destinação, ou seja, materiais alternativos destinados à decomposição térmica do material orgânico com ausência total ou parcial de oxigênio (GONÇALVES e MOURA, 2016).

As propriedades do biocarvão também variam em relação ao CA. O biocarvão apresenta somente uma etapa de produção, a carbonização, sua pirólise é realizada em temperaturas relativamente baixas (<500°C), em consequência não é um produto totalmente carbonizado (OLESZCZUK, 2012), no entanto, também pode passar por processos de ativação química ou outros tipos de modificações em sua superfície. Em geral, o *biochar* é produzido pela carbonização via seca ou pirólise e gasificação da biomassa (AHMAD et al., 2014). Enquanto a produção de CA envolve duas etapas: carbonização e ativação química e/ou física, na maioria dos casos para ativação química são impregnados com solventes básicos ou ácidos, como o ácido fosfórico (ANTUNES, RAMOS E GOMES, 2014).

3.4 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A revisão de literatura constitui-se como a base de toda e qualquer pesquisa científica e realiza-se tanto com o objetivo de resumir o que se sabe até ao momento

sobre uma determinada área de conhecimento, como de motivar novas investigações (CARVER *et al.*, 2013). A revisão sistemática garante a procura de fontes relevantes para um determinado tópico e na contribuição que essa busca dá para garantir a relevância e o rigor da investigação (BROCKE *et al.*, 2009).

Segundo Atallah e Castro (1998), a revisão sistemática da literatura constitui um método de avaliação de um conjunto de dados simultaneamente, muito utilizada para se obter “provas” científicas. Pode ser definida como uma síntese de estudos primários que contém objetivos, materiais e métodos claramente explicitados, além de ser conduzida de acordo com uma metodologia clara e reproduzível (GREENHALGH, 1998).

As revisões sistemáticas reúnem uma gama de resultados de pesquisas, discutindo as diferenças entre os estudos que abordam o mesmo tema. Como o nome sugere, tais revisões são sistemáticas na abordagem e usam métodos explícitos e rigorosos para identificar textos, fazer apreciação crítica e sintetizar estudos relevantes (BARROSO *et al.*, 2003).

Entre as principais características da revisão sistemática estão: fontes de busca abrangentes, seleção dos estudos primários sob critérios aplicados uniformemente e avaliação criteriosa da amostra (LOPES e FRACOLLI, 2008).

Os métodos para elaboração de revisões sistemáticas preveem: (1) elaboração da pergunta de pesquisa; (2) busca na literatura; (3) seleção dos artigos; (4) extração dos dados; (5) avaliação da qualidade metodológica; (6) síntese dos dados; (7) avaliação da qualidade das evidências; e (8) redação e publicação dos resultados (GALVÃO *et al.*, 2014).

3.4.1 Ferramentas para Revisões Sistemáticas da Literatura

As tecnologias da informação, tornaram crescente o conhecimento científico ao dispor da comunidade tornando os processos de revisão de literatura cada vez mais exigentes (BEST *et al.*, 2014; CAMPBELL *et al.*, 2018). Segundo Vanti (2002), as técnicas quantitativas de avaliação podem ser subdivididas em bibliometria, cienciometria e informetria.

A bibliometria é uma metodologia proveniente das ciências da informação que se utiliza de métodos matemáticos e estatísticos para mapear os documentos a partir

de registros bibliográficos armazenados em bases de dados (FEATHER; STURGES, 2003; SANTOS; KOBASHI, 2009). Seu principal objetivo é o estudo de livros e/ou revistas científicas, cujas análises se vinculam à gestão de bibliotecas e bases de dados.

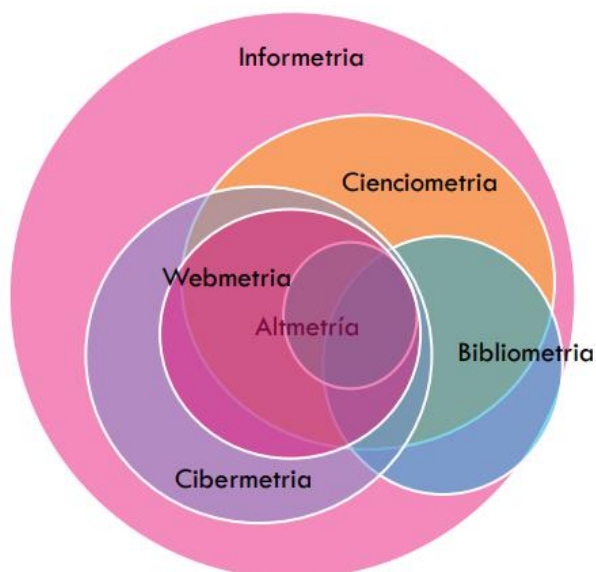
A cienciometria provém da bibliometria e se caracteriza por estudar determinada área do conhecimento por meio das produções científicas. Não substitui um método analítico, mas aumenta a visibilidade dos dados da pesquisa. A cienciometria encarrega-se de estudar criticamente as múltiplas dimensões sociais das áreas do conhecimento (HAVASHI, 2008), tendo como objetivo a análise de produção, a circulação e o consumo da produção científica (SANTOS e KOBASHI, 2009).

Enquanto a bibliometria se ocupa das várias medições da literatura, dos documentos e outros meios de comunicação, a cienciometria está relacionada com a produtividade e utilidade científica (SPINAK, 1998). Em outras palavras, a bibliometria fornece uma visão da produtividade e da qualidade das pesquisas e a cienciometria favorece a noção das temáticas e caminhos que se encontram na pauta da exploração científica.

A informetria complementa a cienciometria por meio de unidades bem definidas, como palavras, documentos, textos e base de dados que podem acentuar tanto a recuperação quanto a relevância da informação, recorrendo a métodos estatísticos. A informetria pode incorporar, utilizar e ampliar os muitos estudos de avaliação da informação que estão fora dos limites da bibliometria e cienciometria (LAURINDO e BRUCK, 2011).

A Figura 2 mostra as relações entre os diferentes tipos de revisão. As diferentes técnicas oferecem uma base prática para a tomada de decisões, e seu valor está na sua capacidade de sintetizar, em poucos parâmetros, as características de muitos grupos de dados: formato completo, concentração, difusão e variação ao longo do tempo (MACIAS-CHAPULA, 1998).

Figura 2 - Correlação entre as diferentes técnicas quantitativas de revisão



Fonte: Sanz-Casado e García-Zorita (2014)

Quando combinadas, as técnicas da bibliometria e da cienciometria possibilitam, conforme Spinak (1998), Macias-Chapula (1998) e Vanti (2002):

- Identificar as tendências e o crescimento do conhecimento em uma área;
- Identificar os periódicos do núcleo de uma área;
- Identificar os principais autores de uma área;
- Prever as tendências de publicação;
- Estudar a dispersão e a obsolescência da literatura científica;
- Prever a produtividade de autores, organizações e países;
- Medir o grau e padrões de colaboração entre autores;
- Analisar os processos de citação e co-citações;
- Avaliar os aspectos estatísticos da linguagem, das palavras e das frases;
- Medir o crescimento de determinadas áreas e o surgimento de temas.

Embora muitos dos estudos utilizem essas técnicas de forma mais simplificada para identificar a evolução das publicações ou identificar os autores, periódicos e palavras mais relevantes das áreas, sua real vantagem está na agilidade e na capacidade que os métodos e técnicas de tratamento, análise e visualização de informações baseadas em princípios estatísticos têm em demonstrar informações sobre perspectivas além das habituais, indicando “quem está fazendo o quê, onde, quando, como e com quem, o que é importante e o que será importante, mapear

inovações e a evolução da ciência, das técnicas, tecnologias”, além de identificar perfis de áreas de interesse, mapear relacionamento, tópicos e equipes, analisar tendências e desenvolver indicadores de inovação (PENTEADO FILHO, 2013, p. 140).

Todavia, são vários os indicadores passíveis de serem construídos com base nos resultados e produtos oriundos das atividades acadêmicas e científicas. Portanto, conhecê-los e identificar seus propósitos é fundamental para se conseguir selecionar e combinar aqueles que são pertinentes aos objetivos, enfoques e aplicações que se deseja alcançar.

3.4.2 Indicadores Bibliométricos e Cienciométricos

Embora a bibliometria e a ciencimetria apresentam um poderoso conjunto de medidas para o estudo da comunicação acadêmica, grande parte destes estudos estão direcionados para medição do desempenho dos autores científicos, sendo poucas as pesquisas que utilizam essas técnicas para medir o desempenho de temas ou áreas temáticas (COBO et al., 2011; HAYASHI; LETA, 2013). Este fato pode ser decorrente da falta de conhecimento dessas técnicas ou da impressão negativa de que para se utilizar dessas técnicas é necessária habilidade avançada em estatística e softwares.

Os indicadores cienciométricos auxiliam na avaliação, qualificação, e classificação do desempenho de determinado objeto de estudo (GOMES, 2018). Sendo assim, estes recursos além de serem usados por pesquisadores e universidades, ainda podem ser utilizados como fonte de interesse estratégico para instituições de fomento, empresas de base tecnológica e empresas no geral.

3.4.2.1 Leis bibliométricas

As leis bibliométricas estão relacionadas com indicadores de atividade que servem para representar a produtividade bibliográfica, abordado uma visão macro da evolução da área, o nível de colaboração de países e instituições na produção científica. Entre esses indicadores, destacam-se as três principais leis bibliométricas: lei de Lotka (1926), lei de Bradford (1948) e lei de Zipf (1949), relacionadas, respectivamente à autores, periódicos e palavras. Essas leis bibliométricas tentam

formular matematicamente as distribuições de dados estatísticos, se tornando os pilares da bibliometria (BAILÓN-MORENO et al., 2005), sendo usadas também na cienciometria.

Para a identificação dos periódicos mais produtivos para um determinado tema, aplica-se da Lei de Bradford, também conhecida como Lei da Dispersão (BOGAERT, ROUSSEAU e VAN HECKE, 2000). Essa lei foi desenvolvida em 1934 durante uma pesquisa médica para identificar a extensão de artigos de determinado assunto em revistas específicas ao tema. Hill Bradford e outros médicos do conselho médico americano chegaram à conclusão de que os dados coletados mostraram a existência de um pequeno núcleo de periódicos que abordava o tema de uma forma mais abrangente, enquanto os outros periódicos periféricos foram divididos em zonas (PARISSOTO et al., 2014). Sendo assim, essa lei permite estimar o grau de relevância de periódicos em determinada área do conhecimento. Os periódicos que produzem maior número de artigos sobre o assunto formam um núcleo de periódicos, supostamente de maior qualidade ou relevância para aquela área (GUEDES, 2012).

Neste contexto, constitui-se um conjunto de três zonas, cada qual com um terço do total dos artigos relevantes. A primeira zona contém um pequeno número de periódicos altamente produtivos, a segunda contém um número maior de periódicos menos produtivos, e a terceira inclui um volume ainda maior de periódicos com reduzida produtividade sobre o assunto. Segundo Araújo (2006), a razão do número de periódicos em qualquer zona pelo número de periódicos na zona precedente é chamada “multiplicador de Bradford” (B_m) e à medida que o número de zonas for aumentando, o B_m diminui.

A Lei de Lotka, formulada em 1926, foi construída a partir de um estudo sobre a produtividade de cientistas, a partir da contagem de autores presentes no *Chemical Abstracts*, entre 1909 e 1916. Lotka identificou que a maioria da produção científica é produzida por um grupo pequeno de autores, a produção deste grupo se iguala em quantidade ao desempenho de um grupo maior de autores que possuem poucas publicações (PARISSOTO et al., 2014).

A representação matemática deste princípio é apresentada na Equação 1:

$$Y(x) = 6 / p^2x^a \quad (1)$$

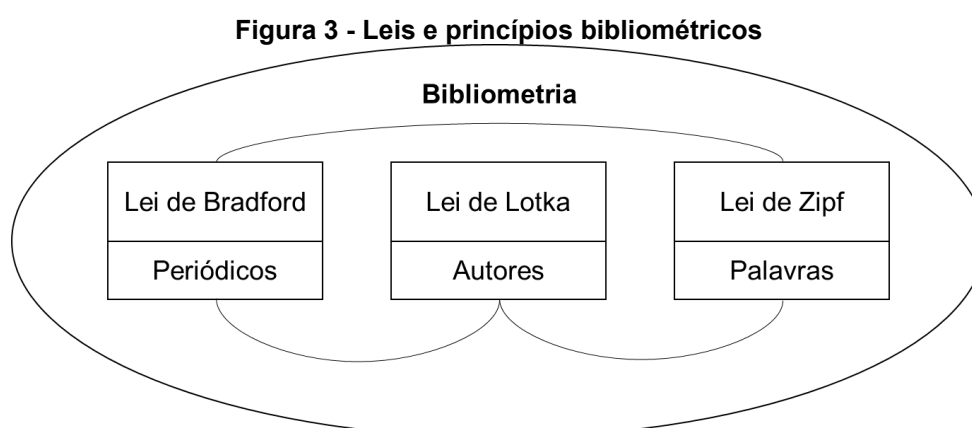
Em que:

$Y(x)$: é a frequência de autores publicando x artigos;

a : valor constante para cada campo científico (2 para física e 1,89 para química por exemplo) e

p : é o número de pares observados.

Em suma, as leis e princípios bibliométricos são enunciados a partir da observação de fenômenos que se repetem com frequência, em um domínio específico do conhecimento. Na Figura 3 é apresentada as 3 leis principais, seus objetivos fundamentais são definidos como: estimar os graus relativos de relevância de títulos de periódicos, estimar os graus relativos de relevância de autores e realizar análise conceitual da escrita científica e indexação automática, ou semiautomática, de artigos científicos, respectivamente.



Fonte: Adaptado de Guedes e Borschiver (2005)

3.4.2.2 Índice-H

O Índice-H (*Hirsch index, h-index*) é um importante indicador de qualidade e relevância na produção científica. Proposto em 2005 pelo professor Jorge Hirsch da Universidade da Califórnia, seu método consiste em relacionar o número de publicações científicas com o número suas citações, tornando-se um parâmetro avaliativo de um autor. Hirsch (2005) parte do princípio de que a quantificação do impacto e a relevância da produção científica individual são muitas vezes necessárias para a avaliação de pesquisadores e para propósitos de comparação (GARFIELD, 2006).

O índice-H de um pesquisador é definido como o número de artigos publicados pelo pesquisador, os quais obtenham citações maiores ou iguais a esse número. Quanto maior o número de artigos de grande interesse publicado pelo pesquisador, maior será o número de citações alcançadas, e maior será seu índice H, refletindo a qualidade acadêmico-científica do pesquisador e sua capacidade produtiva (HIRSCH, 2005).

Em pouco tempo este índice foi adotado não só para avaliar pesquisadores, mas também universidades, grupos de pesquisa e revistas científicas (MARQUES, 2013). O índice-H de um periódico é definido considerando o total de artigos publicados neste periódico em um determinado período, equiparando ao total de citações feitas a estes artigos. A vantagem deste índice é sua simplicidade e objetividade, resumindo em um único número a produtividade e a relevância do trabalho científico.

3.4.2.3 Citações

Também muito utilizado na bibliometria, destaca-se o número de citações e o fator de impacto (FI), obtido através do *Journal Citation Reports* (JCR). O número de citações pode indicar a influência de um trabalho específico em outros pesquisadores, mostrar conexões intelectuais e mostrar que um pequeno grupo de pesquisadores e publicações tem mais influência em determinado assunto (GUEDES e BORSCHIVER, 2005). Os números de citações estabelecem o FI medindo a importância e a reputação de revistas e autores (GARFIELD, 2006).

Citação é um conjunto de uma ou mais referências bibliográficas que, compreendidas em uma publicação, evidenciam elos entre indivíduos, instituições e áreas de pesquisa, visto que revelam o relacionamento de uma publicação com outra. A análise de citações tem origem no século XVII, com a função primária de promover uma relação entre dois documentos (FORESTI, 1989).

Desse modo, a análise de citações pode ser definida como a parte da bibliometria que pesquisa as relações entre os documentos citantes e os documentos citados considerados como unidades de análise, no todo ou em diversas partes: autor, título, origem geográfica, ano e idioma de publicação, entre outros (FORESTI, 1989). Dentro da bibliometria, a análise de citações admite a identificação e descrição de

uma série de padrões na produção do conhecimento científico, ou seja, são utilizadas como métrica de influência para listas priorizadas de artigos, autores ou revistas mais citadas na área pesquisada. Desta forma, a análise de citação pode fornecer informações sobre a influência relativa das publicações, mas falta a capacidade de identificar redes de interconexões entre estudiosos (USDIKEN e PASADEOS, 1995).

A análise de co-citação (MCCAIN, 1991) usa a mensuração para construir medidas de similaridade entre artigos, autores ou periódicos. Um pressuposto fundamental da análise de co-citação é que quanto mais dois itens são citados, mais provável é que seu conteúdo esteja relacionado. Quando examinados ao longo do tempo, co-citações também são úteis na detecção de mudança de paradigmas e escolas de pensamento (PASADEOS, PHELPS e KIM, 1998).

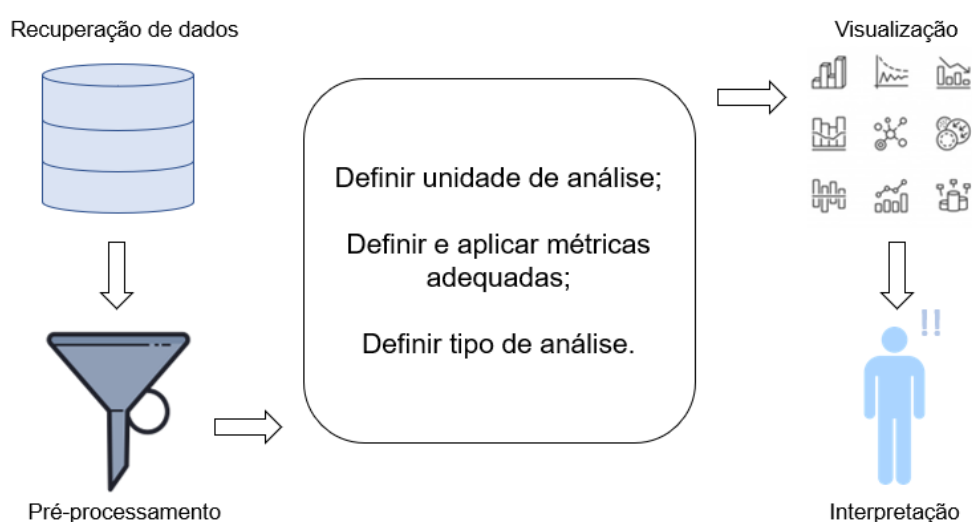
A co-citação tem sido mais utilizada para o mapeamento da ciência (ZHAO e STROTMANN, 2008), embora o acoplamento bibliográfico (KESSLER, 1963) seja uma década mais antigo do que a co-citação (SMALL, 1973). O acoplamento bibliográfico (*bibliographic coupling*) usa o número de referências compartilhadas por dois documentos como uma medida da similaridade entre eles. Quanto mais as bibliografias de dois artigos se sobrepõem, mais forte é a sua conexão (ZUPIC e CATER, 2015).

A análise de coautoria examina as redes sociais que os cientistas criam ao colaborar em artigos científicos (ACEDO et al., 2006). Uma relação entre dois autores é estabelecida quando eles co-publicam um artigo (LU e WOLFRAM, 2012). A coautoria reflete vínculos sociais mais fortes do que outras medidas relacionadas, sendo adequado para examinar as redes sociais ao invés de estruturas intelectuais dos campos de pesquisa (ZUPIC e CATER, 2015).

A co-ocorrência de palavras (*co-word analysis*) é uma técnica de análise de conteúdo que usa palavras em documentos para estabelecer relacionamentos e construir uma estrutura conceitual do domínio (CALLON, COURTIAL e PENAN, 1995). A ideia subjacente ao método é que, quando as palavras frequentemente ocorrem em documentos, isso significa que os conceitos por trás dessas palavras estão intimamente relacionados. É o único método que usa o conteúdo real dos documentos (título, palavras-chave, resumos, textos completos, etc.) para construir uma medida de similaridade, enquanto os outros conectam documentos indiretamente através de citações ou coautoria (BÖRNER, CHEN e BOYACK, 2003).

Outra forma de análise bibliométrica é o mapeamento da ciência (*science mapping*), que emprega técnicas bibliométricas inovadoras para criar representações visuais da pesquisa acadêmica. Os mapas de ciência podem ajudar pesquisadores com conhecimentos altamente especializados a superar obstáculos à discussão e colaboração em comunidades de pesquisa desconectadas, avançando no progresso teórico e conceitual (LEE, FELPS e BARUCH, 2014). A Figura 4, resume as etapas envolvidas na construção de indicadores para o mapeamento da ciência.

Figura 4 - Etapas para construção de indicadores e mapeamento da ciência



Fonte: Adaptado de Camargo e Barbosa (2018)

3.4.2.4 Softwares de análise

Análises bibliométricas e cienciométricas podem ser desenvolvidas em softwares genéricos que não foram originalmente projetados para esse tipo de tarefa. No entanto, existem ferramentas desenvolvidas especificamente com esse objetivo e por isso são mais indicadas para esses estudos (BÖRNET, CHEN e BOYACK, 2003; COBO et al., 2011; 2012).

Para casos em que é desejado gerar informações que possam ser analisadas por softwares como o *Excel* e o *SPSS*, o *BibExcel* será a melhor opção. Para pesquisas com foco em mapas de fácil exploração, o *VOSViewer* apresenta um melhor desempenho. Análises que demandam a execução de todas as etapas de desenvolvimento dos mapas e indicadores, por sua vez, encontrarão no *CiteSpace*,

Sci²Tool, *VantagePoint* ou *SciMAT* as alternativas mais adequadas (COBO et al., 2011, 2012).

Moreira, Guimarães e Tsunoda (2020) avaliou as ferramentas *Bibliometrix* (*Biblioshiny*), *CiteSpace*, *Publish or Perish* e *VOSViewer* e concluiu que o *Biblioshiny* se destaca como a ferramenta com o maior conjunto de análise, atendendo a todos os critérios de comparação estipulados. No entanto, não existe uma ferramenta de software que possa ser considerada a melhor, a escolha depende da necessidade de cada usuário. Sendo assim, a construção de indicadores e mapas sobre o conhecimento científico necessitam do desenvolvimento de várias etapas com uso de softwares específicos que permitem facilitar as análises bibliométricas e cienciométricas para o acompanhamento da evolução do conhecimento científico.

3.4.2.5 Methodi ordinatio

Com o passar dos anos aumenta cada vez mais o número de publicações científicas (BORNMANN e MUTZ, 2015), e conseqüentemente, para os pesquisadores, aumenta ainda mais o desafio para definir quais dessas publicações são relevantes e realizar a seleção de material bibliográfico para o embasamento da pesquisa.

A metodologia Methodi Ordinatio nasceu da necessidade de qualificar os artigos obtidos em uma revisão bibliográfica sistematizada, ou seja, tem uma abordagem mais racional, o pesquisador delega as decisões a um modelo universal no qual os artigos são relevantes. A Methodi Ordinatio (DE CAMPOS et al., 2018) orienta a busca, seleção, coleta e classificação de artigos científicos, tendo as TICs como suporte, como o uso do *Jabref* para coletar os dados dos artigos científicos.

O que difere a Methodi Ordinatio das outras metodologias de revisão sistemática é a utilização da equação InOrdinatio, que permite classificar os artigos quanto à sua relevância científica. A equação trabalha com os três fatores mais importantes em um artigo científico: o FI, o ano da publicação da pesquisa e o número de citações, conforme apresentado na Equação 2:

$$\text{InOrdinatio} = (F_i / 1000) + \alpha^* [10 - (\text{AnoPesq} - \text{AnoPub})] + (\sum C_i) \quad (2)$$

Em que F_i é o fator de impacto, α é um fator de ponderação variando de 1 a 10, a ser atribuído pelo pesquisador; $AnoPesq$ é o ano em que a pesquisa foi desenvolvida; $AnoPub$ é o ano em que o artigo foi publicado; e $\sum C_i$ é o número de vezes que o documento foi citado.

A equação $InOrdinatio$ apresenta a seguinte dinâmica: a) O FI é dividido por 1000 (mil), visando normalizar seu valor sobre os outros critérios. b) A equação apresenta o fator de ponderação α , cujo valor a ser atribuído pelos pesquisadores podem variar de 1 para 10. Quanto mais próximo o número é para um, menor será a importância que o pesquisador atribuirá ao ano critério, enquanto o mais próximo de 10, maior a importância desse critério. c) Este critério considera o número bruto de citações encontradas nos dados da construção do portfólio.

Dois fatores são claramente definidos na literatura como importantes a um trabalho científico: o FI e o número de citações. Todavia, o ano de publicação não pode ser visto com menos relevância, pois é o indicador da atualidade dos dados. Quanto mais recente a pesquisa, mais provável é que novos avanços tenham sido alcançados e maior será a probabilidade de contribuição para inovações na área do conhecimento. Além disso, há grande probabilidade de que artigos mais recentes sejam baseados em metodologias que já foram validadas, o que os torna ainda mais valiosos (PAGANI, KOVALESKI e RESENDE, 2015). Ainda é válido ressaltar que a tendência dos artigos antigos de que seja citado diminui com o tempo (DIEKS e CHANG, 1976), o que reforça a importância de valorizar os trabalhos mais recentes.

4 METODOLOGIA

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente foi estabelecida a intenção de pesquisa: processo de adsorção usando biocarvão. Após, foi feita uma pesquisa prévia nas bases de dados *Scopus* (*scopus.com*), *Science Direct* (*sciencedirect.com*) e *Web of Science* (*WoS*, *webofknowledge.com*) restringindo para artigos originais e artigos de revisão em língua inglesa no período de 2001 a 2020. As palavras-chave e os operadores booleanos foram determinados como (*biochar*) AND (*adsorption*), (*vegetable biomass*) AND (*biochar*), (*vegetable biomass*) AND (*adsorption*) com o campo “Título”.

A partir de uma análise preliminar, as palavras-chaves foram redefinidas para “*biochar*” AND “*adsorption*”, e a base de dados selecionada foi a *WoS* (*Clarivate Analytics, Philadelphia, PA, USA*), por ser uma das bases de dados mais utilizadas em revisões bibliométricas e sistemáticas (FALAGAS et al., 2008) e por possuir interface com a ferramenta *Bibliometrix* (versão 3.0).

4.2 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados obtidos na *WoS* foram exportados em formato BibTeX. Em seguida, para a análise dos resultados, foi usado o software RStudio® (versão 1.4.1106). Para a execução da análise cientométrica, em interface com RStudio, foram instalados os pacotes *Bibliometrix* (<http://bibliometrix.org/>), e *Biblioshiny*. O pacote *Bibliometrix* - que é por padrão uma interface de linhas de comando - oferece uma interface gráfica denominada *Biblioshiny* possibilitando sua utilização sem conhecimento em programação. Sendo assim, as análises foram destinadas a esta interface e não à ferramenta executada por scripts.

Com os pacotes e metadados instalados e os resultados obtidos na *WoS* exportados em formato BibTeX, foi possível analisar e gerar mapas temáticos, dentre eles: produção anual de artigos relacionados com o tema, principais autores

relacionando países e assuntos. A análise cienciométrica foi estruturada nos seguintes tópicos: periódicos, autores, publicações, e estruturas de conhecimento (conceitual, intelectual e social).

Para os periódicos foram analisados os mais relevantes (considerando o número de publicações e citações), os mais produtivos de acordo com a Lei de Bradford, o índice-H e o número de artigos publicados relacionados com o tema por periódico no período estudado. Os autores mais relevantes foram analisados quanto a: número de publicações e citações; os mais produtivos de acordo com a Lei de Lotka; índice-H; afiliações com maior número de publicações relacionadas ao tema; e produção científica por país. As publicações foram analisadas quanto ao número de citações globais e locais e co-ocorrência de palavras-chaves, bem como a frequência de palavras em seus resumos.

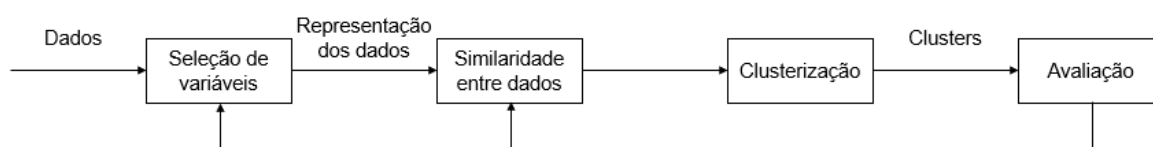
O *Bibliometrix* permitiu gerar gráficos relacionando as palavras mais relevantes a partir de resumos, títulos, palavras-chave e palavras-chave *plus*. Enquanto as palavras-chave se referem a uma lista de termos que os autores das publicações acreditam ser as que melhor representam o conteúdo de seu artigo, as palavras-chave *plus* são geradas por um algoritmo automático e se caracterizam por palavras ou frases que aparecem frequentemente nos títulos de artigos referenciados e não necessariamente de títulos ou palavras-chave dos autores dos artigos principais.

4.3 ESTRUTURAS DO CONHECIMENTO

Para definição das estruturas do conhecimento, foram gerados círculos de diversos tamanhos associados a diferentes cores para representação de cada grupo, chamados de *cluster*.

Diversos fatores foram levados em consideração para assegurar a eficiência da clusterização: coleta dos dados, seleção das variáveis, medidas de similaridade, algoritmo de clusterização, validação e análise dos resultados obtidos (JAIN; MURTY e FLYNN, 1999), como mostra a Figura 5:

Figura 5 - Etapas aplicadas do processo de clusterização dessa pesquisa



Fonte: Adaptado de Jain, Murty e Flinn (1999)

A seguir são apresentadas as etapas que compuseram o processo de clusterização:

1. Pré-processamento e seleção de variáveis: nesta etapa foram identificadas as variáveis, ou atributos, mais relevantes do conjunto de dados inicial. Nessa etapa algumas variáveis podem ser eliminadas (por exemplo, quando todos os valores da variável são iguais) e os dados coletados são formatados de modo que o algoritmo de clusterização possa processá-los. Em um conjunto formado por “n” dados, o resultado é uma matriz $n \times d$, em que “d” é o número de atributos. Cada vértice da matriz representa um nó e nesse caso, uma palavra-chave. Para a geração dos gráficos, foram selecionados 50 nós (palavras-chaves) com no mínimo 2 linhas para compor a rede de co-ocorrência.

2. Medidas de similaridade: Para que a proximidade de dois dados possa ser quantificada, é necessário adotar alguma medida de similaridade entre eles. Existem diversas formas de quantificar a similaridade, ou dissimilaridade, entre pares de dados e a escolha da medida de similaridade adequada é fundamental para a clusterização dos dados. Normalmente as medidas utilizadas representam a dissimilaridade entre dados. Entre as medidas de similaridade mais comumente utilizadas estão “*Salton’s Cosine*”, “*Jaccard’s Index*”, “*Equivalence Index*” e “*Association Strength*” (VAN ECK e WALTMAN, 2009), sendo a última a selecionada no presente estudo.

3. Algoritmos de clusterização: Nessa etapa define-se o modo de agrupamento dos dados, que pode ser realizado de diferentes maneiras. Os algoritmos de clusterização são classificados de acordo com as diferentes técnicas que empregam no agrupamento dos dados. Dentre esses algoritmos destacam-se os algoritmos de clusterização “*Louvain*” e “*Walktrap*” (LANCICHINETTI e FORTUNATO, 2009). O

resultado dessa etapa é a divisão do conjunto de dados inicial em *clusters*. Este trabalho utilizou o algoritmo de clusterização “*Louvain*”.

4. Validação e análise dos resultados: Nessa etapa a qualidade dos *clusters* encontrados foi avaliada, já que são desconhecidos inicialmente. Essa validação pode ser feita com base em índices estatísticos ou através da comparação com outros algoritmos. Além disso, a análise dos resultados pode levar à redefinição dos atributos escolhidos e/ou da medida de similaridade, definidos nas etapas anteriores.

4.4 METHODI ORDINATIO

Os resultados obtidos na *WoS* foram analisados pela metodologia *Methodi Ordinatio*. Os dados foram exportados em formato *BibTeX* para análise nos gerenciadores de referências *Jabref* e *Mendeley*. O resultado obtido (712 publicações) foi exportado para uma planilha *Excel*. Nessa planilha foram adicionados: o número de citações de cada publicação e o *FI* de cada periódico. As citações foram extraídas do *Google Scholar*. *Martín-Martín et al.* (2018) evidenciou que o *Google scholar* encontra expressivamente mais citações do que *Scopus* e *WoS* em todos os campos temáticos. A métrica utilizada para determinar o *IF* dos periódicos foi o *JCR*, obtido a partir do *Clarivate Analytics Incites Journal Citation Reports (JCR)* (CLARIVATE ANALYTICS, 2021).

Na sequência, foi aplicada a equação do *InOrdinatio* desenvolvida por *Pagani, Kovaleski e Resende* (2015). Este coeficiente considera o ano de publicação, o ano atual da pesquisa para classificação dos documentos, o total de citações, o *FI* e um fator alfa (α) cujo valor é definido pelo pesquisador de 1 a 10. Quanto mais próximo de 10 for o valor de α , maior relevância se dá à atualidade dos artigos na área da pesquisa.

Este estudo testou-se a equação *InOrdinatio* com α igual a 5, 7 e 10 e selecionou um α igual a 5 por fornecer um equilíbrio temporal, não favorecendo somente publicações recentes que possuam citações (*SOLIS et al.*, 2019).

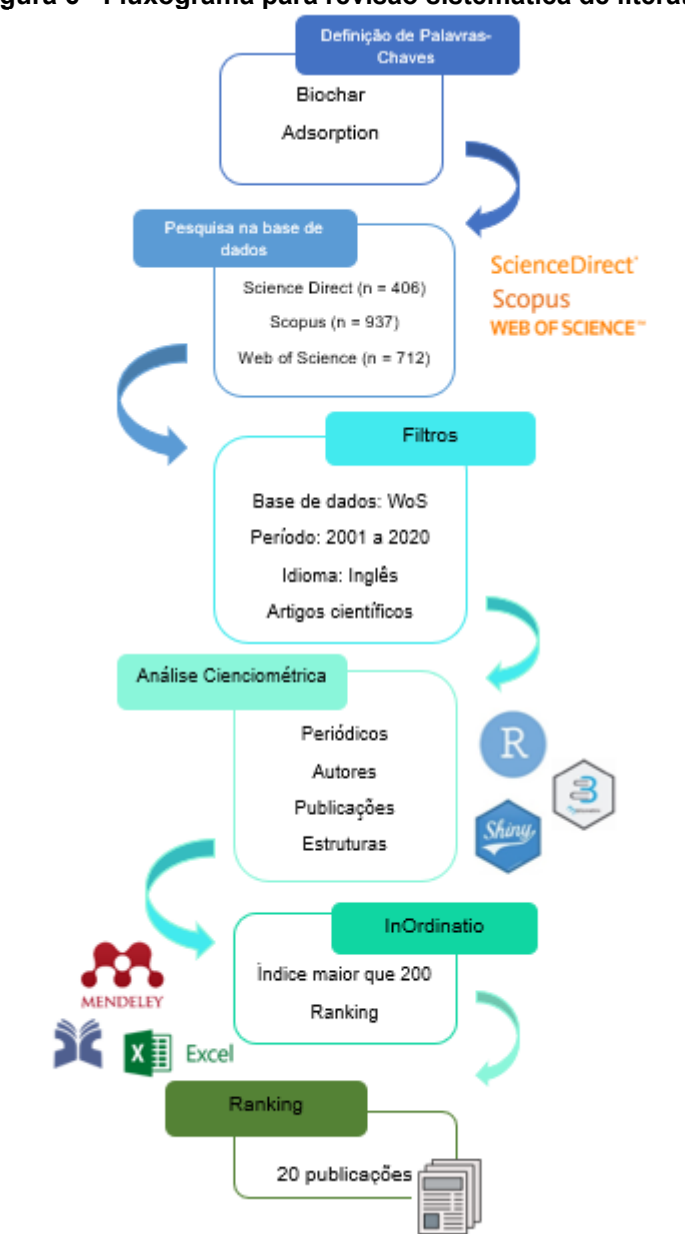
Os artigos foram classificados em ordem decrescente conforme a equação *InOrdinatio* obtido. Artigos com *InOrdinatio* superior a 200 (20 publicações) foram identificados como pesquisas de alto impacto nos últimos vinte anos. Devido ao

grande número de publicações, foram selecionados para apresentação as vinte publicações com maior prevalência de acordo com o índice.

Além do ano de publicação, autores, periódico, FI do periódico e o número de citações, as demais características observadas e avaliadas foram: assunto do artigo (do que trata), biomassas vegetais utilizadas, processos de síntese, eficiência de adsorção, países onde as pesquisas foram realizadas, principais recomendações, conclusões e quaisquer outras observações feitas pelos autores. Por fim, foi feita uma análise sobre as principais tecnologias que estão sendo utilizadas para a síntese de biocarvão e as respectivas biomassas vegetais usadas e quais devem ser explorados com mais detalhes em futuras pesquisa, identificando assim, quais os destaques e os temas ainda pouco estudados na área.

Na Figura 6 é apresentado um resumo de cada etapa descrita na metodologia deste estudo.

Figura 6 - Fluxograma para revisão sistemática de literatura



Fonte: Autoria Própria (2021)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Os resultados da pesquisa prévia com as palavras-chaves definidas nas três bases de dados para artigos originais e de revisão no período de 2001 a 2020 estão representados no Quadro 1.

Quadro 1 - Resultados da busca sistemática

PALAVRAS CHAVE	BASE DE DADOS			TOTAL
	<i>Science Direct</i>	<i>Scopus</i>	<i>Web of science</i>	
<i>Biochar</i> <i>Adsorption</i>	"TÍTULO: <i>biochar</i> e TÍTULO: <i>adsorption</i> "	"TÍTULO: <i>biochar</i> AND <i>adsorption</i> "	"TÍTULO: (<i>adsorption</i>) AND TÍTULO: (<i>biochar</i>)"	2055
RESULTADOS	406	937	712	
<i>Vegetable</i> <i>biomass</i> <i>Biochar</i>	"TÍTULO: <i>biochar</i> e TÍTULO: <i>vegetable</i> <i>biomass</i> "	"TÍTULO: <i>biochar</i> AND <i>vegetable</i> <i>biomass</i> "	"TÍTULO: (<i>biochar</i>) AND TÍTULO: (<i>vegetable biomass</i>)"	3
RESULTADOS	1	1	1	
<i>Vegetable</i> <i>biomass</i> <i>Adsorption</i>	"TÍTULO: <i>adsorption</i> e TÍTULO: <i>vegetable</i> <i>biomass</i> "	"TÍTULO: <i>adsorption</i> AND <i>vegetable</i> <i>biomass</i> "	"TÍTULO: (<i>adsorption</i>) AND TÍTULO: (<i>vegetable</i> <i>biomass</i>)"	4
RESULTADOS	0	2	2	

Fonte: Autoria Própria (2021)

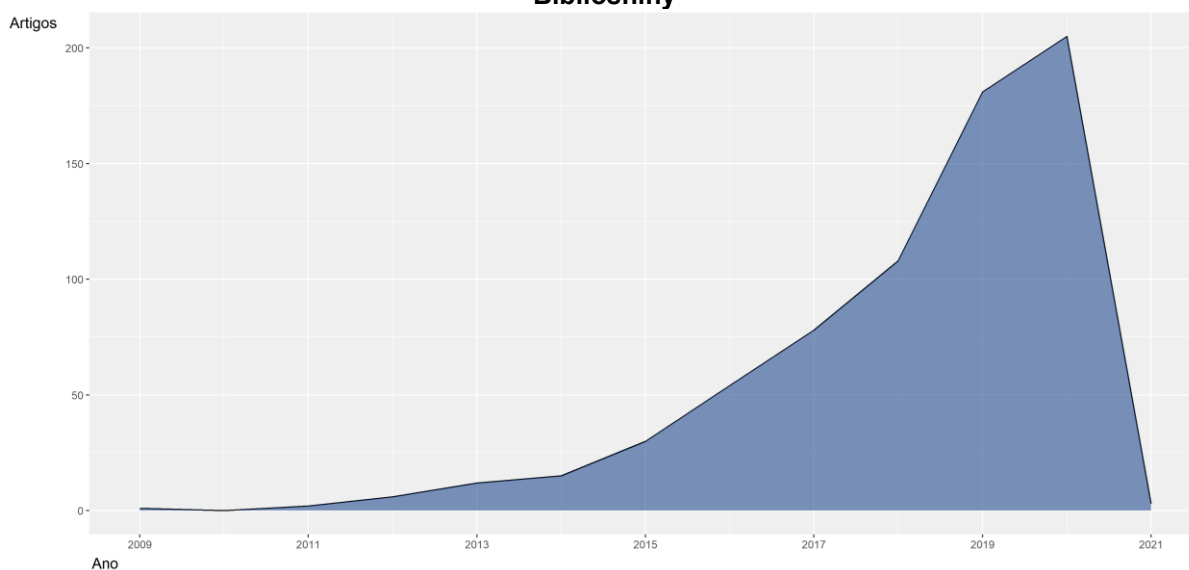
A partir das palavras-chaves redefinidas para "*biochar*" AND "*adsorption*", usando a WoS, foram recuperados 712 artigos científicos. Esses artigos foram publicados em 168 periódicos, sendo publicados por 1984 autores, com uma média de 2,79 autores por publicação e somente 3 publicações possuem um único autor.

A Figura 7, apresenta um aumento significativo no número de publicações sobre o tema nos últimos anos. Em 218 foram publicados 108 artigos científicos e esse número quase dobrou em dois anos, sendo que em 2020 foram publicados 205 artigos.

Uma das justificativas para o número de publicações alavancar nos últimos, é a divulgação do acesso aberto dos meios de publicação de periódicos, os quais, ampliam as redes de conhecimento e compartilhamento de informações. Em 2016, vários periódicos tiveram acesso de leitura na web de todo o conteúdo publicado por meio do periódico CAPES, o que resulta um aumento do número do FI (MARQUES, 2017).

Verifica-se também a relevância de pesquisas nessa área. O processo de adsorção utilizando materiais adsorventes, como o biocarvão, tem se mostrado eficiente, pode ter alta capacidade de adsorção para uma variedade de contaminantes emergentes como corantes e compostos orgânicos, além de ser uma alternativa para dar destino a resíduos agrícolas e industriais (OLIVEIRA, 2013). Segundo Yao et al. (2012b) vários estudos mostram grande afinidade do biocarvão para a adsorção de poluentes orgânicos (KASOZI et al., 2010; CORNELISSEN et al., 2005).

Figura 7 - Produção anual de artigos relacionados com adsorção e biocarvão gerado pelo Biblioshiny

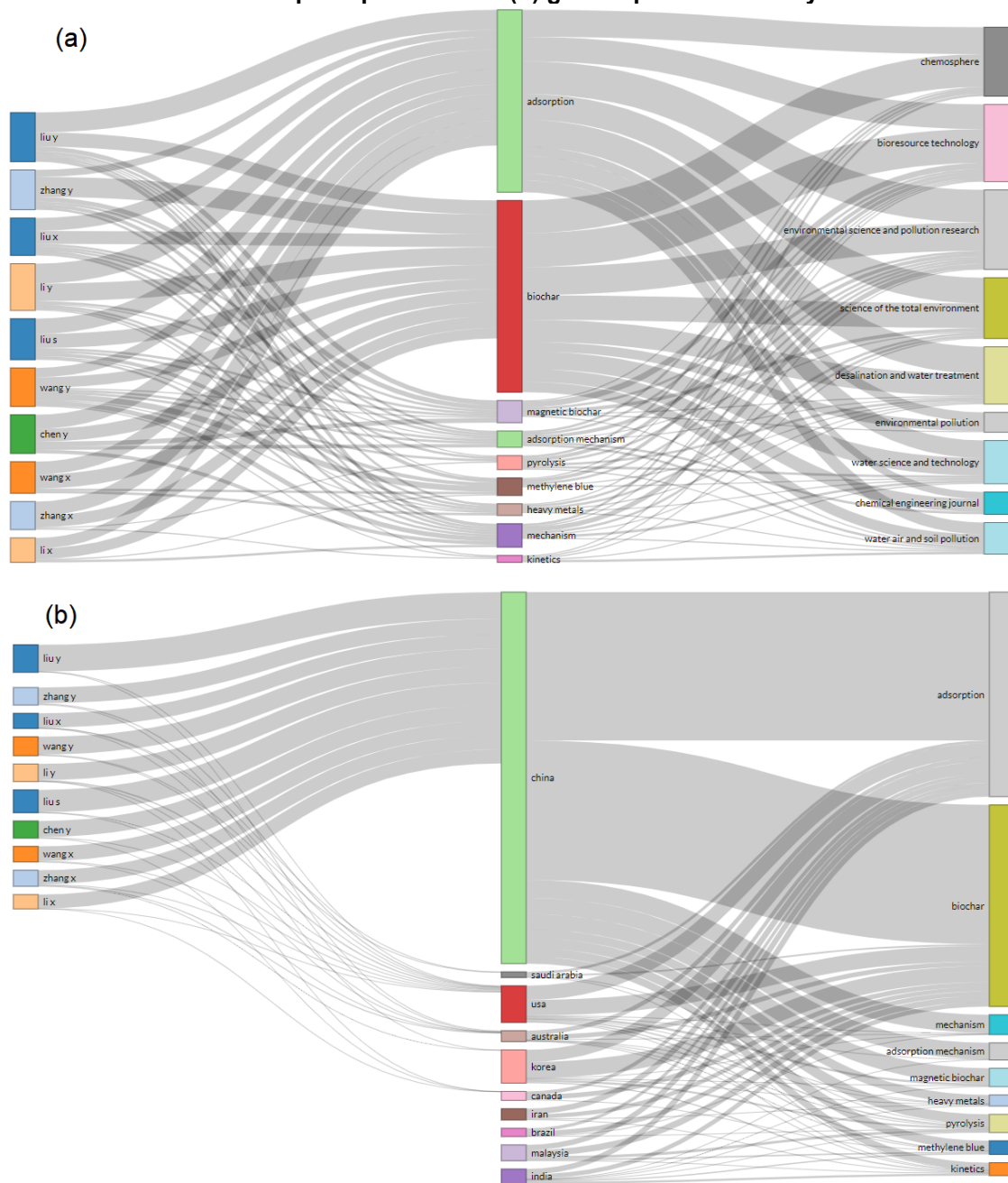


Fonte: Autoria Própria (2021)

A Figura 8a relaciona os 10 principais autores, conteúdo das pesquisas e periódicos. Independentemente dos autores e os periódicos das publicações, o conteúdo está relacionado tanto ao processo de adsorção quanto ao biocarvão. Além disso, algumas publicações são focadas em estudos de cinética e mecanismos de adsorção, enquanto outros artigos destacam os adsorvatos estudados como o corante azul de metileno e metais pesados ou ainda sobre a aplicação de tecnologias como

pirólise e magnetismo. Destaca-se ainda que as 10 principais publicações são de autores chineses (Figura 8b), mas também filiados a instituições de outros países.

Figura 8 - Dez principais autores e seus vínculos aos periódicos (a) e relação entre os países com os principais autores (b) gerado pelo Biblioshiny

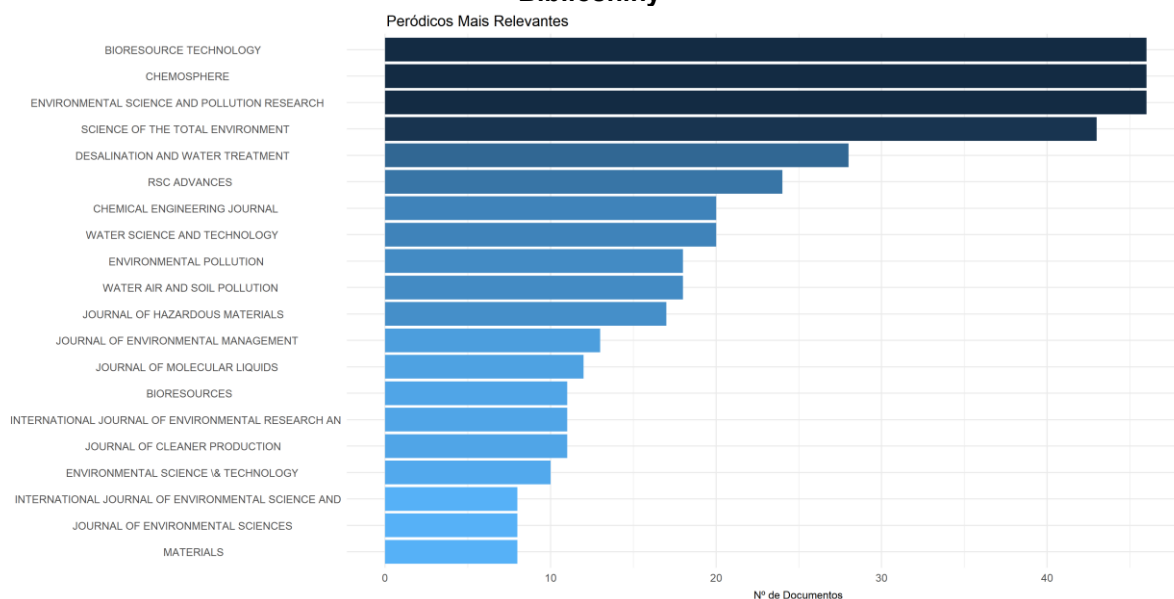


Fonte: Autoria Própria (2021)

5.1.1 Periódicos

Entre os 20 periódicos mais relevantes nessa área de pesquisa, destacam-se *Bioresource Technology*, *Chemosphere* e *Environmental Science and Pollution Research* com 46 publicações, seguidos do periódico *Science of the Total Environment* com 43 publicações (Figura 9).

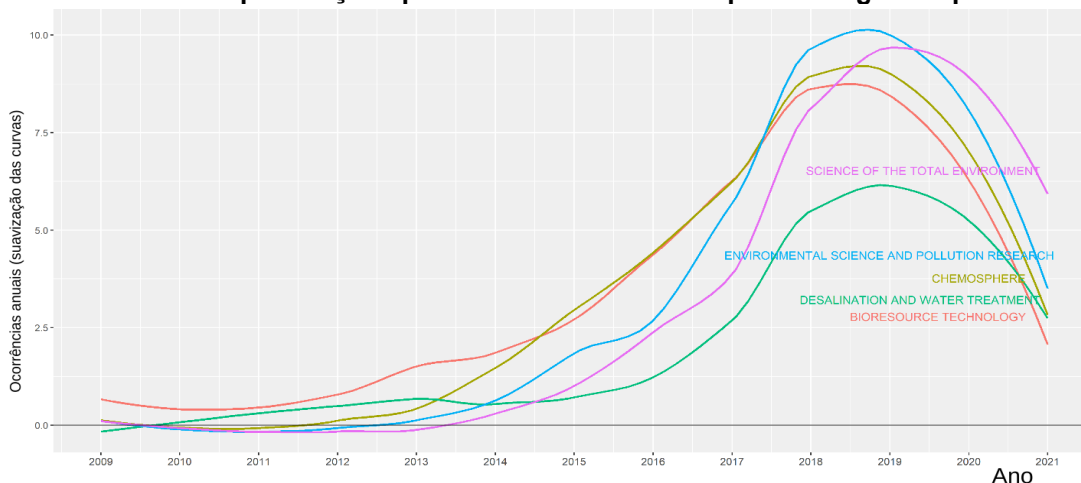
Figura 9 - Periódicos mais relevantes de acordo com o nº de artigos publicados gerado pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

A Figura 10 apresenta a linha do tempo com o número de publicações usando de linhas suavizadas. A suavização é uma técnica usada em toda a análise de dados, também pode ser entendida como ajuste de curva e filtragem de passagem baixa. Ela é projetada para detectar tendências em casos em que a forma da tendência é desconhecida. Para realizar essa técnica é assumido que a tendência é suave, como em uma superfície lisa (CAUMO, 2006).

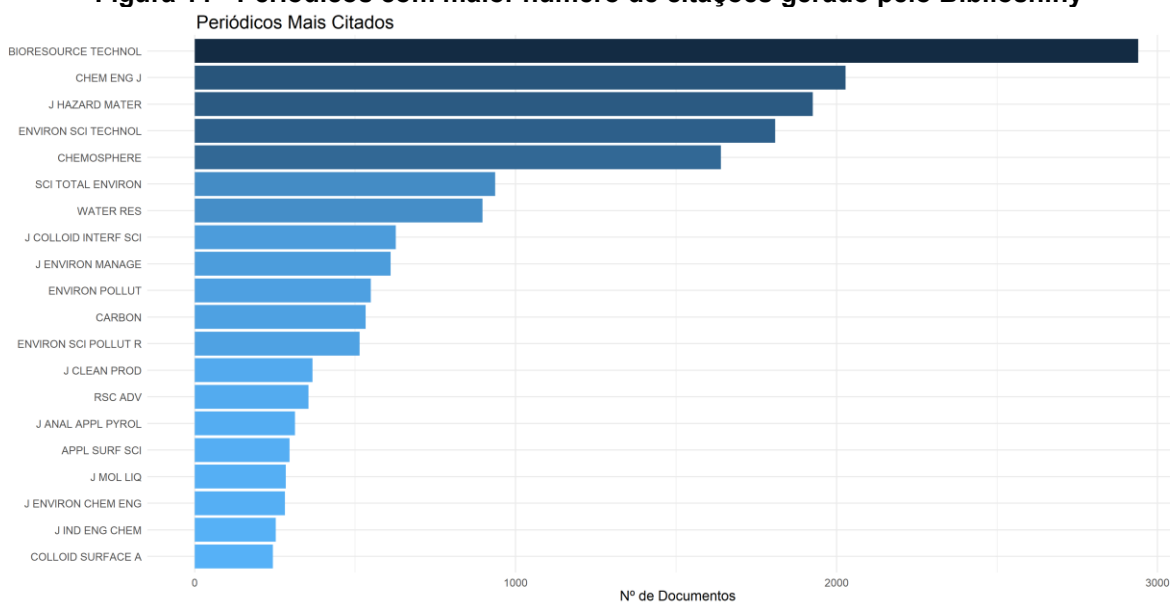
Figura 10 - Número de publicações por ano de acordo com o periódico gerado pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

Entre os 20 periódicos mais citados na lista de referências dessa coleção bibliográfica, destaca-se novamente a revista *Bioresource Technology* com 2940 citações (Figura 11), seguida de *Chemical Engineering Journal* (2028), *Journal of Hazardous Materials* (1926), *Environmental Science & Technology* (1809), *Chemosphere* (1640) e *Science of the Total Environment* (936). O periódico *Environmental Science and Pollution Research* que está empatado na primeira colocação em número de publicações, consta somente na 12ª posição entre os periódicos mais citados com 514 citações.

Figura 11 - Periódicos com maior número de citações gerado pelo Biblioshiny

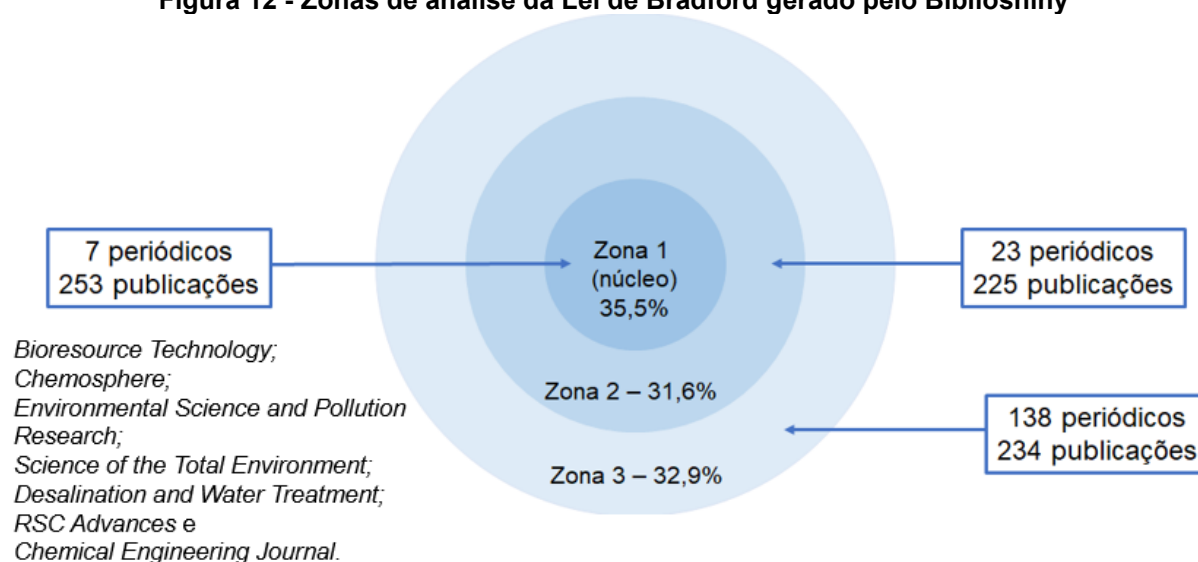


Fonte: Autoria Própria (2021)

A Lei de Bradford indica que as revistas mais relevantes estão na zona 1 e são as que contêm os primeiros 33% do total de artigos, sendo a segunda zona os próximos 33%, e o restante (zona 3) é composto por diversas revistas que publicaram poucas vezes sobre o tema, sendo de pouca importância do pesquisador.

Na zona 1 foram agrupados 7 periódicos por ordem decrescente de relevância: *Bioresource Technology*, *Chemosphere*, *Environmental Science and Pollution Research*, *Science of the Total Environment*, *Desalination and Water Treatment*, *RSC Advances* e *Chemical Engineering Journal* (Figura 12). Pode-se concluir que 4,17% do total de periódicos publicaram 35,5% do total de artigos sobre a temática pesquisada.

Figura 12 - Zonas de análise da Lei de Bradford gerado pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

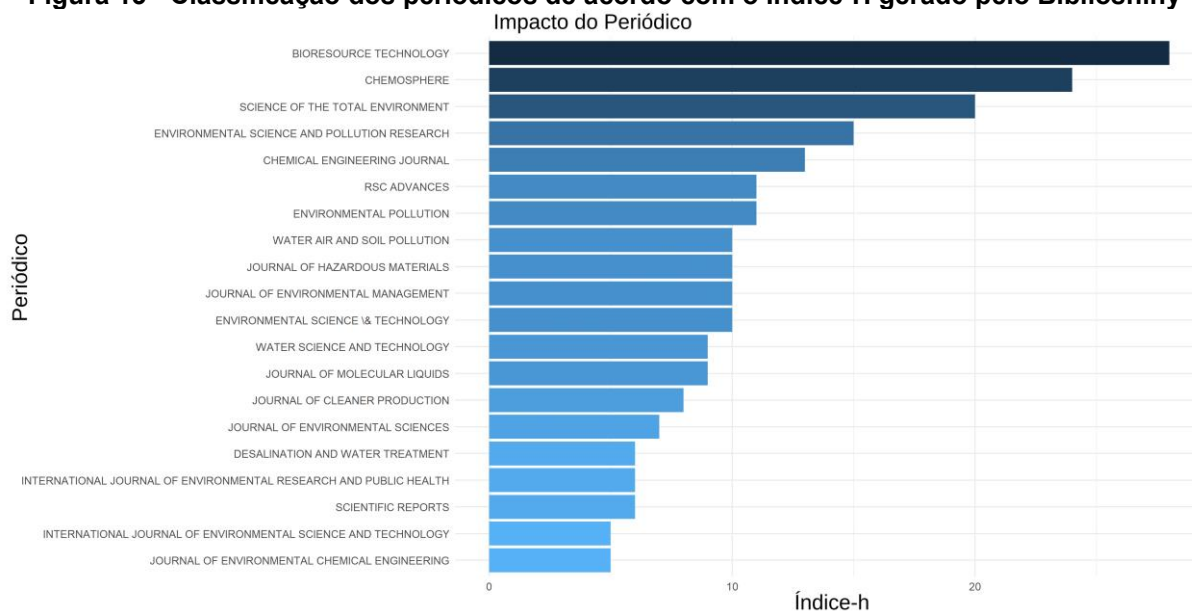
Na zona 2 foram agrupados 23 periódicos com 225 publicações e o restante dos 138 periódicos foram agrupados na zona 3 com 234 publicações, estas últimas podem ser consideradas pouco relevantes, pelo menos de maneira quantitativa, para o pesquisador.

Estes dados servem tanto para os pesquisadores que estão à procura de informações sobre o tema, quanto para aqueles que desejam publicar novas pesquisas, pois podem selecionar quais periódicos têm uma maior incidência de publicação e quais provavelmente precisam publicar mais artigos sobre a temática.

A Figura 13 apresenta os 20 periódicos que apresentaram maior Índice-H. É importante ressaltar que o Índice-H não é um valor estático, pois depende da

amostragem utilizada para o cálculo. Além disso, o cálculo feito em 2021 pode ser diferente em 2022 ou 2023, pois o mesmo conjunto de artigos poderá receber mais citações nos anos posteriores.

Figura 13 - Classificação dos periódicos de acordo com o Índice-H gerado pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

O periódico *Bioresource Technology* se destaca nessa área de estudo pois tem como objetivo disseminar conhecimento nas áreas que relacionam estudos de biomassa, tratamento de resíduos biológicos, bioenergia, análise de sistemas de biotransformações e bio-fontes e tecnologias ligadas a conversão ou produção (PANDEY, 2021). Com isso, é possível inferir que os artigos publicados neste periódico estão ligados ao tema em questão, sendo seu perfil de publicação análogo ao objetivo desta pesquisa.

A revista *Chemical Engineering Journal* apresenta pesquisas fundamentais originais, revisões interpretativas e discussão de novos desenvolvimentos em engenharia química com enfoque em três aspectos: engenharia de reação química, engenharia química ambiental e síntese e processamento de materiais (ALLEN et al., 2021). Já a *Chemosphere*, como um jornal multidisciplinar, oferece a máxima divulgação de investigações relacionadas a todos os aspectos da identificação, quantificação, comportamento, destino, toxicologia, tratamento e remediação de produtos químicos em todas as esferas do meio ambiente (BOER, GALLOWAY e YOON, 2021).

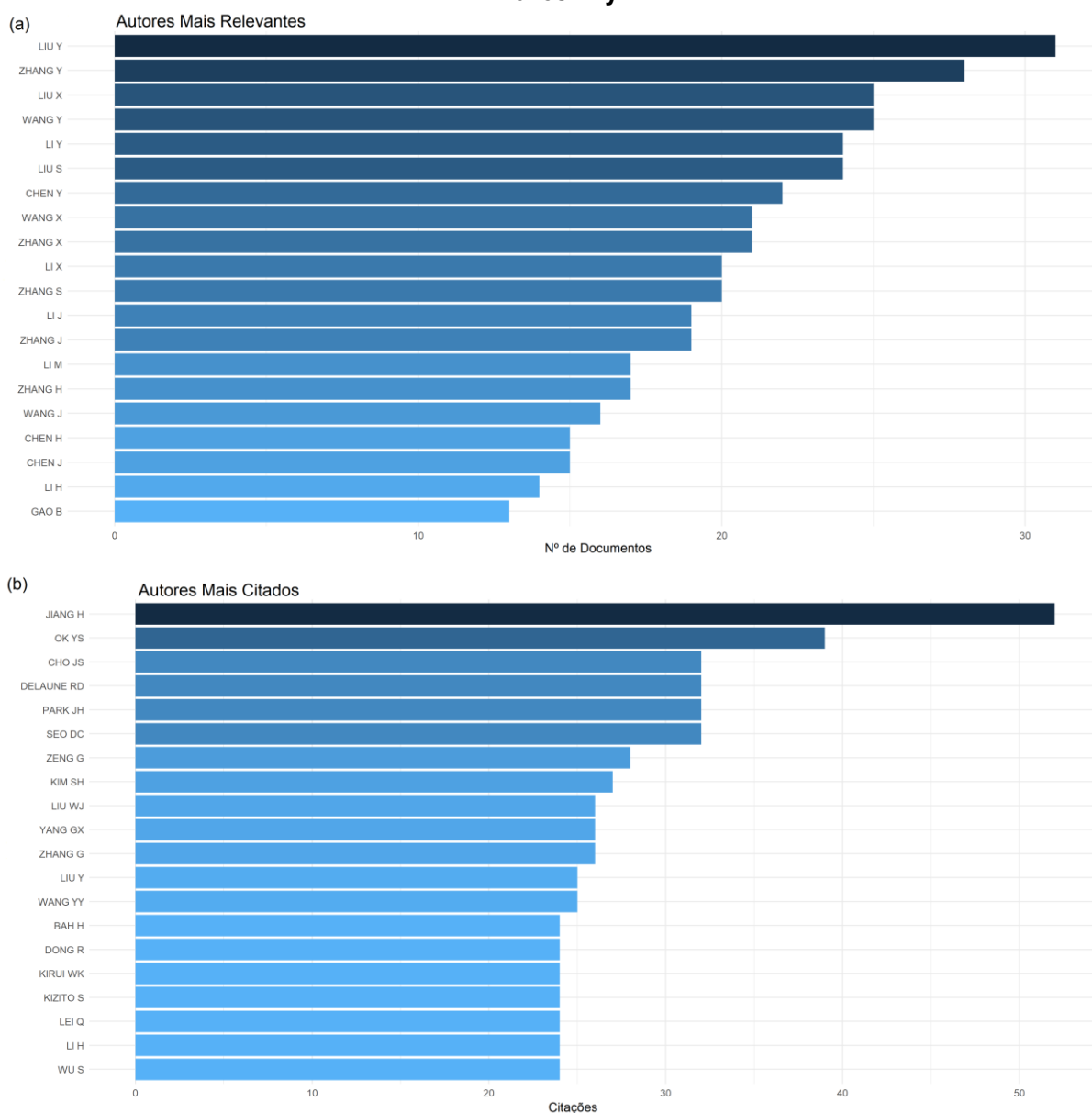
Science of the Total Environment é um periódico caracterizado por compor diversos estudos, dentre eles: impactos ambientais de resíduos ou tratamento de águas residuais, contaminantes da água potável e implicações para a saúde, novos contaminantes, biomonitoramento e abordagens de avaliação de risco para garantir a qualidade e segurança da água (BARCELÓ, GAN e HOPKE, 2021).

Destaca-se que o tema abordado nesse estudo tem associação direta com estes periódicos, uma vez que as publicações abordam tópicos como: bioprocessos e bioprodutos, uso de biomassa e matérias-primas (com bioconversão de resíduos agroindustriais), conversão termoquímica de biomassa, bem como processos de adsorção de contaminantes a fim de conter impactos ambientais.

5.1.2 Autores

É fundamental conhecer os autores que atuam nessa área. A Figura 14 mostra os principais autores que publicaram nessa área de interesse. Entre os 20 autores que mais publicaram nesse tema de estudo, destacam-se Liu Y., com 31 artigos científicos e Zhang Y. com 28 artigos (Figura 14a). Em contrapartida, esses autores não constam entre os mais citados dessa coleção bibliográfica. Os autores mais citados foram Jiang H. (52 citações) e Ok Y. S. (39 citações). Liu Y. foi o 12º autor mais citado (25 citações), enquanto Zhang Y. foi somente o 83º autor mais citado (11 citações) conforme Figura 14b.

Figura 14 - Classificação de autores por número de publicações (a) e citações (b) gerado pelo Biblioshiny

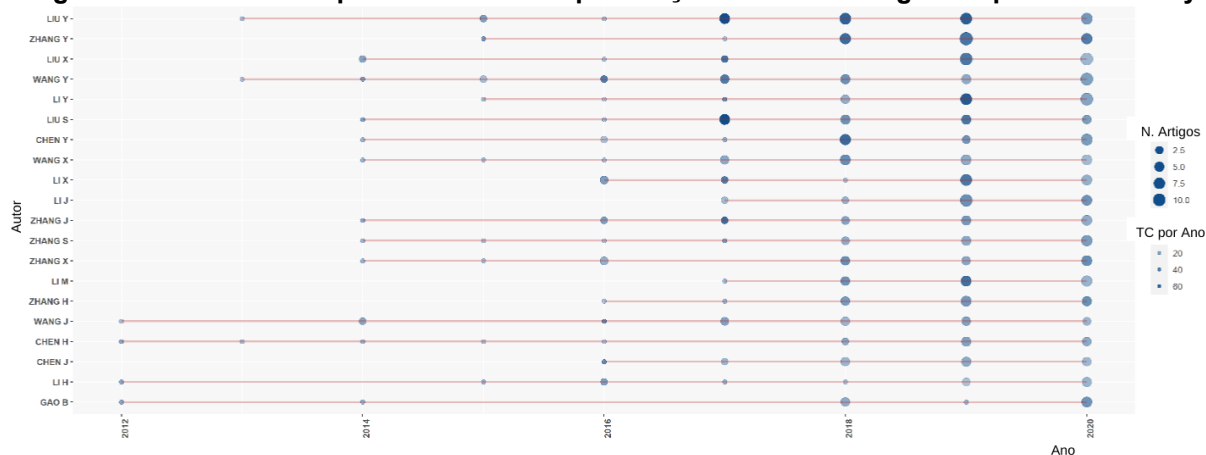


Fonte: Autoria Própria (2021)

A produção dos 20 principais autores ao longo dos anos é apresentada na Figura 15. As linhas representam a linha de tempo de cada autor. O tamanho dos círculos são proporcionais ao número de documentos e a intensidade da cor é proporcional ao número total de citações por ano. Verifica-se que os autores Wang J., Chen H., Li H. e Gao B. possuem a maior linha de tempo (2012-2020) em relação ao período estudado. Em 2019, Zhang Y. publicou 11 artigos e em 2020, Wang Y. publicou 10 artigos. Liu X. destaca-se por ter publicado 10 artigos em 2019 e em 2020.

Os autores Liu S. e Liu Y. apresentaram o maior número de citações por ano em suas publicações, chegando a 72,6 em 2017.

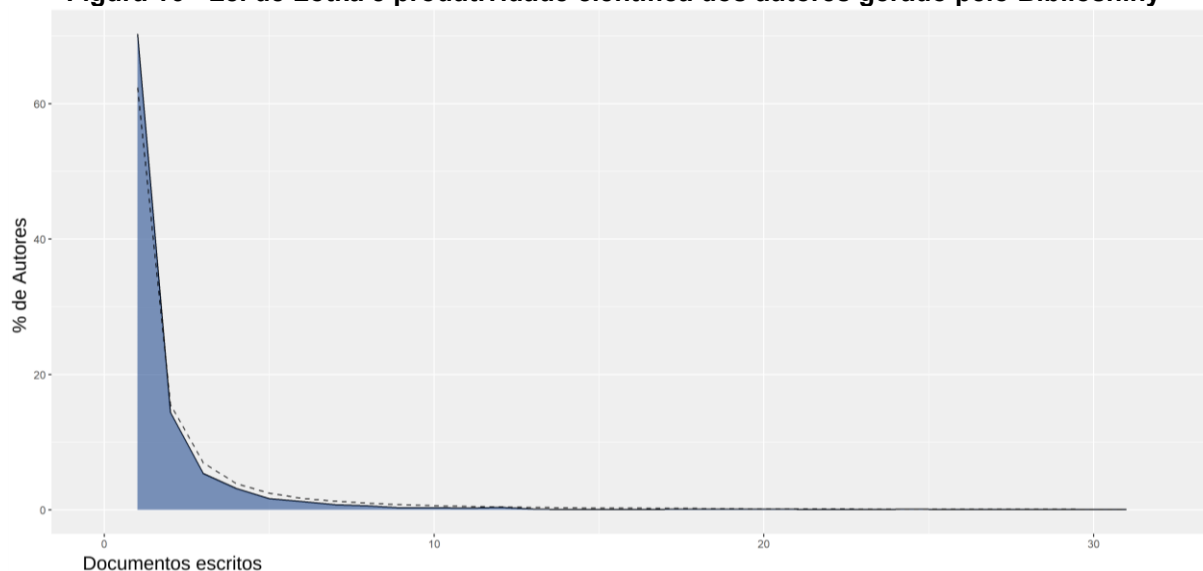
Figura 15 - Linha do tempo com análise de publicações dos autores gerado pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

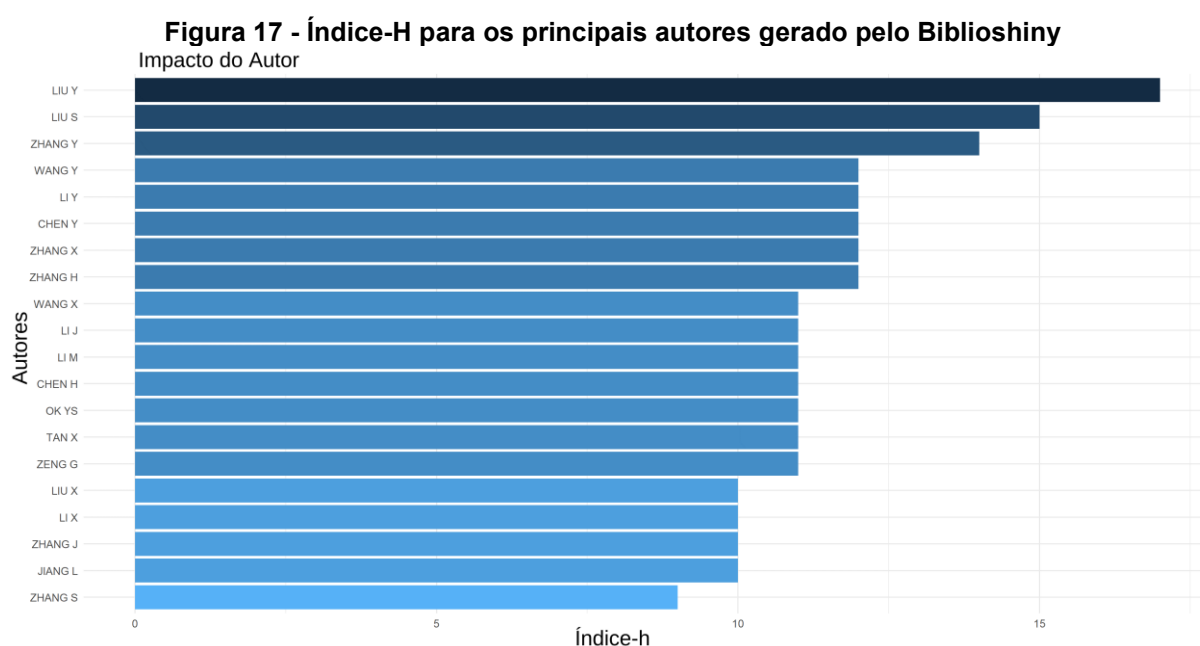
Em relação à contribuição individual dos 1.984 autores dessa coleção bibliográfica, a pesquisa demonstrou que ao longo dos 20 anos, 1.395 (70,3%) publicaram apenas uma vez indicando baixa produtividade dos pesquisadores e caracterizados como autores “ocasionais”. Em contrapartida, 42 (2,1%) autores publicaram ao menos 10 artigos e somente 10 autores (0,5%) publicaram mais de 20 artigos no período estudado (Figura 16). A Lei de Lotka foi utilizada para analisar a produtividade científica dos autores, verificando a contribuição de cada um para o desenvolvimento científico nessa área de conhecimento.

Figura 16 - Lei de Lotka e produtividade científica dos autores gerado pelo Biblioshiny



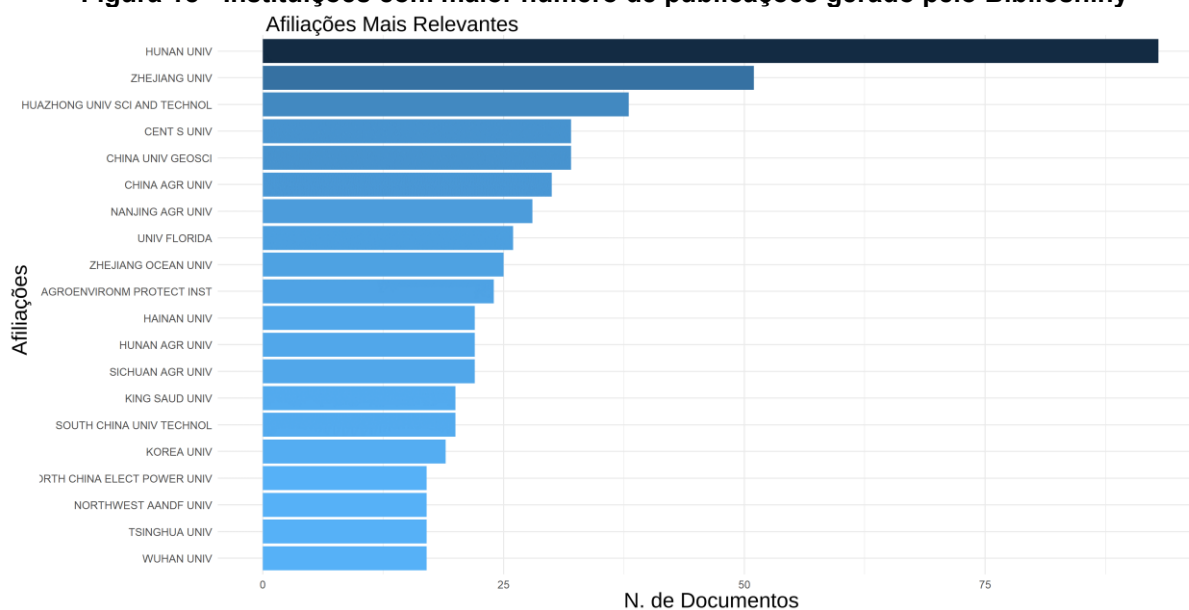
Fonte: Autoria Própria (2021)

Entre os indicadores de impacto relativo aos autores, o índice-H, é considerado um parâmetro avaliativo robusto, por avaliar de forma simultânea os aspectos relativos à produção (número de publicações) e ao impacto (número de citações). A Figura 17 apresenta os 20 principais autores da área de estudo em relação ao índice-H. Novamente se destacam os autores Liu Y., Liu S. e Zhang Y. apresentando índice H de 17, 15 e 14, respectivamente.



Fonte: Autoria Própria (2021)

As publicações desse tema de pesquisa estão associadas a pesquisadores de diversas instituições, das quais se destacam *Hunan University*, *Zhejiang University* e *Huazhong University of Science and Technology* com 13, 7 e 5% dos artigos científicos, respectivamente (Figura 18).

Figura 18 - Instituições com maior número de publicações gerado pelo Biblioshiny

Fonte: Autoria Própria (2021)

Conforme já mencionado anteriormente, a maioria das publicações foi feita por pesquisadores chineses. As publicações por múltiplos países (MCP) medem a intensidade da colaboração internacional de uma publicação ao passo que as publicações por países únicos (SCP) apresentam as publicações cujos autores são originários do mesmo país. O Brasil ocupa a 7^a posição em número de publicações, 6^a posição em SCP e 9^a posição em publicações MCP.

Levando em consideração a razão de MCP em função do número total de artigos, o Brasil ocupa a 24^a posição (0,25), mas fica à frente da China na 25^a posição (0,24), que possui o maior número de publicações. Os países que mais se destacam em relação à alta colaboração internacional, apesar do quantitativo de artigos não ser muito expressivo comparado à China, são Arábia Saudita e Suécia, com razão de 0,75, seguidos de Reino Unido e Vietnã com razão de 0,67 e Japão (0,60) conforme apresentado na Tabela 1. Países como Índia e Irã, com 23 e 15 publicações respectivamente, apresentaram baixa colaboração internacional, resultando em razão MCP/artigos de 0,17 e 0,07, respectivamente.

Tabela 1 - Classificação quanto à razão de MCP por número de artigos gerado pelo Biblioshiny

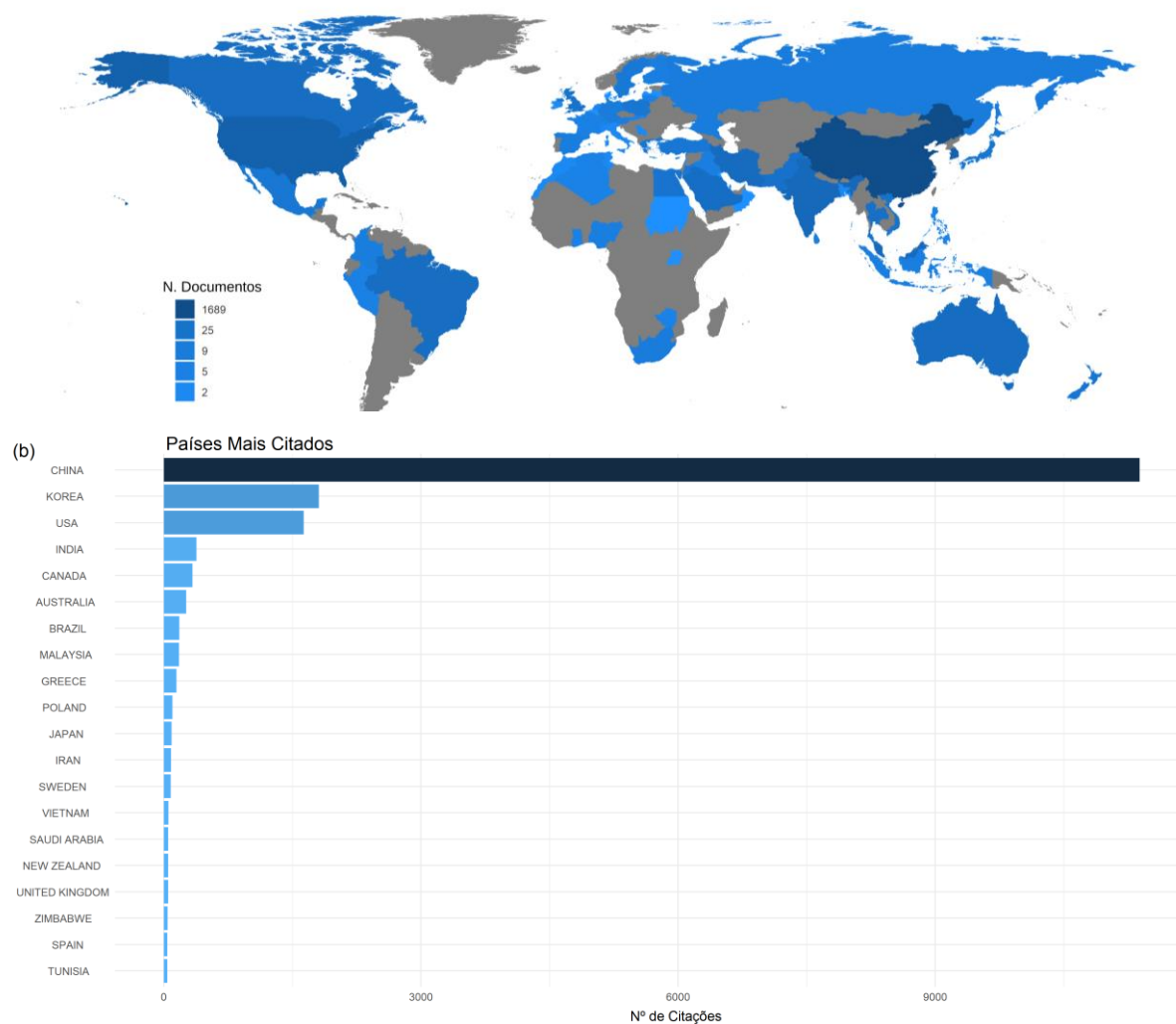
Ranking	Países	Artigos	Frequência	SCP	MCP	MCP/Artigos
1	GERMANY	2	0.0028	0	2	1.00
2	RUSSIA	2	0.0028	0	2	1.00
3	ALGERIA	1	0.0014	0	1	1.00
4	FINLAND	1	0.0014	0	1	1.00
5	IRAQ	1	0.0014	0	1	1.00
6	IRELAND	1	0.0014	0	1	1.00
7	MOROCCO	1	0.0014	0	1	1.00
8	PHILIPPINES	1	0.0014	0	1	1.00
9	SLOVAKIA	1	0.0014	0	1	1.00
10	TUNISIA	1	0.0014	0	1	1.00
11	SAUDI ARABIA	8	0.0112	2	6	0.75
12	SWEDEN	4	0.0056	1	3	0.75
13	UNITED KINGDOM	3	0.0042	1	2	0.67
14	VIETNAM	3	0.0042	1	2	0.67
15	JAPAN	5	0.0070	2	3	0.60
16	CANADA	12	0.0169	5	7	0.58
17	COLOMBIA	2	0.0028	1	1	0.50
18	LITHUANIA	2	0.0028	1	1	0.50
19	USA	33	0.0464	18	15	0.45
20	MALAYSIA	16	0.0225	9	7	0.44
21	KOREA	39	0.0548	23	16	0.41
22	AUSTRALIA	14	0.0197	9	5	0.36
23	GREECE	6	0.0084	4	2	0.33
24	BRAZIL	12	0.0169	9	3	0.25
25	CHINA	456	0.6405	357	99	0.22
26	EGYPT	5	0.0070	4	1	0.20
27	INDIA	23	0.0323	19	4	0.17
28	CYPRUS	6	0.0084	5	1	0.17
29	THAILAND	8	0.0112	7	1	0.13
30	IRAN	15	0.0211	14	1	0.07
31	POLAND	6	0.0084	6	0	0.00
32	SOUTH AFRICA	3	0.0042	3	0	0.00
33	TURKEY	3	0.0042	3	0	0.00
34	MEXICO	2	0.0028	2	0	0.00
35	NIGERIA	2	0.0028	2	0	0.00
36	PAKISTAN	2	0.0028	2	0	0.00
37	SINGAPORE	2	0.0028	2	0	0.00
38	SPAIN	2	0.0028	2	0	0.00
39	GHANA	1	0.0014	1	0	0.00
40	INDONESIA	1	0.0014	1	0	0.00
41	JORDAN	1	0.0014	1	0	0.00
42	NEW ZEALAND	1	0.0014	1	0	0.00
43	PERU	1	0.0014	1	0	0.00
44	ZIMBABWE	1	0.0014	1	0	0.00

Fonte: Autoria Própria (2021)

A produção científica por países é apresentada na Figura 19a, sendo que a intensidade da cor azul é proporcional ao número de publicações de cada país. Proporcionalmente, o número de citações por países é similar, conforme pode ser observado na Figura 19b.

Figura 19 - Produção científica por país (a) e respectivas citações (b) gerado pelo Biblioshiny

(a) Produção Científica por País

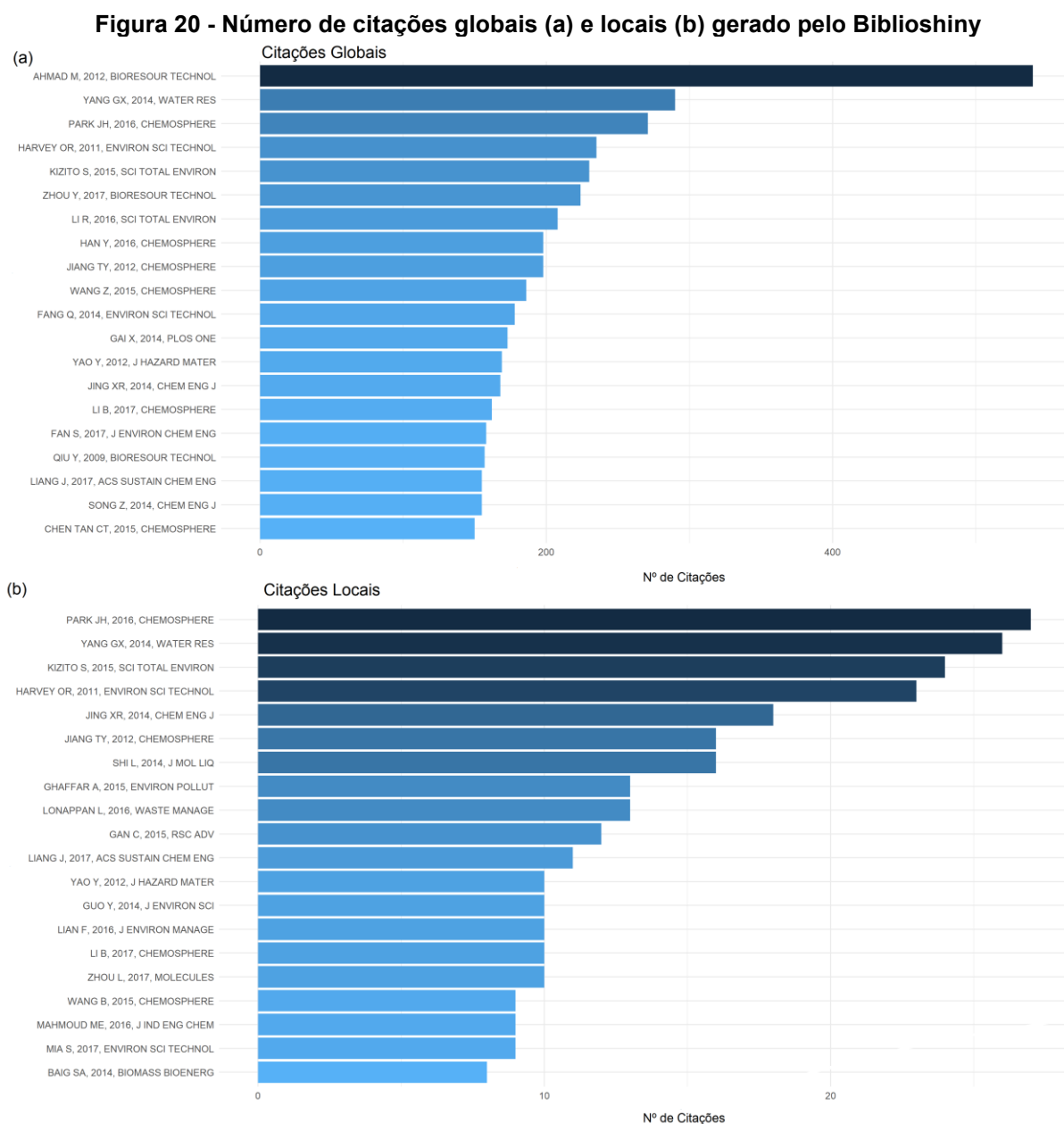


Fonte: Autoria Própria (2021)

5.1.3 Publicações

As citações globais medem o número de citações que uma publicação recebeu a partir de artigos científicos contidos em toda a base de dados (*WoS*). Esses dados são fornecidos pela *WoS* e incluídos nos metadados exportados e medem o impacto das publicações em toda a base de dados bibliográfica. Para diversos artigos,

grande parte do total de citações pode ser oriunda de várias áreas temáticas. O artigo científico mais relevante desse estudo, baseado no número de citações globais (Figura 20) é o do autor Ahmad M. (2012) com 540 citações.



Fonte: Autoria Própria (2021)

Ahmad et al. (2012) estudaram a produção de biocarvões de palha de soja e casca de amendoim por pirólise a 300 e 700°C com intuito de remover tricloroetileno (TCE) da água. Os resultados mostraram que a adsorção de TCE foi fortemente dependente das propriedades dos biocarvões. A alta capacidade de adsorção dos biocarvões produzidos a 700°C foi atribuída à sua alta aromaticidade e baixa

polaridade, sendo considerado um fator crítico para avaliar a eficiência de remoção de TCE da água. Desta forma, esse artigo se tornou uma referência sobre as propriedades físicas consideradas relevantes para a produção de biocarvões a partir do processo de pirólise.

Destacam-se ainda as publicações dos autores Yang G. X. (2014) e Park J. H (2016), com 290 e 271 citações, respectivamente. Yang e Jiang (2014) estudaram a modificação da estrutura do biocarvão por técnicas como nitração e redução para ligação de grupos aminos ao grupo funcional dos poros do adsorvente, com o intuito de se obter uma adsorção aprimorada de íons de cobre (Cu (II)) de águas residuais sintéticas. Park et al. (2016) avaliaram a adsorção de metais pesados nas formas mono e multimetal em palha de gergelim. Até então, a sorção competitiva de metais por esta biomassa não havia sido relatada. Os comportamentos de adsorção multimetal diferiram da adsorção monometal durante a adsorção multimetálica, o cádmio (Cd) foi facilmente substituído por outros metais.

Nota-se que esses três artigos científicos possuem pesquisas distintas, porém todos estão relacionados com a temática do presente estudo, utilizando biocarvões obtidos de diferentes matrizes vegetais e estudando a adsorção de diferentes contaminantes.

As citações locais (Figura 20b), calculadas pelo *Bibliometrix*, medem o número de citações que uma publicação recebeu em relação aos artigos científicos contidos na coleção bibliográfica da presente pesquisa. Entre as citações locais, destaca-se novamente a publicação de Park J. H (2016), seguida de Yang G. X. (2014), Kizito S. (2015) e Harvey O. R. (2011), com 27, 26, 24 e 23 citações, respectivamente.

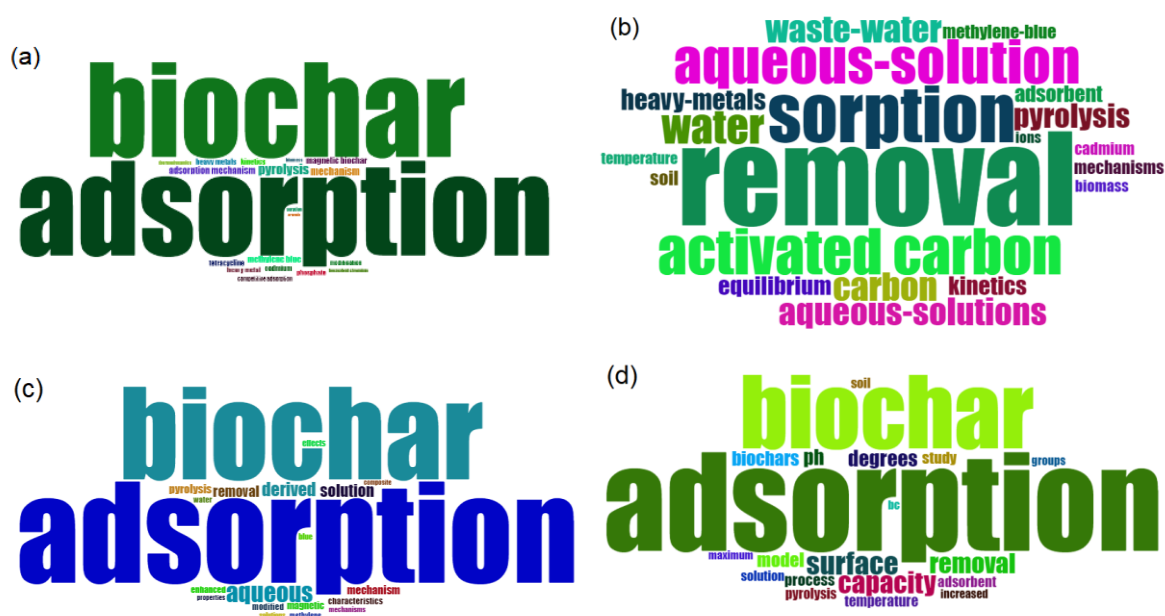
Kizito et al. (2015) avaliaram biocarvões de madeira e casca de arroz (pirolisadas lentamente) para adsorção de nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_4^{\text{-N}}$) de esterco de porco. Para ambos os biocarvões, a adsorção aumentou com o aumento do tempo de contato, temperatura, pH e concentração de $\text{NH}_4^{\text{-N}}$, mas diminuiu com o aumento do tamanho das partículas do biocarvão.

Harvey et al. (2011) investigaram as interações metálicas na interface biocarvão-água relacionando relações energética e estrutura-sorção elucidadas por microcalorimetria de adsorção de fluxo. As contribuições quantitativas desses mecanismos para a sorção de Cd (II) podem exceder 3 vezes o esperado para a troca

iônica e, portanto, podem ter implicações significativas para o ciclo biogeoquímico de metais em sistemas impactados pelo fogo corrigidos por biocarvão.

Em relação às 20 palavras mais frequentes, observa-se que biocarvão e adsorção se destacam na nuvem de palavras a partir das palavras-chaves (Figura 21a), palavras-chave *plus* (Figura 21b), títulos (Figura 21c) e resumos (Figura 21d). Na nuvem de palavras gerada a partir do algoritmo para palavras-chave *plus* observa-se uma frequência mais distribuída em relação às palavras, sendo que outras palavras se destacam além de adsorção e biocarvão.

Figura 21 - (a) Palavras-chave, (b) palavras-chave *plus*, (c) títulos e (d) resumos gerado pelo Biblioshiny



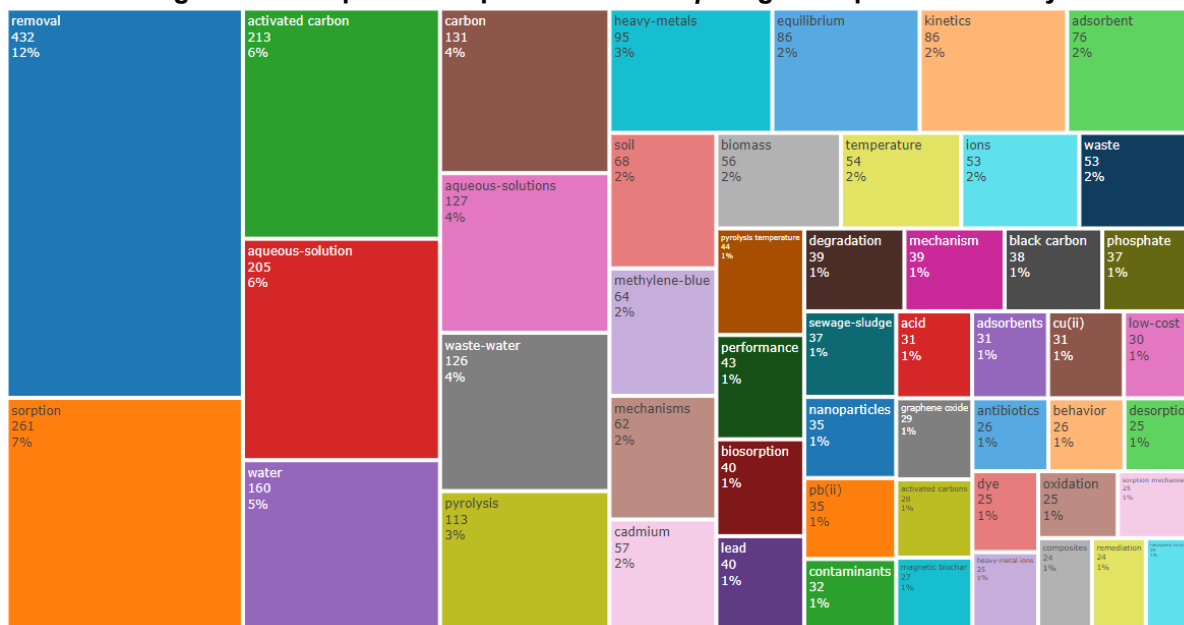
Fonte: Autoria Própria (2021)

Garfield afirma que as palavras-chave *plus*, capturam o conteúdo dos artigos com maior profundidade e variedade (GARFIELD; SHER, 1993). Em contrapartida, Zhang et al. (2016) reportam que palavras-chave *plus* é tão efetivo quanto as palavras-chave em análises bibliométricas em termos de estruturas de conhecimento, porém menos abrangente na representação do conteúdo de um artigo.

Analisando as 50 palavras mais frequentes considerando as palavras-chave *plus*, biomassa apresentou uma frequência de 56 (Figura 22), enquanto para as palavras-chave, a frequência foi de 14. Pode-se concluir que biomassa é um termo emergente de pesquisa relacionada à processos de adsorção analisando a Figura 23, uma vez que a ocorrência dessa palavra foi registrada pela primeira vez somente em

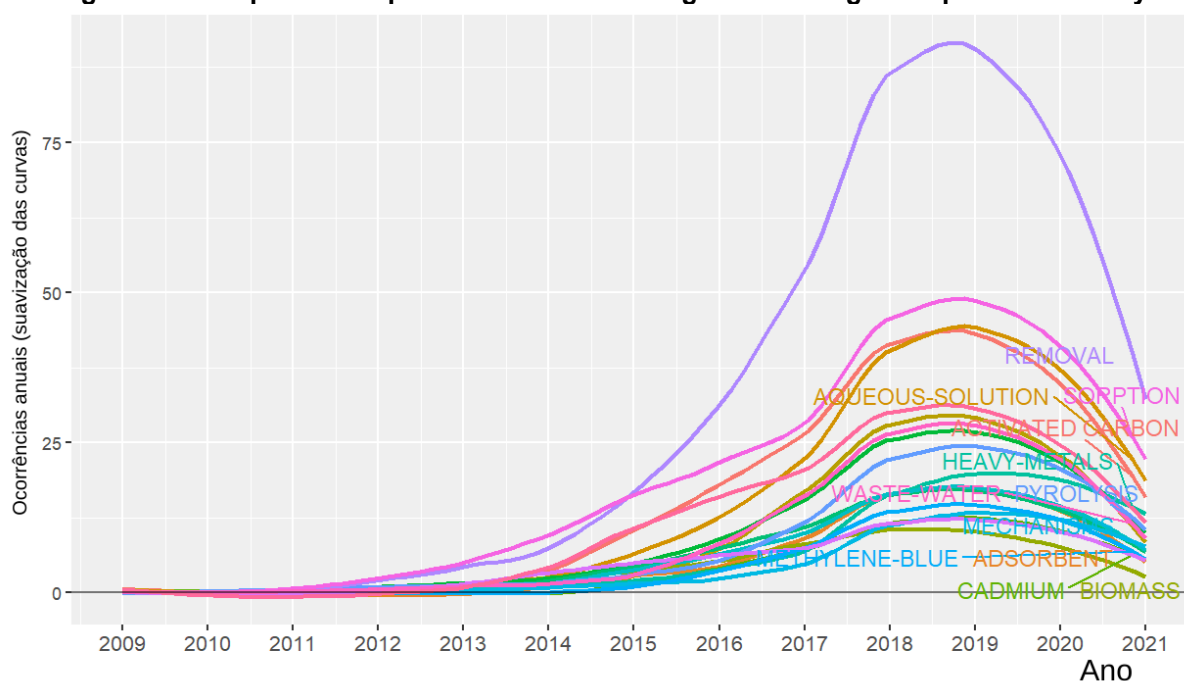
2013 e com uma média de ocorrências de 2,5 até 2015. Entre 2016 e 2017, foram registradas em média 6,5 ocorrências e a partir de 2018 uma média de 11 ocorrências.

Figura 22 - Frequência de palavras-chaves *plus* gerado pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 23 - Frequência de palavras-chaves ao longo dos anos gerado pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

5.2 ESTRUTURAS DO CONHECIMENTO

5.2.1 Estrutura Conceitual

A análise de redes de co-ocorrência de palavras-chave mostrou quais os temas são mais associados nas pesquisas com o tema dessa pesquisa. Na Figura 24, as palavras que mais se associam a outras são representadas por *clusters*. A partir da posição de cada palavra-chave, também é possível analisar a centralidade ou distância do vértice. Observa-se claramente a centralidade dos vértices adsorção e biocarvão, como já era esperado em função de serem os descritores utilizados na pesquisa na WoS. Também com alta centralidade verifica-se as palavras metais pesados, isotermas e adsorção competitiva.

O tamanho dos círculos também é proporcional à co-ocorrência dos itens, independente da centralidade ou distância do vértice. Pela rede formada, tem-se que as palavras-chaves mais usadas (de maior centralidade) foram: carbonização hidrotérmica, cromo hexavalente, biocarvão magnético, isotermas de adsorção, cinética de adsorção, mecanismos de adsorção, temperatura de pirólise, e biocarvão ativado. Nota-se que as redes existentes entre essas palavras e a relação dessas com as demais são grandes e significativas para o estudo.

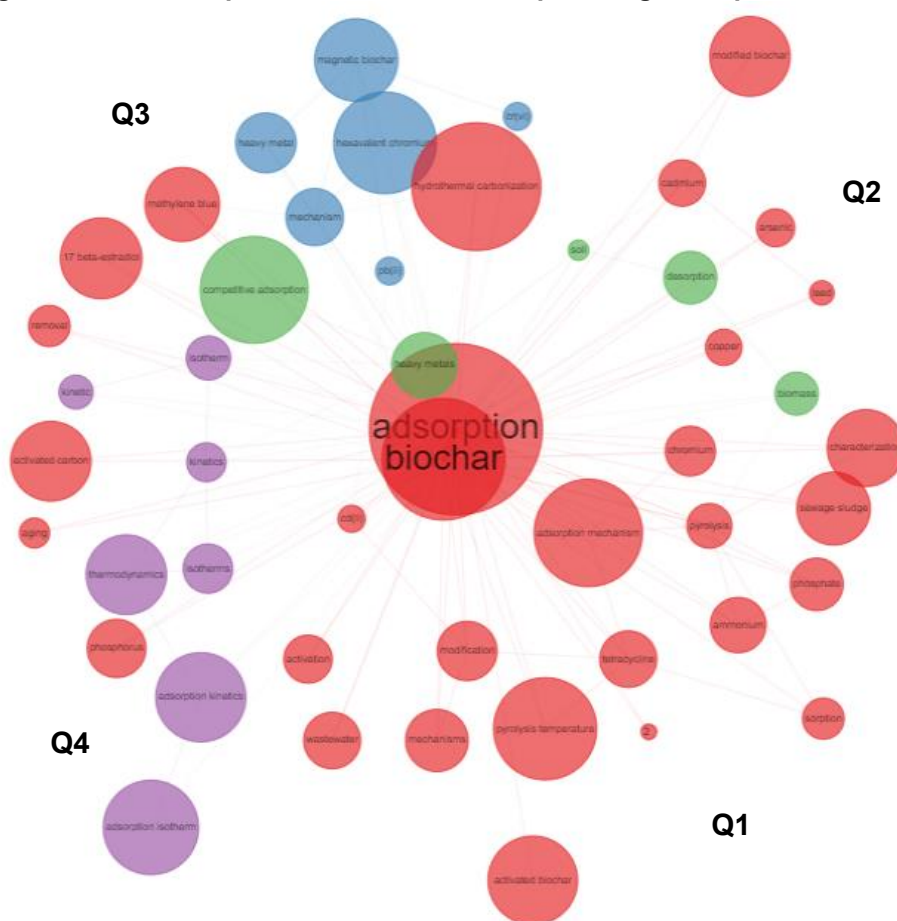
As palavras-chave podem ser consideradas um dos pontos mais importantes de uma publicação e a análise de co-palavras pode ser usada para detectar tópicos de pesquisa, analisar pontos de acesso de pesquisa e monitorar transições de fronteira de pesquisa de um determinado domínio de conhecimento (YU et al., 2017).

Quatro *clusters* foram formados a partir do algoritmo de clusterização “*Louvain*”, sendo que o primeiro *cluster* (vermelho), composto por 31 palavras-chaves, está relacionado aos processos de obtenção, modificação ou ativação de biocarvão, bem como sua caracterização e estudos relacionados aos mecanismos de adsorção utilizando diferentes adsorvatos (azul de metileno, tetraciclina, efluentes e metais pesados estrógenos).

O segundo *cluster* (azul) é composto por 6 palavras-chaves e é focado em estudos sobre os mecanismos de adsorção especificamente de biocarvão magnético usando metais pesados (cromo e chumbo) como adsorvatos. O terceiro *cluster* (verde), composto por 5 palavras-chaves apresenta estudos de adsorção competitiva

de metais pesados em solo e utilização de biomassa na dessorção. O quarto *cluster* (lilás) possui 7 palavras-chaves e agrupa os estudos relacionados à cinética dos processos de adsorção, especialmente em isotermas e termodinâmica. É importante ressaltar que cada agrupamento, apesar de manter uma relação maior com as palavras inseridas nele, não foi isolado dos demais e as palavras estão associadas em menor grau a grupos distintos.

Figura 24 - Rede de palavras-chave mais frequentes gerado pelo Biblioshiny



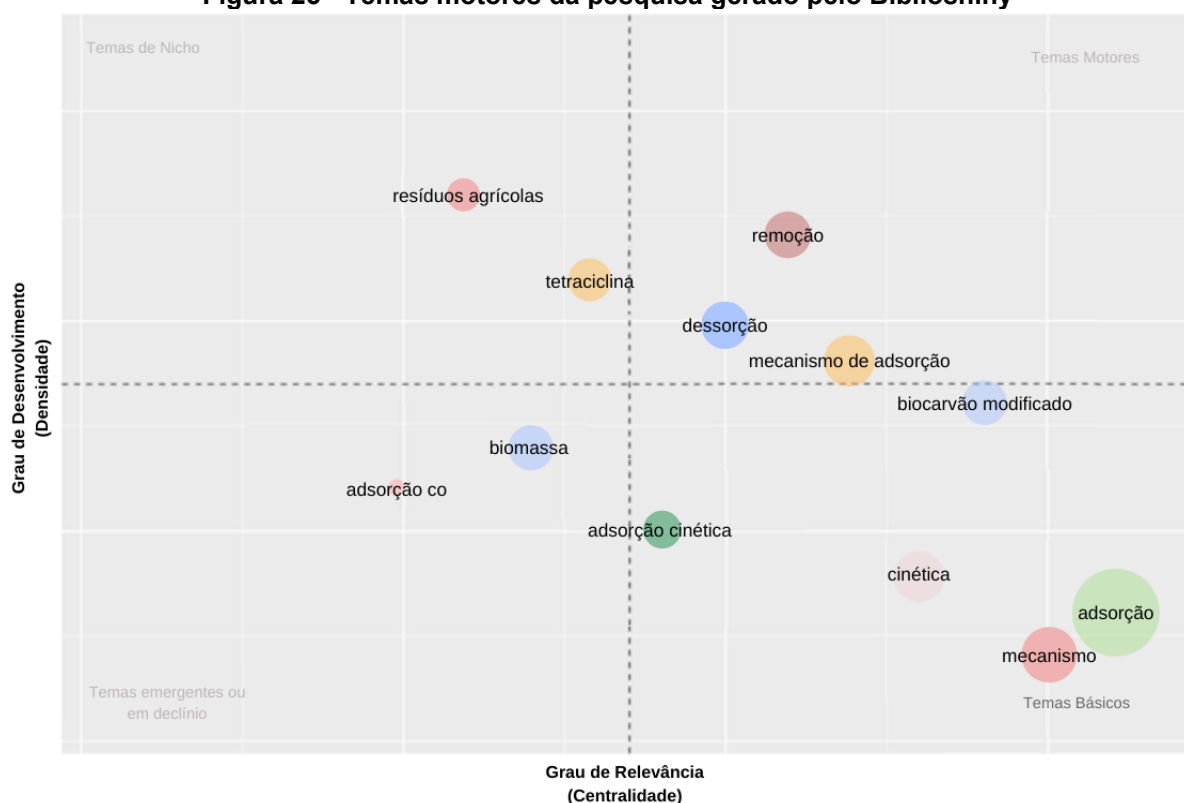
Fonte: Autoria Própria (2021)

Além da rede, é possível analisar a centralidade e densidade a partir do mapa temático da Figura 24. Resultando em temas básicos e transversais (Q1); temas motores (Q2); temas considerados como nichos, altamente desenvolvidos ou isolados (Q3); e temas emergentes ou em declínio isolados (Q4). Cada círculo representa um *cluster* de rede, sendo que o nome do círculo representa para esse *cluster* a palavra de maior ocorrência. O tamanho do círculo é proporcional à ocorrência das palavras

do *cluster* e a posição do *cluster* está definida de acordo com a centralidade e densidade de Callon (CALLON, CORTIAL e LAVILLE, 1991).

Os temas motores ou altamente desenvolvidos nas pesquisas com adsorção de biocarvão são relacionados com o mecanismo de adsorção, dessorção e remoção (Figura 25). Entre os temas básicos mais relevantes pesquisados, além dos mecanismos de adsorção, se destacam os estudos de cinética e de modificação de biocarvão. Pesquisas relacionadas à biomassa e adsorção de CO₂ (ainda com menor expressão) apresentaram comportamento que pode indicá-los como campos de pesquisa emergentes ou em desaparecimento. Resíduos agrícolas e tetraciclina aparecem como temas de pesquisa muito especializados.

Figura 25 - Temas motores da pesquisa gerado pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

Com a centralidade é possível observar os grandes grupos de nós presentes, enquanto a densidade indica o quanto aquele termo é mencionado na pesquisa (CHEN, DUBIN e KIM, 2014). O nó com alta centralidade é aquele que conecta dois ou mais nós com o nó central. A Tabela 2, está associada à Figura 25, reforça os principais temas, relacionando-as com frequência e centralidade.

Tabela 2 - Principais temas de pesquisa e respectiva centralidade

Cluster	Centralidade	Densidade
Mecanismo	6,4	81,0
Cinética de adsorção	3,9	104,2
Mecanismo de adsorção	5,6	115,5
Remoção	4,2	128,3
Resíduos agrícolas	2,8	177,0
Biomassa	3,5	109,9
Adsorção de CO ₂	1,0	107,4
Dessorção	4,1	122,1
Adsorção	13,4	83,4
Tetraciclina	3,7	123,5
Cinética	5,7	92,6
Biocarvão modificado	6,1	114,9

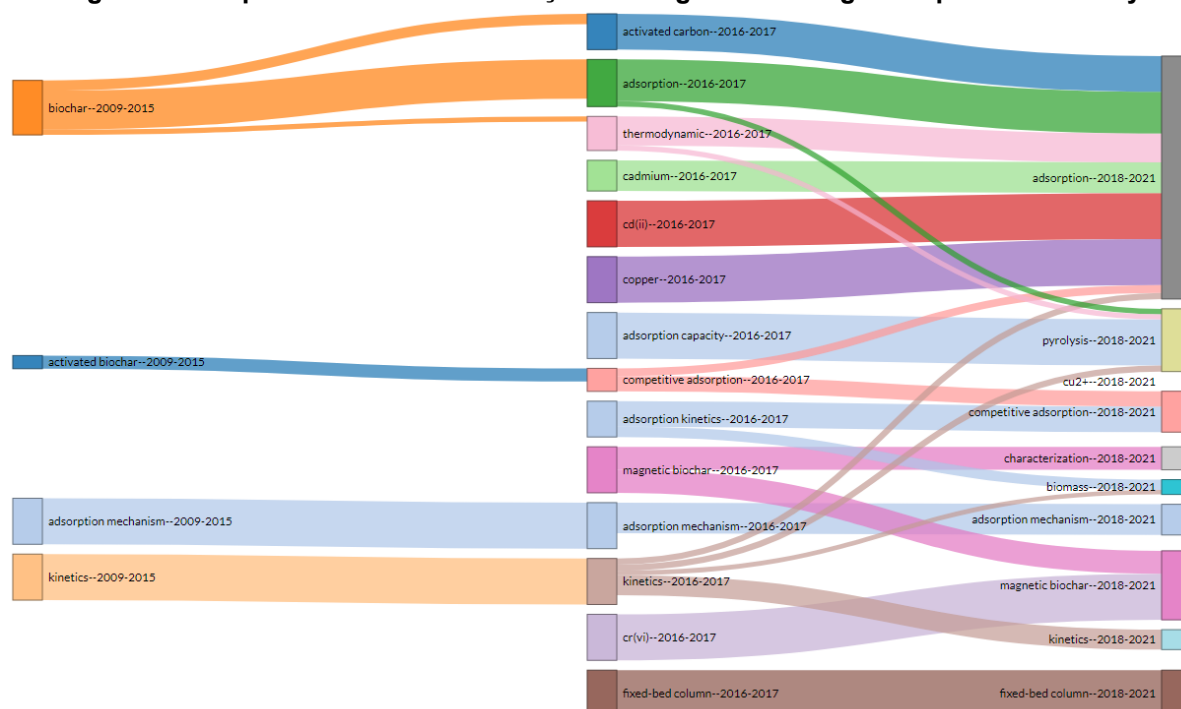
Fonte: Autoria Própria (2021)

As centralidades foram maiores para pesquisas relacionadas à adsorção propriamente dita (13,4) e respectivos mecanismos (6,4), bem como biocarvão modificado (6,1) e estudos de cinética (5,7), o que indica uma maior influência dessas temáticas nos trabalhos realizados. Com relação à densidade, as áreas destacadas foram resíduos agrícolas, remoção, tetraciclina e dessorção, o que indica que essas áreas são mais visíveis no meio científico (CHEN, DUBIN e KIM, 2014). Assim, pode-se concluir que as áreas de maior centralidade não foram iguais às áreas de maior densidade, o que significa que a categoria de maior influência nem sempre é a mais visível.

O mapa temático também foi analisado quanto à sua evolução temática ao longo dos anos. Dividindo o intervalo de tempo em fatias, é possível analisar e plotar a evolução de um tópico em termos de trajetória ao longo do tempo. Foram definidos dois pontos de corte, resultando em três intervalos de tempo. O primeiro intervalo de tempo foi definido de 2001 a 2015, uma vez que o número de publicações foi baixo nos primeiros 10 anos de estudo. O segundo intervalo de tempo foi definido entre 2016 e 2017 e o terceiro intervalo de tempo a partir de 2018. Verifica-se que biocarvão inicia como um único tema e sucessivamente diverge em diferentes tópicos (Figura 26). Novos temas foram emergindo a exemplo dos metais pesados cádmio e cobre e em seguida se fundindo ao tema adsorção anos últimos anos.

Os metais considerados tóxicos (cromo, zinco, cádmio, cobre e níquel, entre outros) representam um grupo de poluentes que requer um tratamento especial, pois não são degradados quimicamente e nem biologicamente. A adsorção tem sido a técnica mais frequentemente aplicada para remoção de metais pesados presentes na água por haver uma variedade de materiais adsorventes de alta eficiência e com um custo relativamente baixo (ROY *et al.*, 2004; HEMALATHA *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2012).

Figura 26 - Mapa temático e sua evolução ao longo dos anos gerado pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

Na Figura 27 observa-se a categorização dos temas ao longo dos anos. Até 2015 (Figura 27a) os temas sobre biocarvão, cinética e lixiviação eram considerados básicos ou transversais, enquanto as pesquisas sobre biocarvão ativado e mecanismos de adsorção eram categorizados como temas motores.

A lixiviação de nitrogênio (N) de terras agrícolas causada pela aplicação excessiva de fertilizantes pode representar uma grande ameaça à qualidade das águas superficiais e subterrâneas e resultar na eutrofização dos corpos d'água (ZHU *et al.*, 2005). O biocarvão é considerado um material potencialmente aplicável para mitigar a lixiviação de N (LEHMANN *et al.*, 2003).

A adsorção é um dos processos mais eficientes no tratamento de águas e águas residuárias, sendo empregadas nas indústrias com o intuito de tratar seus efluentes e diminuir os níveis de compostos tóxicos ao meio ambiente (MOREIRA, 2008). Os processos de adsorção são baseados em três mecanismos: o estérico, o de equilíbrio e o cinético. Para o mecanismo estérico, os poros do material adsorvente possuem dimensões características, as quais permitem que determinadas moléculas possam entrar, excluindo as demais. Para os mecanismos de equilíbrio, têm-se as habilidades dos diferentes sólidos para acomodar diferentes espécies de adsorvatos, que são adsorvidos, preferencialmente, a outros compostos. O mecanismo cinético está baseado nas diferentes difusividades das diversas espécies nos poros adsorventes (DO, 1998).

Nos dois anos seguintes (Figura 27b), observa-se estudos relacionados a cobre como emergentes. Os mecanismos de adsorção que eram considerados um tema motor, se move entre os temas convencionais de estudo. Entre os temas motores destacam-se estudos sobre adsorção competitiva, biocarvão magnético e reciclabilidade. Ainda nesse período, pesquisas sobre termodinâmica, colunas de leito fixo e adsorção dos metais pesados cádmio e cromo emergem como temas básicos.

Normalmente os solos são contaminados por vários elementos. A competição entre esses elementos pode influenciar sua mobilidade e biodisponibilidade no solo (FONTES et al., 2000). Nesse sentido, surge a necessidade de se estudar a adsorção competitiva, a adsorção de metais é um processo competitivo entre os íons na solução e aqueles retidos pela fase sólida no solo (LOPES, 2009). Kuo e Baker (1980) estudaram a adsorção de Cu, Zn e Cd em solos ácidos e observaram que o Cu era adsorvido preferencialmente em relação aos demais e que a presença desse metal interferia na retenção de Cd e Zn.

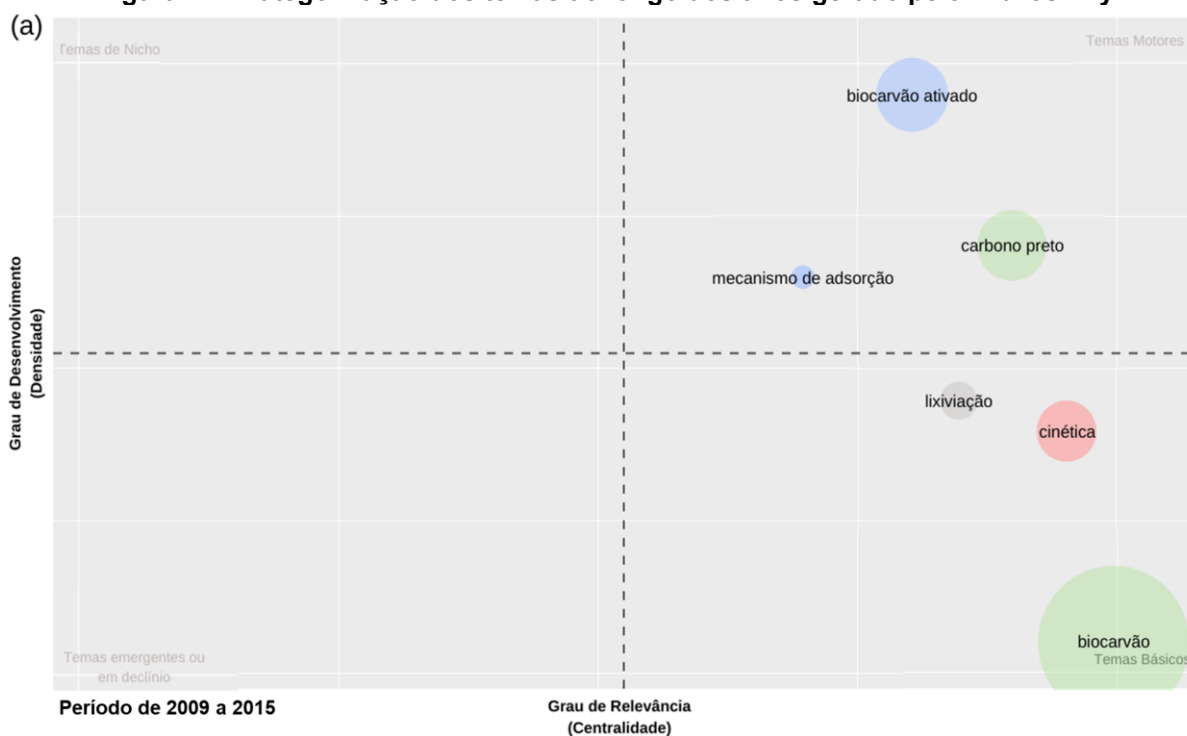
Entende-se por reciclagem todo o processo de transformação de resíduos que envolve a alteração de propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas e que dá origem a novos insumos ou novos produtos (MELCHIORS e PALHANO, 2020). O *biochar* magnético produzido a partir de diversos tipos de resíduo agrícola mostraram uma alta capacidade de adsorção de contaminantes inorgânicos e orgânicos. A funcionalização de propriedades magnéticas incorporadas ao *biochar* é uma das maiores razões para o grande crescimento e aplicação (THINES et al., 2017).

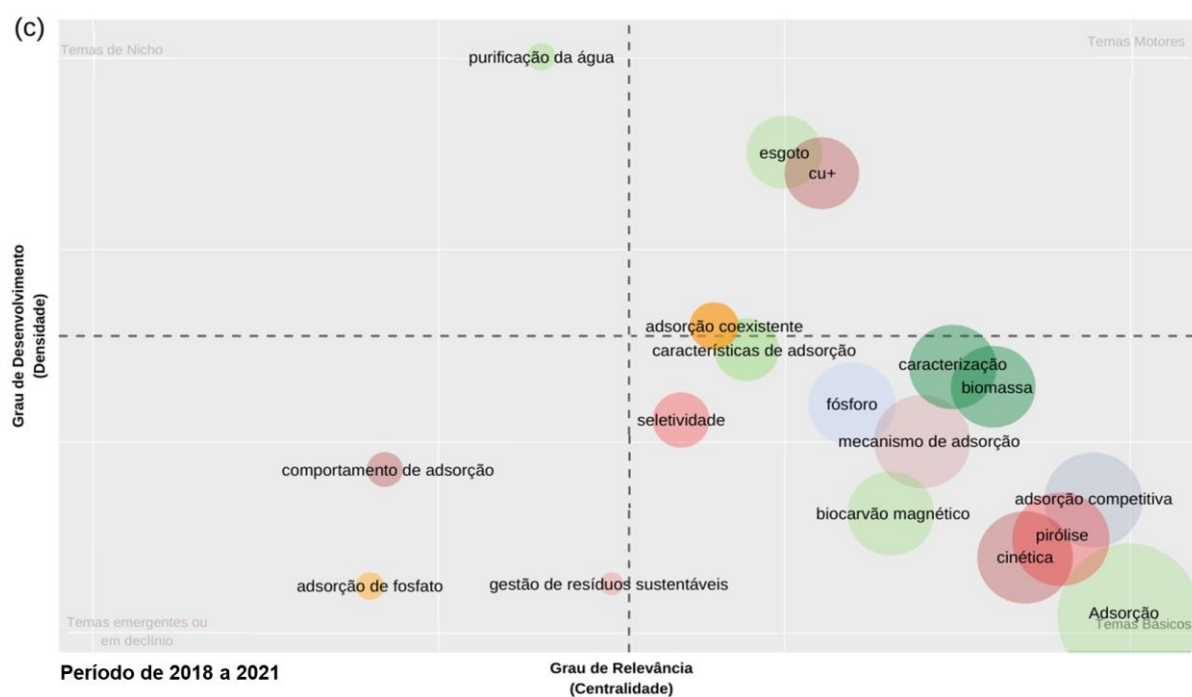
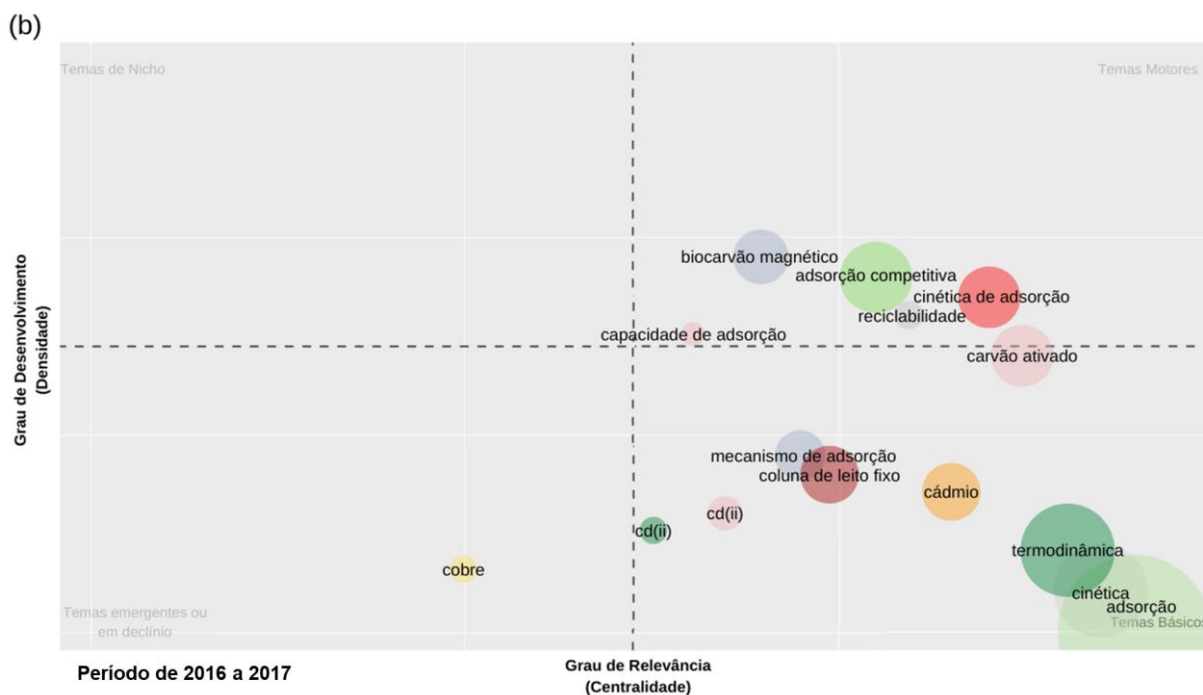
A partir de 2018 (Figura 27c) destaca-se a gestão sustentável de resíduos como tema emergente e estudos relacionados a adsorção em colunas de leito fixo,

possivelmente como tema em declínio. Biomassa emerge como um tema básico nos últimos anos da pesquisa.

Com intuito de desenvolver tecnologias alternativas para remoção de substâncias provenientes de efluentes industriais potencialmente nocivas ao meio ambiente, o emprego de colunas de adsorção ao final do processo convencional de tratamento vem crescendo, diminuindo assim, a poluição do corpo receptor (SILVA, 2001). Sistemas operacionais que empregam colunas de leito fixo permitem a operação em fluxo contínuo por meio de ciclos de regeneração. Após a saturação da coluna, o adsorvente pode ser regenerado usando soluções eluentes apropriadas (BORBA, 2006).

Figura 27 - Categorização dos temas ao longo dos anos gerado pelo Biblioshiny



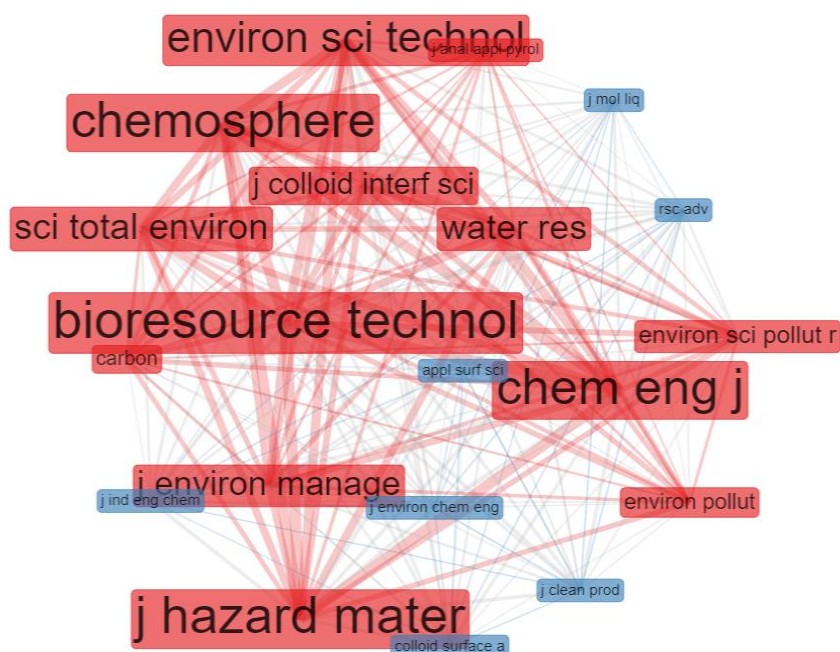


Fonte: Autoria Própria (2021)

5.2.2 Estrutura Intelectual

Na análise das 20 principais co-citações que possuam ao menos 10 conexões relacionadas entre os periódicos está apresentada na Figura 28, através de dois *clusters*, caracterizados pela cor vermelha e azul.

Figura 28 - Principais co-citações com mais de 10 conexões relacionadas entre periódicos gerado pelo Biblioshiny



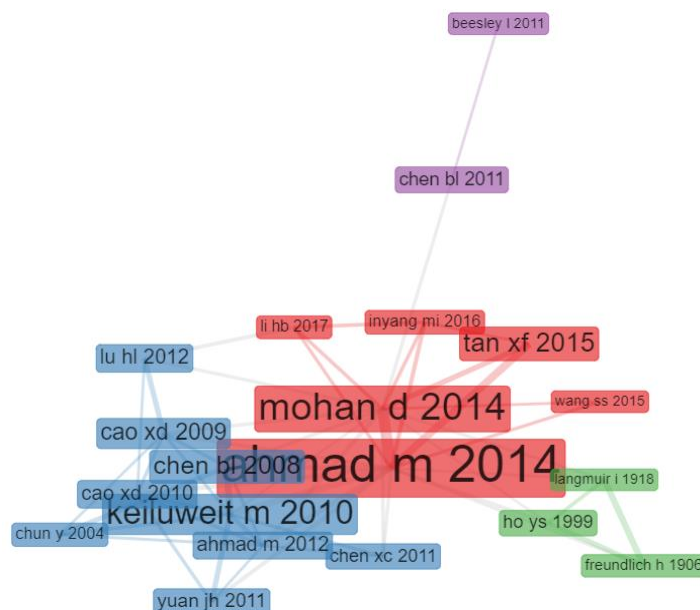
Fonte: Autoria Própria (2021)

O *cluster* de cor vermelha é caracterizado por pesquisas relacionadas com o ambiente englobando todas as esferas. Os artigos visam promover a compreensão interdisciplinar na área ambiental fazendo interface com a atmosfera, litosfera, hidrosfera, biosfera e antroposfera para avaliar, investigar e tratar pontos críticos causados por impactos ambientais e mudanças globais.

O *cluster* azul é composto por 7 periódicos e seus artigos se dividem em dois temas. Um se relaciona com a compreensão molecular (ou microscópica) de líquidos e materiais obtidos com técnicas analíticas de superfície específicas, especialmente no que diz respeito à estrutura, dinâmica e forças intermoleculares. O segundo está relacionado com desenvolvimento em química industrial e engenharia desenvolvimento de tecnologias sustentáveis com foco no tratamento de efluentes garantindo sustentabilidade e segurança ambiental.

Analisando a rede das 20 principais co-citações entre os autores que possuem ao menos 10 conexões (Figura 29), verifica-se 4 *clusters*: o *cluster* vermelho no centro de gravidade, o *cluster* lilás acima do centro de gravidade, e os *clusters* azul e verde abaixo do centro de gravidade.

Figura 29 - Principais co-citações entre autores que possuem ao menos 10 conexões gerado pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

O *cluster* de cor vermelha é caracterizado por 2 pólos, um referente a diferentes tipos de catálise para alteração de estruturas/processos de hidrólise como nos artigos de Wang e Yang (2015) que realizaram avanços em reações catalisadas por polioxometalato (POM) e Liu et *al.* (2015) que realizaram estudos teóricos referentes a novos insights sobre hidrólise de fase gasosa catalisada por ácido atmosférico de formaldeído. Os resultados desta investigação não são apenas de grande necessidade e importância para elucidar a hidrólise em fase gasosa do formaldeído, mas também são de grande interesse para o entendimento da importância de outros compostos carbonílicos na atmosfera.

O segundo pólo evidencia a importância do biocarvão nos processos de remediações por meio de artigos de revisão sendo os autores cocitados Inyang M. I. (2016), Mohan D. (2014) e Ahmad M. (2014). Inyang et *al.* (2016) avaliaram biocarvões como adsorvente de baixo custo para remoção de metais pesados aquosos. Uma série de estudos apontaram a eficiência da remoção dos metais pelo biocarvão, dependendo da matéria-prima que o biocarvão é feito, pode-se utilizar diferentes técnicas para o processo de sorção, dentre eles: complexação, sorção física, precipitação e interações eletrostáticas. Em alguns casos, comprovou-se a superioridade de biocarvão em relação ao CA. Modelos matemáticos de sorção

podem ser usados para entender a eficiência do biocarvões na remoção de metais pesados e promover a aplicação da tecnologia do biocarvões no tratamento de água.

Ahmad et al. (2014) analisaram biocarvões como sorvente para gerenciamento de contaminantes no solo e na água. A capacidade de sorção dos biocarvões está diretamente relacionada com a sua estrutura e composição, como área de superfície, microporosidade e hidrofobicidade, sendo assim, para que o biocarvão atenda a estas propriedades, alguns parâmetros devem ser levados em consideração, como temperatura de pirólise, tempo de residência, taxa de transferência de calor e tipo de matéria-prima. Temperaturas de pirólise relativamente altas tendem a produzir biocarvões eficazes na sorção de contaminantes orgânicos, enquanto temperaturas mais baixas são mais adequadas para a remoção de contaminantes orgânicos inorgânicos/polares por grupos funcionais contendo oxigênio, atração eletrostática e precipitação.

O *cluster* de cor lilás é caracterizado pelo artigo de Beesley et al. (2011) e trata-se de um estudo de revisão sobre o papel potencial dos biocarvões na remediação, revegetação e restauração de solos contaminados. Em suas análises, os autores concluíram que o material de origem e as condições de produção do biocarvão influenciam na retenção de poluentes, podendo assim reduzir as mobilidades de alguns poluentes orgânicos e inorgânicos no solo. Além disso, apesar de sua grande área superficial apresentar certa toxicidade para a fauna do solo, ela é capaz de criar nichos microbianos, contribuindo para a restauração dos solos. Por fim, avaliam que a eficácia do biocarvão pode aumentar se for aplicado em combinação com outros materiais orgânicos.

O *cluster* de cor azul apresentou uma grande variedade de temas, e alguns tópicos fugiram do tema abordado, dentre os autores cocitados, destaca-se Chun Y. (2004), Yuan J. H. (2011), Keiluweit M. (2010) e Ahmad M. (2014), já mencionado anteriormente.

Chun et al. (2004) investigaram as composições e propriedades de sorção de carvão vegetal derivado de resíduos de colheita (resíduo de trigo), as amostras foram então estudadas por sua capacidade de absorver contaminantes orgânicos neutros da água, como benzeno e nitrobenzeno. Os biocarvões pareciam ter uma afinidade de superfície maior para um soluto polar (nitrobenzeno) do que para um soluto não polar (benzeno), a diferença está diretamente relacionada com a acidez/basicidade superficial das amostras de carvão.

Yuan, Xu e Zhang (2011) avaliaram as formas de álcalis no biocarvão produzidas a partir de resíduos de colheita (palhas de canola, milho, soja e amendoim) em diferentes temperaturas (300, 500 e 700°C). Os resultados mostraram que a alcalinidade e o pH dos biocarvões aumentaram com o aumento da temperatura de pirólise.

Keiluweit et al. (2010) investigaram a estrutura molecular dinâmica (organização física e complexidade química) do biocarvão, especificamente, do carbono aromático nas estruturas dos carvões. Os autores concluíram que quando os biocarvões passam por alterações de ativação e carbonização, essas mudanças sugerem a existência de quatro categorias distintas de carvão, consistindo em uma mistura única de fases químicas e estados físicos: (i) em carvões de transição, o caráter cristalino dos materiais precursores é preservado; (ii) em carvões amorfos, as moléculas alteradas pelo calor e os policondensados aromáticos incipientes são misturados aleatoriamente; (iii) os carvões compostos consistem em pilhas de grafeno mal ordenadas embutidas em fases amorfas; e (iv) os carvões turboestráticos são dominados por cristalitos grafiticos desordenados.

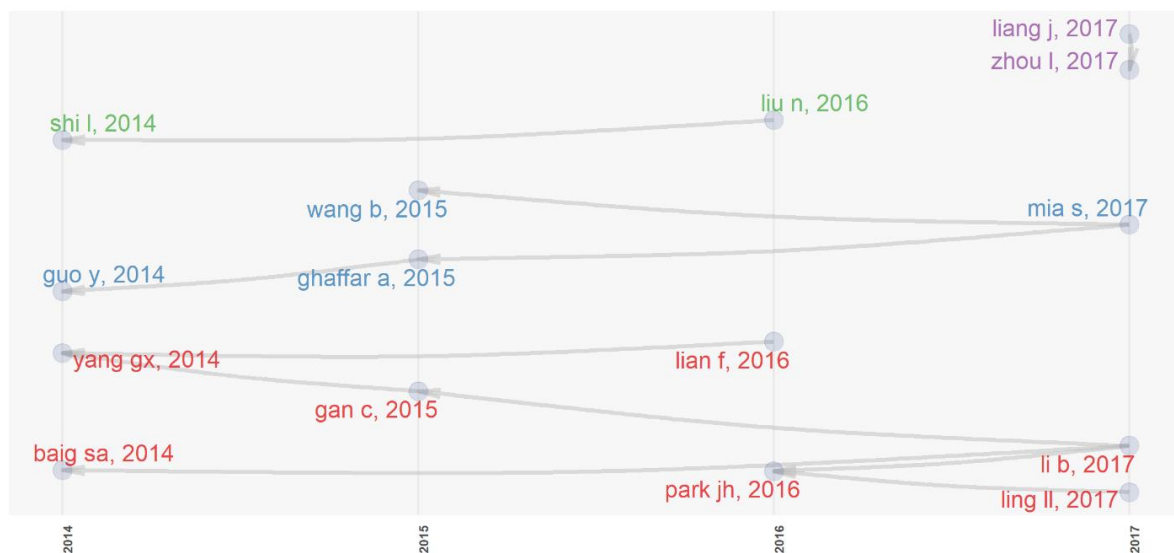
O *cluster* de cor verde é definido pelas publicações de três autores (Langmuir I. (1918), Freundlich H. (1906) e Ho Y. S. (1999)), relacionadas com o estudo de modelos de equações para definição do comportamento de sorções.

A equação de Langmuir, que foi inicialmente utilizada para descrever a adsorção de gases por sólidos, baseia-se em três suposições: (a) a superfície de adsorção é homogênea, isto é, a adsorção é constante e independente da extensão da cobertura da superfície; (b) a adsorção ocorre em sítios específicos, sem interação com as moléculas do soluto; (c) a adsorção torna-se máxima quando uma camada monomolecular cobre totalmente a superfície do adsorvente (LANGMUIR, 1918). A equação de Freundlich sugere que a energia de adsorção decresce logaritmicamente, à medida que a superfície vai se tornando coberta pelo soluto, o que a diferencia da equação de Langmuir. Os modelos mais utilizados para adsorção em materiais carbonáceos são os modelos de Langmuir e de Freundlich, uma vez que estes representam bem a maioria dos dados de equilíbrio (RAJI e ANIRUDHAN, 1998).

Além das co-citações, é importante analisar as citações diretas. A rede de citações diretas é apresentada na Figura 30 através de um mapa historiográfico. Cada caminho representa um tópico de pesquisa representado pelos principais autores relacionados a esse tópico. Cada nó representa uma publicação da coleção

bibliográfica citada por outros artigos. Cada linha representa uma citação direta. Como exemplo, cita-se que Liu N. (2016) citou Shi L. (2014). Os nós e linhas foram plotados de forma que o eixo horizontal represente os anos de publicação.

Figura 30 - Rede de citações diretas gerado pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

O *cluster* de cor vermelha é caracterizado por um grupo de autores com pesquisas relacionadas à modificação de biocarvões para aprimorar a eficiência de adsorção de metais pesados em soluções aquosas, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Biocarvões modificados e respectivas adsorções de metais pesados

Biomassa	Método de modificação	Adsorvato	Referência
Carvão de serra	Nitrogenação	Cu (II)	Yang e Jiang (2014)
Bagaço de cana-de-açúcar	Nanocompósitos de Zinco (Zn)	Cr (VI)	Gan, et al. (2015)
Palha de milho	Nitrogenação	Corantes reativos	Lian et al. (2016)
Gramma Kans	Magnetização	Arsênio (III, V)	Baig et al. (2014)
Palha de gergelim	-	Metais pesados	Park et al. (2016)
Palha de colza	Nitrogenação, óxido de magnésio e magnetização	Cd (II)	Li et al. (2017)

Taboa	Nitrogenação com óxido de magnésio	Metais pesados	Ling et al. (2017)
-------	------------------------------------	----------------	--------------------

Fonte: Aatoria Própria (2021)

O *cluster* de cor lilás consiste nas co-citações diretas entre Liang J. 2017 e Zhou I. 2017. Nos dois estudos também foram avaliadas a eficácia da remoção de metais pelos biocarvões, porém neste caso as estruturas do biocarvão foram modificadas com óxidos de manganês (MnO_2) e não foram utilizadas biomassas vegetais. Liang et al. (2017) avaliaram biocarvão amorfo derivado de esterco de suíno compostado aerobicamente para adsorção de Pb (II) e Cd (II). Zhou et al. (2017a) analisaram as propriedades de adsorção de Cu (II) com biocarvão produzido a partir de nanopartículas.

O *cluster* de cor verde tem apenas as co-citações diretas entre Shi I. 2014 e Liu N. 2016, ambos produziram biocarvões provenientes de diferentes tipos de biomassas, para avaliar a sua eficiência na adsorção de corantes. Shi et al. (2014) avaliaram a eficiência de biocarvão a base de lodo granular anaeróbico para a adsorção de azul de metileno, enquanto Liu et al. (2016) utilizaram estrume suíno como biocarvão para adsorção do corante *Direct Red 23*.

O *cluster* de cor azul é constituído por autores com pesquisas relacionadas com o processo de envelhecimento do biocarvão, ou seja, é o processo no qual o biocarvão fica exposto no ambiente podendo passar por uma série de mudanças em sua superfície, para que seja simulada esta reação, o biocarvão deve ser oxidado.

Wang et al. (2015) investigaram os mecanismos de retenção de amônio (NH_4^+) em solução aquosa usando biocarvão proveniente de madeira de bordô, a oxidação do biocarvão foi realizada de forma progressiva em diferentes valores de pH, a oxidação do biocarvão em seu pH reduzido não aumentou a adsorção de NH_4^+ . Em relação ao processo de adsorção e dessorção, a adsorção não foi totalmente reversível, provavelmente o NH_4^+ não recuperado foi volatilizado como amônia (NH_3).

Guo et al. (2014) estudaram os efeitos do envelhecimento do biocarvão na adsorção de Cu (II), foram analisadas as propriedades de superfície e funcionalidade, após o processo foi possível notar uma alteração em seus grupos funcionais, ao longo de uma faixa de pH a capacidade de troca catiônica e a capacidade de adsorção de Cu (II) no biocarvão envelhecido foram menores do que naquelas do biocarvão novo, indicando que quando o biocarvão é incubado em temperatura constante e

capacidade de retenção de água no escuro, o processo de envelhecimento pode inibir a adsorção de Cu (II).

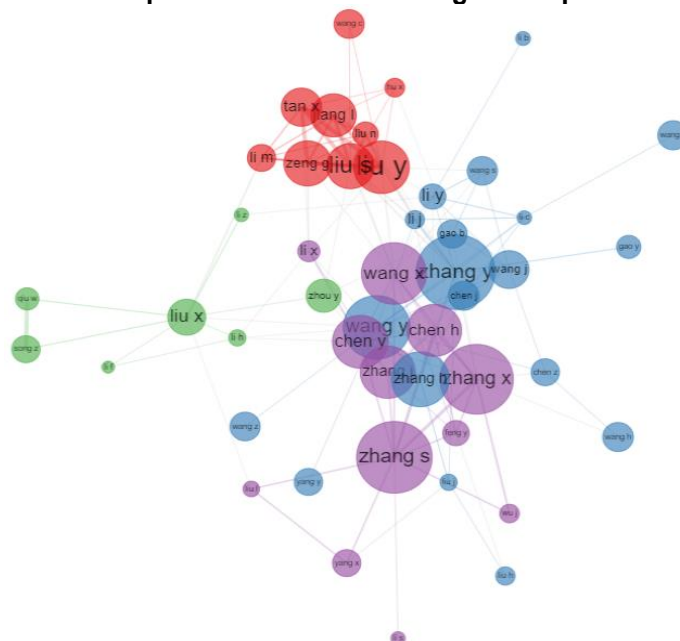
Mia, Dijkstra e Singh (2017) tiveram como objetivo envelhecer um biocarvão de madeira por oxidação química com H_2O_2 e avaliar as mudanças na superfície do biocarvão bem como seu comportamento de adsorção de NH_4^+ e fosfato (PO_4^{3-}). A oxidação mudou a funcionalidade do biocarvão com alteração em seus grupos funcionais, os resultados sugerem que o envelhecimento do biocarvão pode reverter sua capacidade de adsorção de espécies catiônicas e aniônicas.

Ghaffar et al. (2015) simularam o impacto do envelhecimento sobre a eficácia de remoção de contaminantes orgânicos hidrofóbicos ((Cu (II)) e construir o mecanismo de sorção em meios ambientais. Os resultados obtidos a partir do envelhecimento do biocarvão simulado quimicamente indicam que a capacidade de adsorção aumentou após o processo de envelhecimento. No entanto, os efeitos do envelhecimento do biocarvão devem ser abordados totalmente, considerando processos adicionais, como o revestimento das superfícies do *biochar* com matéria orgânica e minerais.

5.2.3 Estrutura Social

Analisando as 50 principais redes de coautoria, verificou-se a existência de 4 *clusters* (Figura 31).

Figura 31 - Principais redes de coautoria geradas pelo Biblioshiny



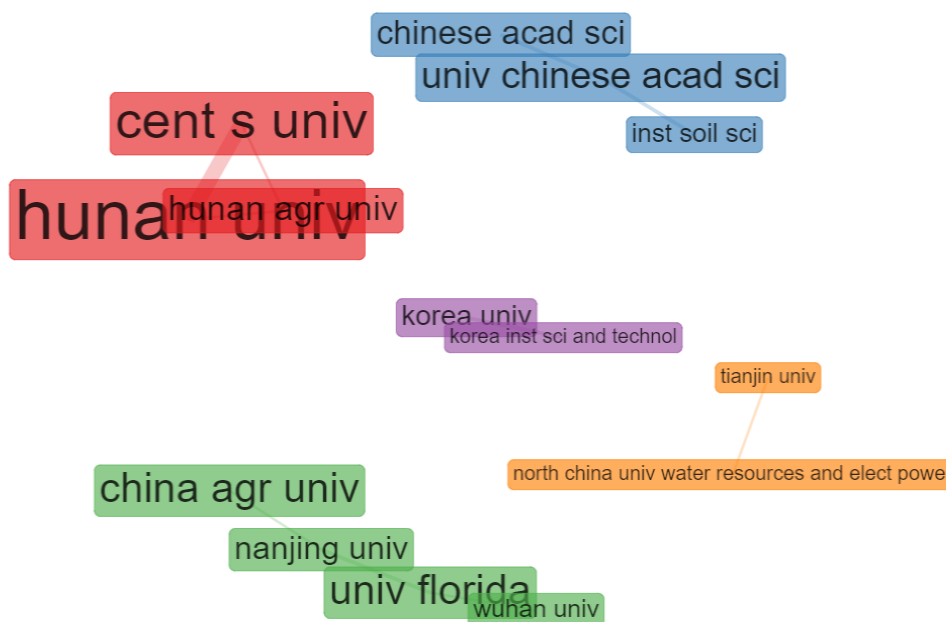
Fonte: Autoria Própria (2021)

O *cluster* lilás se destaca pelas coautorias entre Zhang S., Zhang X, Chen Y. e Chen H. e Wang X. Durante o período de 2011 a 2020, Chen H. é o autor que possui a maior linha do tempo no período estudado.

O *cluster* de cor azul possui coautorias de Chang Y, Wang Y., Li. Y e Zhang H. Em 2020, Wang Y. publicou 10 artigos, o que provavelmente fará com que alavanque o seu número de citações nos próximos anos. Na mesma linha, o *cluster* verde se destaca por Liu X, este autor publicou 10 artigos em 2019, estes estudos recentes podem apresentar novos caminhos para pesquisas relacionadas ao tema.

A análise das 50 principais redes de coautoria entre as instituições, resultou em 5 *clusters* (Figura 32).

Figura 32 - Principais redes de coautoria entre as instituições geradas pelo Biblioshiny



Fonte: Autoria Própria (2021)

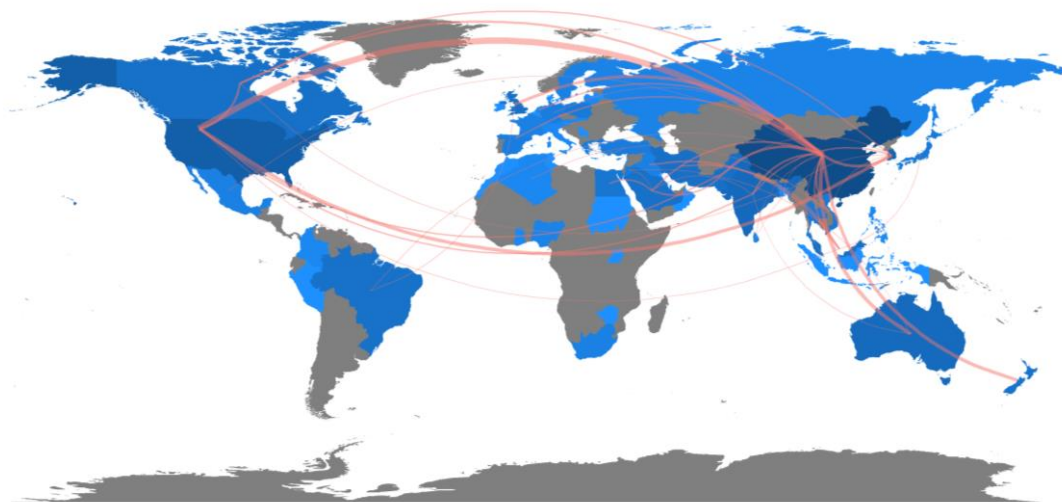
Cluster vermelho (*Central South University*, *Hunan Agricultural University* e *Hunan University*) se caracteriza por instituições localizadas em Hunan, centro-sul da China. Ainda na China, se destacam o *cluster* azul (*Chinese Academy of Sciences*, *University of the Chinese Academy of Sciences* e *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences*) e o *cluster* laranja (*Tianjin University* e *North China University of Water Conservancy and Electric Power*). *Tianjin University* possui diversas disciplinas com ênfase em engenharia química, tecnologia química, ciência, engenharia de gestão e ciência de materiais, sendo consideradas como disciplinas líderes na China com influência internacional.

O *cluster* roxo é caracterizado por instituições localizadas em Seul, na Coreia do Sul (*Korea University* e *Korea Institute of Science and Technology*). O *cluster* verde é o único que possui uma instituição fora da Ásia como afiliação. A *University of Florida* nos Estados Unidos possui parceria de pesquisa com a *China Agricultural University* e *Nanjing University*.

A rede de colaboração entre os países é apresentada na Figura 33. Verifica-se uma grande colaboração entre pesquisadores chineses e americanos. Além disso, a China também possui destacada parceria de pesquisa com Austrália, Nova Zelândia, Reino Unido e Coreia. Além da China, os Estados Unidos possuem grande parceria de pesquisa com a Coreia. Desta coleção bibliográfica, o Brasil possui 9

publicações com autores de outros países, sendo 2 com Reino Unido e 1 com África do Sul, Colômbia, México, Paquistão, Qatar, Tunísia, Turquia e Vietnã.

Figura 33 - Rede de colaboração entre os países gerada pelo Biblioshiny



Fonte: Aatoria Própria (2021)

5.3 METHODI ORDINATIO

Devido ao grande número de publicações resultantes dessa pesquisa, a metodologia Methodi Ordinatio foi utilizada para classificar os 20 principais artigos científicos da área de estudo, considerando o número de citações e ano de publicação dos artigos e fato de impacto dos periódicos. A Tabela 3 apresenta as vinte publicações (ranking Top 20) com maior prevalência de acordo com a equação InOrdinatio (>200).

A decisão de quais publicações utilizar em uma pesquisa pode levar o pesquisador a um desperdício de tempo e perda de contribuições publicadas para o seu tema de pesquisa. A aplicação do Methodi Ordinatio fornece critérios científicos para a seleção dos artigos mais relevantes para leitura e uma análise sistemática. É importante destacar que a utilização dessa metodologia não tira a possibilidade e a responsabilidade de decisão do pesquisador sobre quais trabalhos utilizar em sua pesquisa.

Tabela 3 - Ranking dos artigos com InOrdinatio acima de 200

Ranking	Título	JCR	Citações	Adsorvente	Adsorvato	Referência
1	<i>Effects of pyrolysis temperature on soybean stover- and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water</i>	7.539	762	Palha de soja e casca de amendoim	Tricloroetileno (TCE)	Ahmad et al. (2012)
2	<i>Competitive adsorption of heavy metals onto sesame straw biochar in aqueous solutions</i>	5.778	347	Palha de gergelim	Metais pesados	Park et al. (2016)
3	<i>Amino modification of biochar for enhanced adsorption of copper ions from synthetic wastewater</i>	9.130	341	Pó de serra carvão	Cu (II)	Yang e Jiang (2014)
4	<i>Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate</i>	2.740	315	Palha de trigo, palha de milho e casca de amendoim	NH ₃ e NO ₃ ⁻	Gai et al. (2014)
5	<i>Adsorption of Pb (II) on variable charge soils amended with rice-straw derived biochar</i>	5.778	312	Palha de arroz	Pb (II)	Jiang et al. (2012)
6	<i>Metal interactions at the biochar-water interface: Energetics and structure-sorption relationships elucidated by flow adsorption microcalorimetry</i>	7.864	311	Algaroba, capim-cordão e pinheiro-bravura	K (I) e Cd (II)	Harvey et al. (2011)
7	<i>Evaluation of slow pyrolyzed wood and rice husks biochar for adsorption of ammonium nitrogen from piggery manure anaerobic digestate slurry</i>	6.551	290	Madeira e casca de arroz	NH ₄ ^{-N}	Kizito et al. (2015)

8	<i>Modification of biochar derived from sawdust and its application in removal of tetracycline and copper from aqueous solution: Adsorption mechanism and modelling</i>	7.539	247	Serragem	TET e Cu (II)	Zhou et al. (2017b)
9	<i>Biochar produced from oak sawdust by Lanthanum (La)-involved pyrolysis for adsorption of ammonium (NH₄⁺), nitrate (NO₃⁻), and phosphate (PO₄³⁻)</i>	5.778	249	Serragem de carvalho	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ e PO ₄ ³⁻	Wang et al. (2015)
10	<i>Enhancing phosphate adsorption by Mg/Al layered double hydroxide functionalized biochar with different Mg/Al ratios</i>	6.551	242	Folhas de cana	PO ₄ ³⁻	Li et al. (2016)
11	<i>Adsorption kinetics of magnetic biochar derived from peanut hull on removal of Cr (VI) from aqueous solution: Effects of production conditions and particle size</i>	5.778	234	Casca de amendoim	Cr (VI)	Han et al. (2016)
12	<i>Enhanced adsorption performance of tetracycline in aqueous solutions by methanol-modified biochar</i>	10.652	221	Casca de arroz	Tetraciclina (TET)	Jing et al. (2014)
13	<i>Removal of methylene blue from aqueous solution by sewage sludge-derived biochar: Adsorption kinetics, equilibrium, thermodynamics and mechanism</i>	4.300	202	Lodo de esgoto	AM	Fan et al. (2017)
14	<i>Aromatic and hydrophobic surfaces of wood-derived biochar enhance perchlorate adsorption via hydrogen bonding to oxygen-containing organic groups</i>	7.864	215	Lascas de abeto (Pinheiro)	ClO ₄ ⁻	Fang et al. (2014)

15	<i>Adsorption of sulfamethoxazole on biochar and its impact on reclaimed water irrigation</i>	9.038	222	Bambu, madeira de pimenta brasileira, bagaço de cana-de-açúcar e madeira de noqueira	Sulfametoxazol (SMX)	Yao et al. (2012a)
16	<i>Adsorption behavior comparison of trivalent and hexavalent chromium on biochar derived from municipal sludge</i>	7.539	196	Lodo municipal	Cr (III) e Cr (VI)	Chen et al. (2015)
17	<i>Adsorption of Cd (II) from aqueous solutions by rape straw biochar derived from different modification processes</i>	5.778	185	Palha de colza	Cd (II)	Li et al. (2017)
18	<i>Effectiveness and mechanisms of dye adsorption on a straw-based biochar</i>	7.539	220	Palhas	Corantes reativos	Qiu et al. (2009)
19	<i>Synthesis and characterization of a novel MnOx-loaded biochar and its adsorption properties for Cu²⁺ in aqueous solution</i>	10.652	188	Palha de milho	Cu (II)	Song et al. (2014)
20	<i>Adsorption of cadmium by biochar derived from municipal sewage sludge: Impact factors and adsorption mechanism</i>	5.778	183	Lodo municipal	Cd (II)	Chen et al. (2015)

JCR: *Journal Citation Reports*, fator de impacto do periódico.

5.3.1 Biomassas para Produção de Biocarvão

Diferentes biomassas podem ser utilizadas para produção de biocarvão. No ranking Top 20, destacam-se resíduos agrícolas, florestais e de esgoto. O aproveitamento desses resíduos orgânicos é um tema de grande importância devido às enormes quantidades geradas ao redor do mundo e ao indesejável impacto ambiental ocasionado pelo descarte desse material (DUMAN et al., 2012).

Os resíduos agrícolas predominam na maioria dos artigos, em destaque as palhas de trigo, soja, milho, gergelim, colza, bagaço de cana e cascas de amendoim e arroz. Em sequência, tem-se a utilização de diversos resíduos florestais como madeiras de algaroba, capim-cordão, pinheiro-bravura, abeto, noqueira, bambu, pimenta brasileira e serragens. Por fim, surgem os resíduos de esgoto, também chamados de lodos municipais.

De acordo com o Ahmad et al. 2012 os resíduos das colheitas podem ser transformados de forma eficiente em bioenergia por meio da pirólise. O biocarvão sendo gerado como subproduto durante a produção de bio-óleo compensaria os problemas ambientais associados e contribuiria para mitigar as mudanças climáticas com menor emissão de CO₂ (BOATENG et al., 2010).

Uma grande quantidade de lodo é produzida durante o tratamento biológico de águas residuais e representa um sério fardo para a saúde ecológica e para a sociedade. O biocarvão derivado de lodo tem um grande potencial para transformar lodo como um material residual de valor agregado em um recurso a ser utilizado no campo de controle de poluentes (FAN et al., 2017). Portanto, o processo de preparação do biocarvão derivado de lodo é relativamente simples e barato. Como um subproduto benéfico do lodo, o *biochar* derivado do lodo também pode mitigar a carga ambiental do lodo de esgoto.

5.3.2 Processos de Adsorção de Contaminantes

Dentre os principais contaminantes, os que mais se destacam nos estudos de adsorção são os metais pesados: cádmio, cromo, chumbo e cobre. Estes metais são provenientes de atividades como a mineração, indústrias de galvanoplastia e do despejo de efluentes domésticos, sendo caracterizados como altamente reativos e

bioacumulativos, ou seja, o organismo não é capaz de eliminá-los. Quando lançados como resíduos industriais, na água ou no solo, esses elementos podem ser absorvidos por vegetais e animais das proximidades, provocando graves intoxicações ao longo da cadeia alimentar. Diante do pressuposto, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas para remoção/amenização destes materiais no ambiente.

Chen et al. (2015) compararam o comportamento de adsorção de cromo trivalente e hexavalente em *biochar* derivado de lodo municipal. A capacidade de remoção do Cr (VI) é inferior, enquanto a do Cr (III) é superior quando comparados com a concentração inicial de cromo. Isso indica que o Cr (III) é muito mais fácil de ser estabilizado do que o Cr (VI). Nenhuma mudança significativa nos grupos funcionais da superfície do *biochar* é observada antes e depois do equilíbrio de adsorção, demonstrando a fraca contribuição da matéria orgânica na adsorção de cromo. A redução de Cr (VI) para Cr (III) é necessária para melhorar a eficiência de remoção de cromo. No entanto, Han et al. (2016) avaliaram a cinética de adsorção do *biochar* magnético derivado da casca de amendoim na remoção de Cr (VI) de solução aquosa e obtiveram sucesso. Para a magnetização do *biochar* o mesmo foi imerso em uma solução de cloreto de ferro (FeCl_3) e posterior pirólise. O *biochar* magnético mostrou uma capacidade extrema de adsorção de cromo hexavalente Cr (VI) da solução aquosa, duas ordens de magnitude maior em comparação com o *biochar* padrão (não magnético). O tamanho de partícula fina do *biochar* magnético e o baixo pH também foram importantes para a adsorção. Os resultados sugerem que a pirólise tem potencial para criar adsorventes eficazes e magneticamente recuperáveis, relevantes para a aplicação ambiental.

Park et al. 2016 estudaram a adsorção competitiva de metais pesados em *biochar* palha de gergelim em soluções aquosas, conforme já mencionado anteriormente. O *biochar* de palha de gergelim demonstrou uma excelente capacidade de adsorção de metais pesados, com ênfase para o Cd (II). Yang e Jiang (2014) estudaram a modificação de *biochar* com técnicas de nitratação e redução para absorção aprimorada de Cu (II) de águas residuais sintéticas. Os resultados das análises indicaram que os grupos amino foram quimicamente ligados aos grupos funcionais na superfície do *biochar*, e conseqüentemente o *biochar* modificado com amino exibiu excelente desempenho de adsorção, a pesquisa se tornou um método inovador para modificar o *biochar* com grupos amino ancorados na superfície do *biochar* por ligação química.

Uma outra forma utilizada para adsorção dos metais pesados é a impregnação de permanganato de potássio (KMnO_4) óxido de manganês (MnO_x) aos *biochars*. Li et al. (2017), avaliaram a adsorção de Cd (II) de soluções aquosas por *biochar* de palha de colza derivado de três diferentes processos de modificação: tratamento alcalino (BC-NaOH), impregnação de KMnO_4 (BC- MnO_x) e tratamento magnético de FeCl_3 (BC- FeO_x). Song et al. (2014) avaliaram a síntese e caracterização de *biochar* derivado de palha de milho carregado com MnO_x para adsorção para Cu (II) em solução aquosa. Em ambos estudos os resultados mostram que as partículas de MnO_x são transportadas para dentro do *biochar*, contribuindo para a criação de microporos e aumentando a área de superfície específica, esses sítios criados desempenham os papéis mais importantes no processo de adsorção. Portanto, métodos de modificação de *biochar* envolvendo a impregnação de KMnO_4 , como adsorvente de baixo custo, podem fornecer maneiras eficazes de aumentar a remoção de Cd (II) e Cu (II) de soluções aquosas, desenvolvendo aplicações ambientais promissoras.

Amônias, nitratos, fosfatos e nitrogênio amoniacal também merecem destaque. A aplicação excessiva de fertilizantes em terras agrícolas pode representar uma grande ameaça à qualidade das águas superficiais e subterrâneas e resultar na eutrofização dos corpos d'água (ZHU et al., 2005). Como se sabe, a eutrofização é atribuída principalmente as liberações de N e fósforo (P) dos campos agrícolas para os sistemas aquáticos (YAO et al., 2012b). Esta é uma preocupação particular na China, que está consumindo cerca de um terço do total de fertilizantes do mundo (IFA, 2009). Outro fator preocupante para a China, é em relação aos resíduos gerados a partir das fazendas de porcos, estes resíduos são conhecidos por conter altos nutrientes compostos de N e P, além de produtos orgânicos com alta demanda química e bioquímica de oxigênio (COD e BOD) que muitas vezes poluem o meio ambiente (DE HAAN, 2006). De acordo com o censo de fontes de poluição da China realizado em 2010, o COD, o N total e o P da indústria pecuária representaram 96%, 38% e 56% do total de poluentes de origem agrícola, respectivamente, e foram 2,3 vezes isso de fontes industriais. Portanto, a remediação do N em suas diversas formas e fosfatos dos ecossistemas aquáticos é uma preocupação ambiental crescente.

Como já mencionado anteriormente, Kizito et al. (2015) avaliaram biocarvões de madeira e casca de arroz (pirolisadas lentamente) para adsorção de $\text{NH}_4^{-\text{N}}$ de esterco de porco e ambos se mostraram eficiente para adsorção do contaminante.

Wang et al. (2015) estudaram a adsorção de NH_4^+ , NO_3^- e PO_4^{3-} , o biocarvão foi derivado de serragem de carvalho e envolvido em uma solução de lantânio (La). Os resultados indicaram que a adsorção de NH_4^+ pode ser promovida pelos *biochars* produzidos em baixa temperatura e a adsorção de NO_3^- pode ser melhorada aumentando a temperatura de pirólise. A maior adsorção de PO_4^{3-} foi alcançada pelos *biochars* produzidos a 500°C . Os grupos funcionais básicos aumentados nos biocarvões modificados foram benéficos para melhorar a adsorção de NO_3^- e PO_4^{3-} . Gai et al. (2014) também investigaram o efeito de diversas matérias-primas para produção de *biochars* e sua capacidade de adsorção de NH_4^+ e NO_3^- afim de conter a poluição por N. Os biocarvões foram produzidos a partir de palha de trigo (W-BC), palha de milho (C-BC) e cascas de amendoim (P-BC). Os resultados mostraram que todos os *biochars* podem absorver quantidades substanciais de NH_4^+ , a capacidade de adsorção seguiu a ordem de: C-BC > P-BC > W-BC. A capacidade do C-BC de adsorver foi mais alta porque teve a maior capacidade de troca catiônica (CEC) entre todos os *biochars*. No entanto, o NO_3^- não foi adsorvido por nenhum dos biocarvões. Evidenciando a necessidade de se realizar mais estudos na área de adsorção de NO_3^- .

Outro contaminante que vem ganhando importância são os fármacos, como: sulfametoxazol (SMX) e tetraciclina (TET). Segundo a Estação de Tratamento de Águas Residuárias (ETAR), resíduos farmacêuticos reconhecidos como contaminantes emergentes são detectados na descarga de efluentes tratados de estações de tratamento de águas residuais com frequência (DREWES, SEDLAK e SNYDER, 2009). Os antibióticos são considerados como poluentes emergentes de particular preocupação devido ao seu amplo uso na medicina animal e humana (NORVILL et al., 2017). O SMX é um dos fármacos frequentemente detectados em água recuperada e outras amostras ambientais (MUÑOZ et al., 2009), se for liberado em sistemas aquáticos pode ter efeitos tóxicos nos organismos ali presentes (BARNES et al., 2004). A TET, um antibiótico comum, tem sido amplamente utilizado na indústria agrícola e pecuária e 60-90% do composto original é descarregado em ambientes aquáticos (ZHU et al., 2014).

O processo de adsorção de SMX foi estudado por Yao et al. (2012a), usando diferentes biocarvões provenientes de resíduos florestais. Os experimentos de lixiviação de características de toxicidade confirmaram que a mobilidade e a biodisponibilidade de SMX em solos corrigidos com biocarvão foram menores do que em solos não corrigidos. No entanto, o *biochar* com alto acúmulo de SMX ainda inibiu

o crescimento da bactéria em comparação com o *biochar* com menos SMX, que não apresentou efeitos. Assim, o *biochar* com capacidade de sorção farmacêutica muito alta pode encontrar uso como um sorvente alternativo de baixo custo para o tratamento de efluentes de instalações de águas residuais, mas deve ser usado com cuidado como uma emenda para solos irrigados com água recuperada ou águas residuais.

Zhou et al. (2017b) e Jing et al. (2014) estudaram a remoção de TET de solução aquosa com biocarvões modificados. Zhou et al. (2017b) modificaram o biocarvão derivado de serragem com dopagem de Fe e Zn (*Fe/Zn-biochar*) para remoção simultânea de Cu (II) e TET, o ajuste de dados experimentais com o modelo cinético de Temkin indica que o processo de adsorção de TET e Cu (II) envolve quimissorção e adsorção físico-química, respectivamente. Existe competição local e aumento de Cu (II) e TET na sorção de *Fe/Zn-biochar*. Os resultados deste estudo indicam que a modificação do *biochar* derivado da serragem apresenta grande potencial para a remoção simultânea de Cu (II) e TET da água contaminada. Jing et al. (2014) avaliaram o desempenho de adsorção aprimorado de TET em soluções aquosas por *biochar* derivado da casca de arroz modificado com metanol (*MeOH-char*) para melhorar as capacidades de adsorção e reduzir o conteúdo de composto orgânico inerente no *biochar*. O *MeOH-char* mostrou aumento de aproximadamente 45,6% na capacidade de adsorção em 12 horas e 17,2% no tempo de equilíbrio em comparação com o *biochar* original (*Ori-char*). A espectroscopia de fotoelétrons de raios-X sugeriu que o principal fator responsável pelo aumento da adsorção é a mudança nos grupos contendo oxigênio no *biochar* modificado. O experimento de leito fixo mostra que o volume de filtração efetivo de *MeOH-char* é aproximadamente 2 vezes maior que o de *Ori-char*.

Entre os corantes, destacam-se o azul de metileno (AM), azul brilhante reativo (KNR) e rodamina B (RB). O AM é comumente encontrado em águas residuais de indústrias têxteis, couro, papel e plásticos, seus resíduos podem representar riscos potenciais para humanos e animais (KHATRI et al., 2015). Assim, as indústrias de tingimento acabam lançando efluentes em rios ou lagos podendo causar poluição séria. As águas residuárias de corantes são geralmente caracterizadas por altas concentrações de compostos orgânicos coloridos e sais inorgânicos, portanto resistentes a processos biológicos (PAGGA e TAEGGER, 1994). Sendo assim, o

tratamento de águas residuais de tingimento apresenta um grande foco na área de adsorção.

Qiu et al. (2009) avaliaram a eficácia e mecanismos de adsorção de KNR e RB em um *biochar* à base de palha (BC) como um substituto econômico para o CA. Os dois adsorventes foram adsorventes altamente eficazes para ambos os corantes, porém o BC foi ligeiramente mais eficaz do que o CA para adsorver RB devido às interações eletrostáticas de RB-BC e protonação de RB em pH baixo.

Fan et al. (2017) estudou a remoção de a remoção de AM da solução aquosa por *biochar* derivado de lodo de esgoto. Os resultados mostraram que a cinética de adsorção do corante no *biochar* foi descrita com precisão por um modelo de pseudo-segunda ordem, indicando que a difusão do filme líquido, difusão intrapartícula e adsorção superficial coexistiram durante a adsorção do AM no *biochar*. À medida que a concentração inicial de AM e a temperatura aumentaram, a quantidade de adsorção também aumentou e a adsorção foi favorável. A análise termodinâmica mostrou que a adsorção do AM no *biochar* derivado do lodo foi espontânea e endotérmica. O experimento de dessorção e reutilização indicou que *biochar* derivado de lodo tinha o potencial de ser um adsorvente reutilizável para remoção de AM. O *biochar* derivado de lodo pode ser usado como um adsorvente eficaz para remover corantes de águas residuais.

6 CONCLUSÃO

Análises bibliométricas e cienciométricas, e mais especificamente a construção de indicadores e mapas sobre o conhecimento científico, exigem o desenvolvimento de uma série de etapas que demandam o apoio de softwares específicos. Sendo assim a utilização de ferramentas tecnológicas e algoritmos que reconhecem padrões de comportamento da literatura científica em diversos níveis foram importantes para análise de autores, instituições, colaborações e outros aspectos relacionados com a temática de adsorção por biocarvão, a fim de contribuir para que a prática do tratamento de informações sejam incluídas no meio acadêmico.

O periódico "*Bioresource Technology*" se consolida como o mais relevante nessa área por apresentar maior número de publicações e citações na área pesquisada, especialmente em estudos de biomassa e tratamento de resíduos biológicos. O autor Ahmad M. foi considerado como o autor mais importante em relação ao número de citações globais, se tornando referência sobre as propriedades físicas consideradas relevantes para a produção de biocarvões a partir do processo de pirólise. As principais palavras-chave desse estudo foram: biocarvão, adsorção e biomassa, o que já era de se esperar, visto que essas palavras se enquadram como o tema da pesquisa.

Os resultados das análises das publicações relacionadas à adsorção por biocarvão indicaram uma tendência de crescimento no número de publicações, ao longo dos anos estudados e do número de citações. A China é o país com maior número de publicações, com diversos estudos relacionados a produção de biocarvões que são destinados tanto para a recuperação de solos quanto para recuperação dos meios aquáticos, uma área que apresentou grande destaque é a adsorção de metais pesados, na maioria dos estudos aqueles que apresentaram resultados com grande eficiência estão relacionado com a modificação da superfície do biocarvão por meio de soluções aquosas de MnO_x e $FeCl_3$ para magnetização. De forma semelhante, vem crescendo a busca de processos de adsorção de fármacos para evitar a contaminação de recursos hídricos.

A metodologia *Methodi Ordinatio* mostrou-se eficiente e facilitadora na decisão para geração de um portfólio para esse tema pesquisa. O portfólio pode ser utilizado por outros pesquisadores que tenham intenção de pesquisa sobre o assunto,

favorecendo a otimização de tempo na busca pelas principais publicações e autores sobre o tema.

Dessa forma, esse estudo indicou a importância de desenvolvimento de pesquisas nessa temática, a qual está intimamente ligada com as preocupações socioambientais e econômicas. Os resíduos que causam consequências ambientais, se convertidos em biocarvão e utilizados em processos de adsorção, estarão sendo aproveitados de forma sustentável. Assim, a análise bibliométrica permitiu analisar tendências, oportunidades e desafios desse tema da biotecnologia ambiental, auxiliando em pesquisas futuras sobre adsorção.

REFERÊNCIAS

(IBI) INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE. **Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil**. 2012. Disponível em <<https://biochar-international.org/biochar/>>.

ACEDO, Francisco José et al. *Co-authorship in management and organizational studies: An empirical and network analysis*. **Journal of Management Studies**, v. 43, n. 5, p. 957-983, 2006.

ADINATA, D.; DAUD, W. M. A. W.; AROUA, M. K. *Preparation and characterization of activated carbon from palm shell by chemical activation with K₂CO₃*. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 145-149, 2007.

AHMAD, Mahtab et al. *Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review*. **Chemosphere**, v. 99, p. 19-33, 2014.

AHMAD, Mahtab et al. *Effects of pyrolysis temperature on soybean stover-and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water*. **Bioresource Technology**, v. 118, p. 536-544, 2012.

ALLEN, Stephen et al. **Chemical Engineering Journal**. Disponível em <<https://www.journals.elsevier.com/chemical-engineering-journal/>>.

AL-QODAH, Z.; SHAWABKAH, R. *Production and characterization of granular activated carbon from activated sludge*. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 26, n. 1, p. 127-136, 2009.

ANTUNES, Evelyn Cristine Evangelista da Silva et al. *Remoção de corante têxtil utilizando a casca do abacaxi como adsorvente natural*. **Holos**, v. 3, p. 81-97, 2018.

ANTUNES, P. O.; RAMOS, B. Z.; GOMES, A. R. C. *Eficiência do biocarvão e carvão ativado na remediação de Cd, Zn e Pb em solo contaminado por atividade de mineração em condições de laboratório*. **8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC**, 2014.

ARAÚJO, Carlos A A. *Bibliometria: evolução histórica e questões atuais*. **Em questão**, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. *Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis*. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.

ATALLAH, Alvaro Nagib; CASTRO, Aldemar Araujo. Revisão sistemática da literatura e metanálise. **Medicina baseada em evidências: fundamentos da pesquisa clínica**. São Paulo: Lemos-Editorial, p. 42-8, 1998.

BAIG, Shams Ali et al. *Effect of synthesis methods on magnetic Kans grass biochar for enhanced As (III, V) adsorption from aqueous solutions*. **Biomass and Bioenergy**, v. 71, p. 299-310, 2014.

BAILÓN-MORENO, Rafael et al. *Bibliometric laws: Empirical flaws of fit*. **Scientometrics**, v. 63, n. 2, p. 209-229, 2005.

BARCELÓ, D.; GAN, J.; HOPKE, P. **Science of the Total Environment**. Disponível em <<https://www.journals.elsevier.com/science-of-the-total-environment>>

BARNES, Kimberlee K. et al. *Pharmaceuticals and other organic waste water contaminants within a leachate plume downgradient of a municipal landfill*. **Groundwater Monitoring & Remediation**, v. 24, n. 2, p. 119-126, 2004.

BARROSO, Julie et al. *The challenges of searching for and retrieving qualitative studies*. **Western Journal of Nursing Research**, v. 25, n. 2, p. 153-178, 2003.

BEESELEY, Luke et al. *A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils*. **Environmental pollution**, v. 159, n. 12, p. 3269-3282, 2011.

BEST, Paul et al. *Systematically retrieving research in the digital age: Case study on the topic of social networking sites and young people's mental health*. **Journal of Information Science**, v. 40, n. 3, p. 346-356, 2014.

BHATNAGAR, Amit; SILLANPÄÄ, Mika. *Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment - a review*. **Chemical Engineering Journal**, v. 157, n. 2-3, p. 277-296, 2010.

BOATENG, Akwasi A. et al. *Sustainable production of bioenergy and biochar from the straw of high-biomass soybean lines via fast pyrolysis*. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 29, n. 2, p. 175-183, 2010.

BOER, J.; GALLOWAY, T.; YOON, Y. **Chemosphere**. Disponível em <<https://www.journals.elsevier.com/Chemosphere>>.

BOGAERT, Jan; ROUSSEAU, Ronald; VAN HECKE, Piet. *Percolation as a model for informetric distributions: Fragment size distribution characterised by Bradford curves*. **Scientometrics**, v. 47, n. 2, p. 195-206, 2000.

BONETTO, Luís Rafael. **Estudo da adsorção do corante azul de metileno por um resíduo sólido da indústria do suco de maçã**. 2016. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Ciência dos Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

BONILLA-PETRICIOLET, Adrián; MENDOZA-CASTILLO, Didilia Ileana; REYNEL-ÁVILA, Hilda Elizabeth (Ed.). **Adsorption processes for water treatment and purification**. Berlin: Springer International Publishing, 2017.

BORBA, Carlos Eduardo. **Modelagem da remoção e metais pesados em coluna de adsorção de leito fixo**. 2006. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

BÖRNER, Katy; CHEN, Chaomei; BOYACK, Kevin W. *Visualizing knowledge domains*. **Annual review of information Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 179-255, 2003.

BORNMANN, Lutz; MUTZ, Rüdiger. *Growth rates of modern science: A bibliometric analysis based on the number of publications and cited references*. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, v. 66, n. 11, p. 2215-2222, 2015.

BROCKE, Jan Vom et al. *Reconstructing the giant: On the importance of rigour in documenting the literature search process*. In **ECIS 2009 Proceedings**, n. 161, 2009.

BROWN, Richard Malcolm; SAXENA, Inder M. (Ed.). **Cellulose: molecular and structural biology: selected articles on the synthesis, structure, and applications of cellulose**. Amsterdam, The Netherlands: Springer, 2007.

CALLON, Michel; COURTIAL, Jean-Pierre; LAVILLE, Françoise. *Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological*

research: *The case of polymer chemistry*. **Scientometrics**, v. 22, n. 1, p. 155-205, 1991.

CALLON, Michel; COURTIAL, Jean-Pierre; PENAN, Hervé. **Cienciometría. La medición de la actividad científica: de la bibliometría a la vigilancia tecnológica**. Ediciones Trea, 1995.

CAMARGO, L. S.; BARBOSA, R. R. Bibliometria, cienciometria e um possível caminho para a construção de indicadores e mapas da produção científica. **Ponto de Acesso**, Salvador, v.12, n.3, p.109-125, dez. 2018

CAMPBELL, Allison et al. *Developing and applying a protocol for a systematic review in the social sciences*. **New Review of Academic Librarianship**, v. 24, n. 1, p. 1-22, 2018.

CARVER, Jeffrey C. et al. *Identifying barriers to the systematic literature review process*. In: **2013 ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement**. IEEE, 2013. p. 203-212.

CAUMO, Letícia. **Aplicação e cálculo da derivada de sinais de processos industriais**. 2006. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CAVALCANTE, Valmir Rocha. **Produção de carvão ativado a partir de resíduos de coco, banana e laranja**. 2015. 63 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) - Universidade Católica de Pernambuco, 2015.

ÇEÇEN, Ferhan; AKTAS, Özgür. *Activated carbon for water and wastewater treatment: Integration of adsorption and biological treatment*. **John Wiley & Sons**, 2011.

CEYHAN, Ayhan Abdullah et al. *A novel thermal process for activated carbon production from the vetch biomass with air at low temperature by two-stage procedure*. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 104, p. 170-175, 2013.

CHEN, Chaomei; DUBIN, Rachael; KIM, Meen Chul. *Emerging trends and new developments in regenerative medicine: a scientometric update (2000–2014)*. **Expert opinion on biological therapy**, v. 14, n. 9, p. 1295-1317, 2014.

CHEN, Tan et al. *Adsorption behavior comparison of trivalent and hexavalent chromium on biochar derived from municipal sludge*. **Bioresource Technology**, v. 190, p. 388-394, 2015.

CHEN, Tan et al. *Adsorption of cadmium by biochar derived from municipal sewage sludge: impact factors and adsorption mechanism*. **Chemosphere**, v. 134, p. 286-293, 2015.

CHUN, Yuan et al. *Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars*. **Environmental Science & Technology**, v. 38, n. 17, p. 4649-4655, 2004.

Clarivate Analytics. (2021). *Journal Citation Reports*. Disponível em: <<https://jcr.incites.thomsonreuters.com/JCRJournalHomeAction.action>>

COBO, Manuel J. et al. *Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools*. **Journal of the American Society for information Science and Technology**, v. 62, n. 7, p. 1382-1402, 2011.

CORDEIRO, Luana Gomes. **Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos**. 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

CORNELISSEN, Gerard et al. *Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and kerogen in sediments and soils: mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation*. **Environmental science & technology**, v. 39, n. 18, p. 6881-6895, 2005.

CRINI, Gregorio. *Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review*. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 9, p. 1061-1085, 2006.

DE CAMPOS, Elaine Aparecida Regiani et al. *Construction and qualitative assessment of a bibliographic portfolio using the methodology Methodi Ordinatio*. **Scientometrics**, v. 116, n. 2, p. 815-842, 2018.

DE HAAN, Cees. *Livestock's long shadow*. **Environmental issues and options Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**. Disponível em <http://www.virtualcentre.org/en/library/key_pub/longshad/A0701E00.pdf>, 2006.

DIAS, Joana M. et al. *Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review*. **Journal of environmental management**, v. 85, n. 4, p. 833-846, 2007.

DIEKS, Dennis; CHANG, Hans. *Differences in impact of scientific publications: Some indices derived from a citation analysis*. **Social Studies of Science**, v. 6, n. 2, p. 247-267, 1976.

DO, Duong D. **Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics (With CD Containing Computer Matlab Programs)**. World Scientific, 1998.

DREWES, Jorg; SEDLAK, David; SNYDER, Shane. *Development of indicators and surrogates for chemical contaminant removal during wastewater treatment and reclamation*. **Water Environment Research Foundation**, 2009.

DUMAN, G. et al. **Bioresource Technology**, v. 102, 2012.

DURAL, Mehmet Ulas et al. *Methylene blue adsorption on activated carbon prepared from *Posidonia oceanica* (L.) dead leaves: Kinetics and equilibrium studies*. **Chemical Engineering Journal**, v. 168, n. 1, p. 77-85, 2011.

FALAGAS, Matthew E. et al. *Comparison of PubMed, Scopus, web of science, and Google scholar: strengths and weaknesses*. **The FASEB Journal**, v. 22, n. 2, p. 338-342, 2008.

FAN, Shisuo et al. *Removal of methylene blue from aqueous solution by sewage sludge-derived biochar: Adsorption kinetics, equilibrium, thermodynamics and mechanism*. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, n. 1, p. 601-611, 2017.

FANG, Qile et al. *Aromatic and hydrophobic surfaces of wood-derived biochar enhance perchlorate adsorption via hydrogen bonding to oxygen-containing organic groups*. **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 1, p. 279-288, 2014.

FEATHER, John; STURGES, Paul (Ed.). **International encyclopedia of information and library science**. Routledge, 2003.

FERNANDES, Fabiana Lopes. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com ZnCl₂ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto**.

Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

FONTES, Paulo Cezar R. et al. Produção e qualidade do tomate produzido em substrato, no campo e em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 614-619, 2004.

FORESTI, N. **Estudo da contribuição das revistas brasileiras de biblioteconomia e ciência da informação enquanto fonte de referência para a pesquisa**. 1989. Dissertação (Mestrado em Biblioteconomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 1989.

FROEHLICH, Paulo Leandro; MOURA, Angela. Carvão vegetal: propriedades físico-químicas e principais aplicações. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 9, n. 1, p. 13-32, 2014.

GAI, Xiapu et al. *Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate*. **PloS One**, v. 9, n. 12, p. e113888, 2014.

GALVÃO, Taís Freire; PEREIRA, Mauricio Gomes. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, p. 183-184, 2014.

GAN, Chao et al. *Effect of porous zinc–biochar nanocomposites on Cr (VI) adsorption from aqueous solution*. **Rsc Advances**, v. 5, n. 44, p. 35107-35115, 2015.

GAO, Jing-Feng et al. *Binary biosorption of Acid Red 14 and Reactive Red 15 onto acid treated okara: Simultaneous spectrophotometric determination of two dyes using partial least squares regression*. **Chemical Engineering Journal**, v. 171, n. 3, p. 967-975, 2011.

GARFIELD, Eugene. *Citation indexes for science. A new dimension in documentation through association of ideas*. **International Journal of Epidemiology**, v. 35, n. 5, p. 1123-1127, 2006.

GARFIELD, Eugene; SHER, Irving H. *Key words plus [TM]-algorithmic derivative indexing*. **Journal-American Society For Information Science**, v. 44, p. 298-298, 1993.

GHAFFAR, Abdul et al. *Effect of biochar aging on surface characteristics and adsorption behavior of dialkyl phthalates*. **Environmental Pollution**, v. 206, p. 502-509, 2015.

GOMES, Lorraine Aparecida de Faria. **Análise cienciométrica sobre aproveitamento da água da chuva em residências**. 2018. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - UniEvangélica, Anápolis, 2018.

GONÇALVES, Flávia de Miranda. **Caracterização de biocarvões e suas capacidades de retenção de nutrientes**. 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química e Materiais), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

GREENHALGH, T. *Papers that summarise other papers (systematic reviews and meta-analyses)*. **Student BMJ**, v. 6, p. 194-197, 1998.

GUEDES, Vania Lisboa da Silveira. A bibliometria e a gestão da informação e do conhecimento científico e tecnológico: uma revisão da literatura. **Ponto de Acesso**, v. 6, n. 2, p. 74-109, 2012.

GUEDES, Vânia Lisboa da Silveira; BORSCHIVER, Suzana. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. **Encontro Nacional de Ciência da Informação**, v. 6, n. 1, p. 18, 2005.

GUILARDUCI, Viviane Vasques da Silva et al. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Química nova**, v. 29, n. 6, p. 1226-1232, 2006.

GUO, Yue et al. *Mechanism of Cu (II) adsorption inhibition on biochar by its aging process*. **Journal of Environmental Sciences**, v. 26, n. 10, p. 2123-2130, 2014.

HAIMOUR, N. M.; EMEISH, S. *Utilization of date stones for production of activated carbon using phosphoric acid*. **Waste Management**, v. 26, n. 6, p. 651-660, 2006.

HAN, Yitong et al. *Adsorption kinetics of magnetic biochar derived from peanut hull on removal of Cr (VI) from aqueous solution: effects of production conditions and particle size*. **Chemosphere**, v. 145, p. 336-341, 2016.

HARVEY, Omar R. et al. *Metal interactions at the biochar-water interface: energetics and structure-sorption relationships elucidated by flow adsorption microcalorimetry*. ***Environmental Science & Technology***, v. 45, n. 13, p. 5550-5556, 2011.

HAYASHI, M. C. P. I.; LETA, J. **Bibliometria e cientometria: reflexões teóricas e interfaces**. São Carlos: Pedro e João, 2013.

HEMALATHA, R. et al. *Synthesizing and characterization of chitosan graft co polymer: adsorption studies for Cu (II) and Cr (VI)*. ***International Journal of Environmental Sciences***, v. 2, n. 2, p. 805-828, 2011.

HEYLMANN, Kelly Kathleen Almeida. **Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de caroço de pêssego no tratamento de efluente têxtil**. 2015. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

HIRSCH, Jorge E. *An index to quantify an individual's scientific research output*. ***Proceedings of the National academy of Sciences***, v. 102, n. 46, p. 16569-16572, 2005.

HU, Bo et al. *Engineering carbon materials from the hydrothermal carbonization process of biomass*. ***Advanced Materials***, v. 22, n. 7, p. 813-828, 2010.

IFA / IFDC / IPI / PPI / FAO. **Uso de fertilizantes por safra**. 2009

INYANG, Mandu I. et al. *A review of biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal*. ***Critical Reviews in Environmental Science and Technology***, v. 46, n. 4, p. 406-433, 2016.

JAIN, Anil K.; MURTY, M. Narasimha; FLYNN, Patrick J. *Data clustering: a review*. ***ACM computing surveys (CSUR)***, v. 31, n. 3, p. 264-323, 1999.

JIANG, Tian-Yu et al. *Adsorption of Pb (II) on variable charge soils amended with rice-straw derived biochar*. ***Chemosphere***, v. 89, n. 3, p. 249-256, 2012.

JING, Xiang-Rong et al. *Enhanced adsorption performance of tetracycline in aqueous solutions by methanol-modified biochar*. ***Chemical Engineering Journal***, v. 248, p. 168-174, 2014.

JUCHEN, P. T et. *al.* Aplicação do palito de erva-mate como adsorvente no processo de adsorção de corante azul de metileno. 2013. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Processos Químicos, **Anais do V SEQ**, Simpósio de Engenharia Química, Maringá, 2013.

KALIA, Susheel; KAITH, B. S.; KAUR, Inderjeet (Ed.). **Cellulose fibers: bio-and nano-polymer composites: green chemistry and technology**. Springer Science & Business Media, 2011.

KALYANI, P.; ANITHA, A. *Biomass carbon & its prospects in electrochemical energy systems*. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 38, n. 10, p. 4034-4045, 2013.

KASOZI, Gabriel N. et *al.* *Catechol and humic acid sorption onto a range of laboratory-produced black carbons (biochars)*. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 16, p. 6189-6195, 2010.

KEILUWEIT, Marco et *al.* *Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar)*. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 4, p. 1247-1253, 2010.

KESSLER, Maxwell Mirton. *Bibliographic coupling between scientific papers*. **American Documentation**, v. 14, n. 1, p. 10-25, 1963.

KHATRI, Awais et *al.* *A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution*. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 50-57, 2015.

KIM, Jinkeun; KANG, Byeongsoo. *DBPs removal in GAC filter-adsorber*. **Water Research**, v. 42, n. 1-2, p. 145-152, 2008.

KIM, Jin-Wha et *al.* *Production of granular activated carbon from waste walnut shell and its adsorption characteristics for Cu²⁺ ion*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 85, n. 3, p. 301-315, 2001.

KIZITO, Simon et *al.* *Evaluation of slow pyrolyzed wood and rice husks biochar for adsorption of ammonium nitrogen from piggery manure anaerobic digestate slurry*. **Science of the Total Environment**, v. 505, p. 102-112, 2015.

KUO, S.; BAKER, A. S. *Sorption of copper, zinc, and cadmium by some acid soils. Soil Science Society of America Journal*, v. 44, n. 5, p. 969-974, 1980.

LANCICHINETTI, Andrea; FORTUNATO, Santo. *Benchmarks for testing community detection algorithms on directed and weighted graphs with overlapping communities. Physical Review E*, v. 80, n. 1, p. 016118, 2009.

LANGMUIR, Irving. *The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. Journal of the American Chemical Society*, v. 40, n. 9, p. 1361-1403, 1918.

LAURINDO, Roseméri; BRUCK, Thalita. Cienciometria das interfaces e intrafaces comunicacionais na revista portuguesa Comunicação e Sociedade. **Comunicação e Sociedade**, v. 20, p. 191-200, 2011.

LEE, Colin; FELPS, Will; BARUCH, Yehuda. *Toward a taxonomy of career studies through bibliometric visualization. Journal of Vocational Behavior*, v. 85, n. 3, p. 339-351, 2014.

LEHMANN, Johannes et al. *Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil*, v. 249, n. 2, p. 343-357, 2003.

LEHMANN, Johannes; JOSEPH, Stephen (Ed.). **Biochar for environmental management: science and technology**. Routledge, 2012.

LI, Bing et al. *Adsorption of Cd (II) from aqueous solutions by rape straw biochar derived from different modification processes. Chemosphere*, v. 175, p. 332-340, 2017.

LI, Ronghua et al. *Enhancing phosphate adsorption by Mg/Al layered double hydroxide functionalized biochar with different Mg/Al ratios. Science of the Total Environment*, v. 559, p. 121-129, 2016.

LIAN, Fei et al. *One-step synthesis of a novel N-doped microporous biochar derived from crop straws with high dye adsorption capacity. Journal of Environmental Management*, v. 176, p. 61-68, 2016.

LIANG, Jie et al. *Amorphous MnO₂ modified biochar derived from aerobically composted swine manure for adsorption of Pb (II) and Cd (II)*. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 5, n. 6, p. 5049-5058, 2017.

LILLO-RÓDENAS, M. A.; CAZORLA-AMORÓS, D.; LINARES-SOLANO, A. *Behaviour of activated carbons with different pore size distributions and surface oxygen groups for benzene and toluene adsorption at low concentrations*. **Carbon**, v. 43, n. 8, p. 1758-1767, 2005.

LIMA, Sirlene Barbosa. **Preparação de carvões ativados a partir do mesocarpo do coco verde, utilizando diferentes agentes ativadores**. 2013. 121 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

LIU, Fang-Yu et al. *New insights in atmospheric acid-catalyzed gas phase hydrolysis of formaldehyde: a theoretical study*. **RSC Advances**, v. 5, n. 42, p. 32941-32949, 2015.

LIU, Na et al. *Adsorption characteristics of Direct Red 23 from aqueous solution by biochar*. **Journal of Molecular Liquids**, v. 223, p. 335-342, 2016

LOPES, Ana Lúcia Mendes; FRACOLLI, Lislaine Aparecida. *Revisão sistemática de literatura e metassíntese qualitativa: considerações sobre sua aplicação na pesquisa em enfermagem*. **Texto & Contexto-Enfermagem**, v. 17, n. 4, p. 771-778, 2008.

LOPES, Cintia Masuco. **Adsorção individual e competitiva de Cd, Cu, Ni e Zn em solos em função da variação de pH**. 2009. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

LOTKA, A. J. *The freq distrib of scientific productivity*. **Journal of the Washington Academy of Sciences**, v. 16, n. 12, p. 317–323, 1926

LU, Kun; WOLFRAM, Dietmar. *Measuring author research relatedness: A comparison of word-based, topic-based, and author cocitation approaches*. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 63, n. 10, p. 1973-1986, 2012.

MACIAS-CHAPULA, Cesar A. *O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional*. **Ciência da informação**, v. 27, n. 2, p. nd-nd, 1998.

MARQUES, F. Produção científica acessível, **Revista Pesquisa FAPESP** n. 259, 2013. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2017/09/22/producao-cientifica-acessivel/>>.

MARQUES, F. Os limites do índice-H. **Revista Pesquisa FAPESP**, n. 207, maio. 2013. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/05/14/os-limites-do-indice-h/>>.

MARTÍN-MARTÍN, Alberto et al. *Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories*. **Journal of Informetrics**, v. 12, n. 4, p. 1160-1177, 2018.

MCCAIN, Katherine W. *Mapping economics through the journal literature: An experiment in journal cocitation analysis*. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 42, n. 4, p. 290-296, 1991.

MCKAY, Gordon. *Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewater*. **CRC Press**, 1995.

MELCHIORS, Amanda; PALHANO, Ana Paula; CIDADE, Mariana Kuhl. Estudo de reciclabilidade e reutilização de cápsulas poliméricas de café. **MIX Sustentável**, v. 6, n. 4, p. 93-104, 2020.

MIA, Shamim; DIJKSTRA, Feike A.; SINGH, Balwant. *Aging induced changes in biochar's functionality and adsorption behavior for phosphate and ammonium*. **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 15, p. 8359-8367, 2017.

MOHAN, Dinesh et al. *Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent - a critical review*. **Bioresource Technology**, v. 160, p. 191-202, 2014.

MOREIRA, Paulo Sergio da Conceição; GUIMARÃES, André José Ribeiro; TSUNODA, Denise Fukumi. Qual ferramenta bibliométrica escolher? Um estudo comparativo entre softwares. **P2P & INOVAÇÃO**, v. 6 (2020): Ed. Especial Gestão da Informação, n. 2, p. 140-158, 2018.

MOREIRA, S. de A. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo**. 2008.

133 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MUÑOZ, Ivan et al. *Chemical evaluation of contaminants in wastewater effluents and the environmental risk of reusing effluents in agriculture*. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 28, n. 6, p. 676-694, 2009.

MUSSATTO, Solange I. et al. *Production, characterization and application of activated carbon from brewer's spent grain lignin*. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 7, p. 2450-2457, 2010.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do et al. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020.

NORVILL, Zane N. et al. *Photodegradation and sorption govern tetracycline removal during wastewater treatment in algal ponds*. **Bioresource Technology**, v. 232, p. 35-43, 2017.

OLESZCZUK, Patryk et al. *Activated carbon and biochar amendments decrease pore-water concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge*. **Bioresource Technology**, v. 111, p. 84-91, 2012.

OLIVEIRA, D. G. **Estudo da aplicação do biocarvão de serragem na adsorção e degradação de propranolol presente em efluentes aquosos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, 2013.

PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; RESENDE, Luis Mauricio. *Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication*. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.

PAGGA, Udo; TAEGER, Klaus. *Development of a method for adsorption of dyestuffs on activated sludge*. **Water Research**, v. 28, n. 5, p. 1051-1057, 1994.

PANDEY, Ashok. **Bioresource Technology**. Disponível em: <<https://www.journals.elsevier.com/bioresource-technology>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PARISOTTO, Iara Regina et al. Análise de Viabilidade de Utilizar as Leis da Bibliometria em Diferentes Bases de Pesquisa. In: **XXXVIII Encontro da ANPAD**, Rio de Janeiro, 2014

PARK, Jong-Hwan et al. *Competitive adsorption of heavy metals onto sesame straw biochar in aqueous solutions*. **Chemosphere**, v. 142, p. 77-83, 2016.

PASADEOS, Yorgo; PHELPS, Joe; KIM, Bong-Hyun. *Disciplinary impact of advertising scholars: Temporal comparisons of influential authors, works and research networks*. **Journal of Advertising**, v. 27, n. 4, p. 53-70, 1998.

PAZ, Elaine da Cunha Silva et al. Estudo do potencial de adsorção de carvão obtido a partir de biomassa do coco da baía. In: **8ª JICE-JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO**. 2017.

PAZ, R. S.; PAZ, E. C. S.; PEDROZA, M. M. Uso do carvão de coco na remoção de cloro da água potável. In: **9ª JICE-JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO**. 2018.

PENTEADO FILHO, Roberto de Camargo. Ferramentas para análise e mineração de textos e dados. In: HAYASHI, Maria Cristina P. Innocentini; LETA, Jacqueline; Encontro Brasileiro de Bibliometria e Cientometria. *Bibliometria e cientometria: reflexões teóricas e interfaces*. São Carlos, [SP]: Pedro & João, 2013.

QIU, Yuping et al. *Effectiveness and mechanisms of dye adsorption on a straw-based biochar*. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 21, p. 5348-5351, 2009.

RAJI, C.; ANIRUDHAN, T. S. *Batch Cr (VI) removal by polyacrylamide-grafted sawdust: kinetics and thermodynamics*. **Water Research**, v. 32, n. 12, p. 3772-3780, 1998.

ROSA, M. de F. et al. Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola. **Embrapa Agroindústria Tropical - Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2001.

ROY, P. K. et al. *Synthesis and analytical application of a chelating resin based on a crosslinked styrene/maleic acid copolymer for the extraction of trace-metal ions*. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 94, n. 4, p. 1771-1779, 2004.

SANTOS, Raimundo Nonato Macedo dos; KOBASHI, Nair Yumiko. Bibliometria, cientometria, infometria: conceitos e aplicações. **Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação**, 2009.

SANZ-CASADO, Elías; ZORITA, Carlos García. Evolução dos fundamentos epistemológicos dos estudos métricos da informação. **Encontro Brasileiro de Bibliometria e Cientometria**, v. 4, 2014.

SHI, Li et al. *Preparation and utilization of anaerobic granular sludge-based biochar for the adsorption of methylene blue from aqueous solutions*. **Journal of Molecular Liquids**, v. 198, p. 334-340, 2014.

SILVA, Francis J. Activated carbon filtration. **Water Quality Products**, p. 16, 2000.

SMALL, Henry. *Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents*. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 24, n. 4, p. 265-269, 1973.

SOLIS, Blandy Pamplona et al. *Bibliometric analysis of the mass transport in a gas diffusion layer in PEM fuel cells*. **Sustainability**, v. 11, n. 23, p. 1-18, 2019.

SONG, Zhengguo et al. *Synthesis and characterization of a novel MnOx-loaded biochar and its adsorption properties for Cu²⁺ in aqueous solution*. **Chemical Engineering Journal**, v. 242, p. 36-42, 2014.

SOTO, María Luisa et al. *Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: A review*. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 1, p. 1-27, 2011.

SOUZA, João Valdir Tadioto Miranda et al. Adsorção de cromo (III) por resíduos de laranja *in natura* e quimicamente modificados. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 33, n. 1, p. 3-16, 2012.

SPINAK, Ernesto. Indicadores cientométricos. **Ciência da informação**, v. 27, n. 2, 1998.

STUMM, Werner; MORGAN, James J. *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*. **John Wiley & Sons**, 2012.

THEYDAN, Samar K.; AHMED, Muthanna J. *Adsorption of methylene blue onto biomass-based activated carbon by FeCl₃ activation: Equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies*. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 97, p. 116-122, 2012.

THINES, K. R. et al. *Synthesis of magnetic biochar from agricultural waste biomass to enhancing route for waste water and polymer application: a review*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 257-276, 2017.

ÜSDIKEN, Behlül; PASADEOS, Yorgo. *Organizational analysis in North America and Europe: A comparison of co-citation networks*. **Organization Studies**, v. 16, n. 3, p. 503-526, 1995.

VAGHETTI, J. C. P. **Utilização de biossorbentes para remediação de efluentes contaminados por íons metálicos**. 2009. 99 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VAN ECK, Nees Jan; WALTMAN, Ludo. *How to normalize cooccurrence data? An analysis of some well-known similarity measures*. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 60, n. 8, p. 1635-1651, 2009.

VANTI, Nadia Aurora Peres. *Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento*. **Ciência da Informação**, v. 31, n. 2, p. 369-379, 2002.

WALLIN, Martin W. *The bibliometric structure of spin-off literature*. **Innovation**, v. 14, n. 2, p. 162-177, 2012.

WANG, Bing et al. *Adsorption and desorption of ammonium by maple wood biochar as a function of oxidation and pH*. **Chemosphere**, v. 138, p. 120-126, 2015.

WANG, Sa-Sa; YANG, Guo-Yu. *Recent advances in polyoxometalate-catalyzed reactions*. **Chemical Reviews**, v. 115, n. 11, p. 4893-4962, 2015.

WANG, Zhanghong et al. *Biochar produced from oak sawdust by Lanthanum (La)-involved pyrolysis for adsorption of ammonium (NH₄⁺), nitrate (NO₃⁻), and phosphate (PO₄³⁻)*. **Chemosphere**, v. 119, p. 646-653, 2015.

WERLANG, Eliana Betina et al. *Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais*. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 3, n. 1, 2013.

YANG, Guang-Xi; JIANG, Hong. *Amino modification of biochar for enhanced adsorption of copper ions from synthetic wastewater*. **Water Research**, v. 48, p. 396-405, 2014.

YAO, Ying et al. *Adsorption of sulfamethoxazole on biochar and its impact on reclaimed water irrigation*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 209, p. 408-413, 2012a.

YAO, Ying et al. *Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil*. **Chemosphere**, v. 89, n. 11, p. 1467-1471, 2012b.

YU, Dejian et al. *Information Sciences 1968–2016: a retrospective analysis with text mining and bibliometric*. **Information Sciences**, v. 418, p. 619-634, 2017.

YUAN, Jin-Hua; XU, Ren-Kou; ZHANG, Hong. *The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures*. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 3, p. 3488-3497, 2011.

ZHAO, Dangzhi; STROTMANN, Andreas. *Evolution of research activities and intellectual influences in information science 1996–2005: Introducing author bibliographic-coupling analysis*. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 59, n. 13, p. 2070-2086, 2008.

ZHAO, Ling et al. *Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 256, p. 1-9, 2013.

ZHANG, Juan et al. *Comparing keywords plus of WOS and author keywords: A case study of patient adherence research*. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, v. 67, n. 4, p. 967-972, 2016.

ZHOU, Li et al. *Adsorption properties of nano-MnO₂-biochar composites for copper in aqueous solution*. **Molecules**, v. 22, n. 1, p. 173, 2017a.

ZHOU, Yaoyu et al. *Modification of biochar derived from sawdust and its application in removal of tetracycline and copper from aqueous solution: adsorption mechanism and modelling*. **Bioresource Technology**, v. 245, p. 266-273, 2017b.

ZHU Anning et al. *Water balance and nitrate leaching losses under intensive crop production with Ochric Aquic Cambosols in North China Plain. **Environment International***. v. 31, n. 2, p. 904-1200, 2005.

ZHU, Xiangdong et al. *Preparation of magnetic porous carbon from waste hydrochar by simultaneous activation and magnetization for tetracycline removal. **Bioresource Technology***, v. 154, p. 209-214, 2014.

ZUPIC, Ivan; CATER, Tomaz. *Bibliometric methods in management and organization. **Organizational Research Methods***, v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015.