

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

KAREN LAIZ DA SILVA

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA COM
BIBLIOMETRIX SOBRE FORÇAS DE ADESÃO DE
NANOPARTÍCULAS

SÃO CARLOS -SP
2022

KAREN LAIZ DA SILVA

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA COM *BIBLIOMETRIX* SOBRE FORÇAS
DE ADESÃO DE NANOPARTÍCULAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Química da
Universidade Federal de São
Carlos, para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. André
Bernardo

Coorientadora: MSc. Karine Machry

São Carlos-SP
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Departamento de Engenharia Química

Folha de aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da aluna Karen Laiz da Silva, realizada em 12/09/2022:

Prof. Dr. André Bernardo
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar *campus* São Carlos

Dr. Paulo Augusto Marques Chagas
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar *campus* São Carlos

Prof. Dr. Rodrigo Béttega
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar *campus* São Carlos

AGRADECIMENTO

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. André Bernardo, pela confiança em mim depositada e pelo acolhimento ao longo da minha formação.

À minha coorientadora e amiga, MSc. Karine Machry, pelos ensinamentos, dedicação e suporte, possibilitando a realização deste trabalho e meu desenvolvimento em mais de um aspecto. Você é inspiração e exemplo de dedicação e determinação.

Gratidão aos meus pais, Pedro e Leonice, e à minha irmã, Bárbara, por sempre se fazerem presentes mesmo que fisicamente distantes e por não medirem esforços para possibilitar e orientar meu crescimento pessoal e profissional. Muito obrigada pelo apoio e por acreditarem que sou capaz de conquistar todos meus objetivos.

Aos meus amigos, Nancy, Roger e Gustavo, pela amizade, carinho e companheirismo. Obrigada por sempre estarem ao meu lado, compartilhando momentos felizes e dificuldades ao longo dos últimos anos. Minha trajetória não teria sido tão divertida sem vocês.

RESUMO

Este trabalho trata-se de uma revisão sistemática da literatura que se propõe a elucidar as raízes do conhecimento sobre forças de adesão entre nanopartículas e superfícies, dada a forte relação entre este tema e a filtração de ar. Os meios filtrantes com efeito biocida são imprescindíveis para a saúde humana, tomando como exemplo filtros de ar condicionado e máscaras de proteção individual que tiveram sua importância evidenciada pela pandemia da Covid-19. Os artigos analisados no presente trabalho foram selecionados nas bases SCOPUS e *Web Of Science*. A busca foi refinada por meio da aplicação das funções do pacote *Bibliometrix*, uma ferramenta de código aberto em linguagem R, voltada para análise sistemática da literatura. Foram analisados aspectos bibliométricos dos artigos obtidos pelas buscas, como repetição e correlação de palavras-chave, divisão dos trabalhos em conjuntos que continham conceitos em comum e produtividade e relevância de autores. Foram reunidas as principais referências citadas entre os documentos selecionados ao final da análise bibliométrica. Foram selecionadas aquelas cuja temática coincidia com a proposta do presente trabalho. A qualidade de tais estudos foi avaliada com base no fator de impacto dos periódicos em que foram publicados, considerando que essa seria uma forma de garantir que fossem lidos e compilados apenas trabalhos que houvessem seguido rigor científico ao longo de sua execução. Os trabalhos referenciados foram extraídos do portal *Web Of Science* da CAPES, lidos e analisados. Foram considerados aspectos de impacto de tais publicações, com base no número de citações e fator de impacto dos periódicos nos quais os trabalhos foram publicados. Foram analisadas as palavras-chave mais utilizadas e os centros de pesquisa aos quais os autores eram afiliados. Foi descrito o funcionamento da Microscopia de Força Atômica (AFM), que ainda hoje segue como principal método utilizado para medição das curvas de força *versus* distância e determinação da constante de Hamaker. Os modelos teóricos de Hamaker, Rumpf e Rabinovich foram explorados, de forma a trazer mais robustez ao conceito de força de adesão, a fim de contribuir com as pesquisas do laboratório de Controle Ambiental da UFSCar, no âmbito de membranas para filtração de ar.

Palavras-chave: Forças de adesão. Rugosidade de superfícies. Nanopartículas.

ABSTRACT

This work is a systematic review of the literature that aims to elucidate the roots of knowledge about adhesion forces between nanoparticles and surfaces, given the strong relationship between this topic and air filtration. Filters with a biocidal effect are essential for human health, taking as an example air conditioning filters and masks whose importance was highlighted by the Covid-19 pandemic. The articles analyzed were selected from SCOPUS and Web Of Science databases. The search was refined through the application of the functions of the Bibliometrix package, an open-source tool in R language, aimed to systematic analysis of the literature. Bibliometric aspects of the articles obtained by the searches were analyzed, such as repetition and correlation of keywords, division of works into sets that contained common concepts and authors' productivity and relevance. The main references cited among the documents selected at the end of the bibliometric analysis were gathered. Those whose theme coincided with the proposal of the present work were selected. The quality of such studies was evaluated based on the impact factor of the journals in which they were published, considering that this would be a way of guaranteeing that only works that had followed scientific accuracy throughout their execution were read and compiled. The referenced works were extracted from the CAPES Web Of Science portal, read and analyzed. Impact aspects of such publications were considered, based on the number of citations and impact factor of the journals in which the works were published. The most used keywords and the research centers to which the authors were affiliated were analyzed. The functioning of Atomic Force Microscopy (AFM) was described, which still remains the main method used to measure force versus distance curves and determine the Hamaker's constant. The theoretical models of Hamaker, Rumpf and Rabinovich were explored, in order to bring more robustness to the concept of adhesion force, in order to contribute to the research of the Environmental Control laboratory at UFSCar, in the scope of membranes for air filtration.

Keywords: Adhesion forces. Surface Roughness. Nanoparticles.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1 - Mapa de Estrutura Conceitual, construído pelo Método de Análise de Correspondência aplicado à base de 1245 artigos (Primeiro Protocolo).	10
Figura 4.2 - 30 autores da base de 256 artigos mais produtivos ao longo do tempo, com número de artigos publicados e número de citações por ano (Primeiro Protocolo).	16
Figura 4.3 - Dendograma das principais palavras-chave da base de 42 artigos selecionados, separadas por conjuntos de acordo com a Análise de Estrutura Conceitual (Primeiro Protocolo).	18
Figura 4.4 - Mapa de Estrutura Conceitual, construído através da aplicação do Método de Análise de Correspondência, para a base de 211 artigos (Segundo Protocolo).	21
Figura 4.5 - Rede de Cocitação de referências da base de 11 artigos (Segundo Protocolo).	23
Figura 4.6 - Ilustração esquemática de um microscópio de força atômica.	30
Figura 4.7 - Exemplo de aplicação da AFM, do artigo [4]: caracterização de uma partícula de alumina.	31
Figura 4.8 - Exemplo de aplicação da AFM, do artigo [6]: caracterização da rugosidade de superfícies de diferentes materiais.	32
Figura 4.9 - Ilustração esquemática da geometria proposta por Rumpf para a interação entre uma partícula esférica de raio R_p aderida à uma superfície rugosa, com uma aspereza hemisférica de raio r_s .	35
Figura 4.10 - Ilustração esquemática da geometria proposta por Rabinovich para a superfície composta por rugosidade em duas escalas.	37
Figura 4.11 - Imagens tridimensionais e transversais das superfícies estudadas no artigo [3], que comparam geometrias irregulares reais com o modelo proposto por Rabinovich.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - 30 palavras-chave mais citadas na base de 1182 artigos e o número de artigos que contém cada termo (Primeiro Protocolo).	12
Tabela 4.2 - 30 palavras-chave mais citadas na base de 256 artigos, após a remoção de termos relacionados aos temas que não são de interesse para este trabalho e o número de artigos da base que contém cada termo (Primeiro Protocolo).	13
Tabela 4.3 - 30 Autores com maior Índice H da base de 256 artigos e seus respectivos números de citações (Primeiro Protocolo).	15
Tabela 4.4 - Fontes seleccionadas para análise.	24
Tabela 4.5 - Periódicos nos quais foram publicadas as principais referências, ordenados por quantidade de trabalhos da base.	25
Tabela 4.6 - 5 palavras-chave mais importantes, que se repetem na base de referências analisada.	27
Tabela 4.7 - Centros de Pesquisa dos trabalhos analisados e a quantidade de autores a eles afiliados.	28

LISTA DE ABREVIATURAS

AFM	Microscopia de Força Atômica
rms	Raiz Quadrada Média

LISTA DE SÍMBOLOS

A_H	Constante de Hamaker
C	Constante no potencial par átomo-átomo
F_{vdW}	Força de van der Waals
R_p	Raio da partícula esférica
Z_0	Menor distância entre os corpos em contato
r_s	Raio da aspereza da superfície
rms_1	Raiz quadrada média da distância pico a pico da aspereza de maior escala da superfície
rms_2	Raiz quadrada média da distância pico a pico da aspereza de menor escala da superfície
λ_1	Distância pico a pico da maior escala de aspereza da superfície
λ_2	Distância pico a pico da menor escala de aspereza da superfície
r_1	Raio da aspereza de maior escala da superfície
r_2	Raio da aspereza de menor escala da superfície

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
3	ESTÁGIO I	3
3.1	FASE 0: IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE UMA REVISÃO	3
3.2	FASE 1: PREPARAÇÃO DA PROPOSTA DE REVISÃO	3
3.3	FASE 2: DESENVOLVIMENTO DO PROTOCOLO DE REVISÃO	4
3.3.1	Filtros Aplicados na Pesquisa	4
3.3.2	Protocolos de Tratamento da Base de Artigos	5
3.3.2.1	Primeiro Protocolo	5
3.3.2.2	Segundo Protocolo	6
3.3.3	Critério de Exclusão	6
4	ESTÁGIO II	7
4.1	FASE 3: IDENTIFICAÇÃO DA PESQUISA	7
4.1.1	<i>Web of Science</i>	7
4.1.2	SCOPUS	8
4.2	FASE 4: SELEÇÃO DOS ESTUDOS	8
4.2.1	Primeiro Protocolo	9
4.2.1.1	Palavras-chave	9
4.2.1.2	Autores	14
4.2.1.3	Estrutura Conceitual	17
4.2.1.4	Nanopartículas	19
4.2.2	Segundo Protocolo	19
4.2.3	Referências	22
4.3	FASE 5: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS ESTUDOS	24
4.4	FASE 6: EXTRAÇÃO DOS DADOS	25
4.5	FASE 7: SÍNTESE DOS DADOS	26
4.5.1	Citações	26
4.5.2	Fator de Impacto	26
4.5.3	Autores	26
4.5.4	Palavras-chave	27
4.5.5	Centros de Pesquisa	27
4.5.6	Tipo de Trabalho	28
4.5.7	Métodos de Medição	29
4.5.7.1	Microscopia de Força Atômica (AFM)	29
4.5.8	Modelos Teóricos	33
4.5.8.1	Teoria de Hamaker(1937)	33
4.5.8.2	Modelo de Rumpf	34
4.5.8.3	Modelo de Rabinovich	36
5	ESTÁGIO III	40
5.1	FASE 8: RELATÓRIO E RECOMENDAÇÕES	40
5.1.1	Análise do Primeiro Protocolo	40
5.1.2	Análise do Segundo Protocolo	40
5.1.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	41
5.2	FASE 9: BUSCANDO EVIDÊNCIAS NA PRÁTICA	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
	APÊNDICE A – CÓDIGOS EM R COM <i>BIBLIOMETRIX</i>	44

1 INTRODUÇÃO

Os meios filtrantes com efeito biocida tiveram sua importância evidenciada nos últimos anos e pesquisas nessa área foram impulsionadas pela pandemia da Covid-19. Um exemplo de aplicação foi o desenvolvimento de máscaras para filtração de ar com ação bactericida e virucida. No entanto, a segurança e a confiabilidade deste tipo de material passa por sua durabilidade e pela capacidade das partículas se manterem fixadas às fibras do meio filtrante.

O presente trabalho tem como objetivo elucidar o fenômeno de força de adesão entre nanopartículas e superfícies, que corresponde à força necessária para destacar uma nanopartícula da superfície à qual se encontra aderida. Dado que a força de adesão é um fenômeno complexo, influenciado por diversos fatores relacionados às partículas e à superfície a qual se aderem (COOPER; GUPTA; BEAUDOIN, 2001), este trabalho visa estudar tais fenômenos por meio de uma revisão sistemática da literatura.

Segundo Tranfield, Denyer, Smart (2003), a revisão sistemática difere de uma revisão tradicional por adotar um modelo replicável, científico e transparente, de modo a minimizar o viés do pesquisador, através de exaustivas pesquisas bibliográficas, a fim de fornecer uma trilha de auditoria das decisões, procedimentos e conclusões aplicados na revisão.

O presente trabalho foi desenvolvido seguindo a proposta de Tranfield, Denyer, Smart (2003). No artigo, os autores fizeram comparações entre revisões sistemáticas da medicina e da área de gestão, propondo um método para a construção deste tipo de trabalho. O protocolo proposto pelos autores consiste no desenvolvimento das seguintes fases:

- Fase 0: Identificação da necessidade de uma revisão;
- Fase 1: Preparação da proposta de revisão, na qual se define o objetivo do trabalho e as fontes de busca;
- Fase 2: Desenvolvimento do protocolo de revisão, na qual são determinados os protocolos e critérios que devem ser atendidos nas buscas;
- Fase 3: Identificação da pesquisa, na qual a pesquisa propriamente dita é feita nas bases de dados escolhidas;
- Fase 4: Seleção dos estudos, fase na qual se determina quais trabalhos são

incluídos ou não na revisão sistemática e que, no presente trabalho, foi feita com aplicação do *Bibliometrix*, uma ferramenta de código aberto em linguagem R, voltada à análise bibliométrica da literatura;

- Fase 5: Avaliação da qualidade dos estudos, que deve ser feita atendendo aos critérios estabelecidos na Fase 2;
- Fase 6: Extração dos dados e monitoramento do processo, fase na qual se extrai as informações que serão incluídas no trabalho;
- Fase 7: Síntese dos dados, na qual são sintetizados os conhecimentos obtidos;
- Fase 8: Relatório e recomendações, na qual são feitas as conclusões e é elaborado um método de divulgação do trabalho realizado;
- Fase 9: Buscando evidências na prática, na qual se busca uma aplicação prática para o tema estudado.

A estrutura da presente monografia é a mesma que foi aplicada no desenvolvimento do trabalho, de modo que difere do usual para um trabalho de conclusão de curso. Assim, objetivos e conclusão foram incorporados nas fases 1 e 8, respectivamente.

3 ESTÁGIO I

Seguindo o protocolo criado por Tranfield, Denyer, Smart (2003) para o desenvolvimento de revisões sistemáticas, no Estágio I foi preparado o planejamento para o avanço do trabalho. Após identificação da necessidade de realização de uma revisão sistemática, elaborou-se a proposta e, por fim, foi concebida uma pragmática de execução.

3.1 FASE 0: IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE UMA REVISÃO

Foi identificada pelo grupo de pesquisa de Controle Ambiental da UFSCar a necessidade de analisar o histórico de revisões sobre forças de adesão de nanopartículas em fibras de meios filtrantes.

Para tanto, foi feita uma análise prévia no portal *Web Of Science*. Foram filtrados trabalhos publicados nos últimos dez anos, que continham os termos “*Systematic Review Adhesion Forces*”. Foram obtidos 36 resultados, os quais ou não eram revisões sistemáticas, ou não guardavam relação com o tema proposto por este trabalho.

3.2 FASE 1: PREPARAÇÃO DA PROPOSTA DE REVISÃO

O presente trabalho tem como objetivo elucidar o fenômeno da adesão entre nanopartículas e superfícies, por meio de uma revisão sistemática da literatura, obtida através de extração, sintetização e análise dos resultados de estudos sobre o fenômeno de força de adesão entre nanopartículas e superfícies, além de sugerir a execução de novos trabalhos na área.

Dado que não foram encontradas revisões anteriores, decidiu-se compilar as principais referências utilizadas pelos trabalhos mais recentes, a fim de sintetizar as raízes do conhecimento sobre o fenômeno de adesão. Os estudos analisados inicialmente, a fim de se obter tais referências, deveriam ser relativamente recentes e relevantes, de acordo com os critérios definidos na próxima fase.

Para tanto, determinou-se que o processo de busca de tais estudos se daria

por uma pesquisa nas bases disponíveis no portal da CAPES, com aplicação dos devidos filtros oferecidos pelas plataformas. Em seguida, os resultados obtidos nessas buscas seriam refinados pela aplicação das funções do pacote *Bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

O *Bibliometrix* trata-se de uma ferramenta de código aberto, desenvolvida em linguagem R, voltada para análise bibliométrica. Esta biblioteca trabalha com um fluxo bibliométrico lógico, o que possibilita a importação e análise simultânea de dados bibliográficos de mais de uma base.

Por fim, os artigos selecionados seriam analisados e teriam suas fontes principais sintetizadas. As metodologias adotadas por essas referências seriam exploradas e organizadas de acordo com a forma como foram desenvolvidas.

3.3 FASE 2: DESENVOLVIMENTO DO PROTOCOLO DE REVISÃO

Na Fase 2 do desenvolvimento da revisão sistemática foram estabelecidos os protocolos para as fases seguintes, bem como os critérios que deveriam ser respeitados pelos documentos examinados.

As bases nas quais o *Bibliometrix* pode ser aplicado são: *Dimensions*, *PubMed*, *LENS.ORG*, *Cochrane*, *SCOPUS* e *Web Of Science*, sendo as duas últimas as que melhor se encaixam no objetivo ao qual este trabalho se destina. Portanto, essas foram as fontes de dados consumidas. A busca em ambas as fontes deveria ser feita com aplicação dos seguintes filtros:

3.3.1 Filtros Aplicados na Pesquisa

- Tipo de documento: Artigos;
- Idioma: os artigos selecionados deveriam ter sido redigidos em Inglês;
- Data de publicação: os artigos deveriam ter sido publicados nos últimos dez anos;
- Palavras-chave: a busca deveria ser feita com palavras-chave idênticas em ambos os portais e que direcionassem os resultados para o tema do presente

trabalho. As palavras-chave aplicadas foram:

- *Adhesion force OR Adhesion forces*, com a finalidade de encontrar artigos que descrevessem o fenômeno de adesão;
- *Surface roughness*, dado que a rugosidade da superfície à qual as partículas se aderem é um fator relevante no fenômeno da adesão (EICHENLAUB; GELB; BEAUDOIN, 2004);
- *Nanoparticles OR nanoparticle OR nano*, uma vez que o tamanho das partículas interfere diretamente no fenômeno de adesão (RABINOVICH; ADLER; ATA; SINGH; MOUDGIL, 2000).

3.3.2 Protocolos de Tratamento da Base de Artigos

As bases de artigos encontradas nos portais deveriam ser mescladas para tratamento com aplicação das funções do *Bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017), o que possibilitaria que todos os procedimentos de refino fossem aplicados concomitantemente.

3.3.2.1 Primeiro Protocolo

A ideia inicial de protocolo de refino da base de artigos consiste na análise das palavras-chave e dos autores mais relevantes presentes.

Através de um Mapa de Estrutura Conceitual, incluir ou excluir conjuntos de artigos com assuntos em comum, de acordo com a aproximação do objetivo do presente trabalho. Em seguida, analisar brevemente das palavras-chave mais utilizadas e eliminar as que fugissem do escopo deste trabalho.

Seguidamente, selecionar apenas artigos de autores mais relevantes, combinando aqueles que estivessem entre os 30 maiores índices H e as 30 maiores produtividades ao longo do tempo, de acordo com as métricas aplicadas pelo *Bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

Por fim, construir um dendograma das principais palavras chave dos artigos restantes, a fim de se compreender quais estariam relacionados entre si e que teriam como tema o fenômeno de adesão da forma desejada. Tendo selecionados

os estudos de interesse, seriam obtidas e estudadas as principais fontes de informação consumidas por eles.

Ao final da aplicação deste protocolo, foi identificada a necessidade de desenvolvimento e aplicação de um novo protocolo, conforme descrito na Fase 4.

3.3.2.2 Segundo Protocolo

O Segundo Protocolo de refino bibliométrico foi pensado com foco na análise de palavras-chave relevantes, e não de autores, como o anterior. Dessa forma, o primeiro passo seria verificar minuciosamente as palavras-chave presentes na base de artigos obtida inicialmente.

A seguir, obter o Mapa de Estrutura Conceitual para compreender qual conjunto de artigos se relacionariam com o tema do presente trabalho e estudar as fontes de dados dos artigos contidos nele.

3.3.3 Critério de Exclusão

Para a inclusão de determinados artigos em detrimento de outros, as referências selecionadas deveriam ter sido publicadas em periódicos de alto fator de impacto, o que garantiria que os métodos empregados na realização dos experimentos atendem aos critérios mínimos para que seus resultados sejam válidos. Após a revisão bibliométrica, um volume máximo de 10 estudos seria selecionado para leitura.

4 ESTÁGIO II

Seguindo o protocolo de Tranfield, Denyer, Smart (2003), no Estágio II de desenvolvimento da revisão sistemática ocorre sua condução propriamente dita. Estão contidas neste estágio as fases nas quais a pesquisa foi identificada; os estudos foram selecionados e têm sua qualidade avaliada; os dados foram extraídos, e por fim, sintetizados.

4.1 FASE 3: IDENTIFICAÇÃO DA PESQUISA

Na Fase 3 do protocolo de Tranfield, Denyer, Smart (2003) para o desenvolvimento da revisão sistemática foi executada a busca pelos artigos e fontes de dados. Os artigos utilizados nesta parte do trabalho foram obtidos mediante buscas nos portais da CAPES de *Web of Science* e SCOPUS, seguindo os filtros determinados na Fase 2.

4.1.1 *Web of Science*

Foi definido o período de publicação, entre janeiro de 2012 (2012-01-01) e janeiro de 2023 (2023-01-01), que sucede em poucos meses a data de conclusão deste trabalho. Em seguida, foram empregadas as palavras-chave: “*adhesion force OR adhesion forces*”, “*surface roughness*” e “*nanoparticles OR nanoparticle OR nanomaterial OR Nano*”.

Em “Idiomas”, foi selecionado “Inglês” e em “Tipo de documento” foi selecionado “Artigo”.

A fim de refinar as buscas para que o conjunto de artigos resultante da pesquisa se aproximasse do assunto desejado, foram utilizadas as opções de refino por categoria e área de pesquisa, disponíveis no portal:

Em “Categorias de *Web of Science*” foram selecionadas as seguintes: “*Materials Science Multidisciplinary*”, “*Chemistry Physical*”, “*Physics Applied*”, “*Nanoscience Nanotechnology*”, “*Chemistry Multidisciplinary*”, “*Materials Science Coatings Films*”, “*Engineering Chemical*”, “*Engineering Mechanical*”, “*Mechanics*”,

“*Chemistry Applied*”, “*Microscopy*”, “*Multidisciplinary Sciences*”, “*Engineering Environmental*” e “*Materials Science Characterization Testing*”.

As “Áreas de pesquisa” selecionadas foram: “*Materials Science*”, “*Chemistry*”, “*Physics*”, “*Science Technology Other Topics*”, “*Engineering*”, “*Mechanics*” e “*Microscopy*”.

Por fim, a busca retornou 974 artigos da base *Web of Science*.

4.1.2 SCOPUS

O procedimento de busca no portal SCOPUS foi semelhante ao aplicado na base anterior. Inicialmente, foi selecionado o período de publicação entre janeiro de 2012 e o momento presente, julho de 2022.

Foram aplicadas então as mesmas palavras-chave utilizadas no portal anterior: “*adhesion force OR adhesion forces*”, “*surface roughness*” e “*nanoparticles OR nanoparticle OR nanomaterial OR Nano*”.

Em “*Language*”, foi selecionado “*English*” e em “*Document Type*”, “*Article*”.

A pesquisa então foi refinada com as opções fornecidas pelo portal:

Em “*Subject Area*”, foram selecionados os itens “*Physics and Astronomy*”, “*Materials Science*”, “*Chemistry*”, “*Engineering*”, “*Chemical Engineering*” e “*Multidisciplinary*”.

Foram obtidos, então, 717 artigos da base SCOPUS.

Todos os registros obtidos em ambas as pesquisas foram exportados no formato (.bib), para que pudessem ser tratados no *Bibliometrix* posteriormente.

4.2 FASE 4: SELEÇÃO DOS ESTUDOS

Na Fase 4 do protocolo de Tranfield, Denyer, Smart (2003) para o desenvolvimento de revisões sistemáticas determina-se que seja feita a seleção dos estudos que de fato serão incluídos no trabalho. Para tanto, neste trabalho foi aplicada a ferramenta de Aria, Cuccurullo (2017), o *Bibliometrix*. O procedimento seguido para tal aplicação foi obtido no tutorial da ferramenta, de Aria, Cuccurullo

(2020) e foi descrito a seguir.

O primeiro passo foi a instalação do pacote *Bibliometrix*. Em seguida, foi feita a conversão dos arquivos obtidos para a extensão padrão do *software* (.bib). As bases de artigos foram, então, mescladas e 446 duplicatas foram identificadas e removidas, restando assim 1245 artigos na base completa. O Apêndice A mostra o código utilizado para realizar este procedimento.

Posteriormente, a base de dados mesclada foi tratada de acordo com o tutorial do pacote *Bibliometrix*, de Aria, Cuccurullo (2020). As análises obtidas pelo pacote seguem os princípios da Lei de Bradford e da Lei de Lotka que, juntamente às leis de Zipf, são as principais da bibliometria, segundo Guedes, Borschiver (2005).

A Lei de Bradford discorre sobre a produtividade de periódicos. De acordo com Guedes, Borschiver (2005), um núcleo de periódicos é formado por aqueles que produzem o maior número de artigos sobre determinado assunto. Dado que neste núcleo supostamente concentram-se os periódicos de maior qualidade ou relevância, a Lei de Bradford permite estimar o seu grau de relevância para aquela área do conhecimento.

Por sua vez, a Lei de Lotka, ainda de acordo com Guedes, Borschiver (2005), refere-se à produtividade de autores. Esta lei determina que pesquisadores de suposto maior prestígio e relevância em determinada área do conhecimento produzem muito, enquanto que muitos outros pesquisadores de suposto menor prestígio e relevância produzem pouco.

Então, seguindo o tutorial de Aria, Cuccurullo (2020), a base de artigos foi analisada e os resultados foram dispostos a seguir:

4.2.1 Primeiro Protocolo

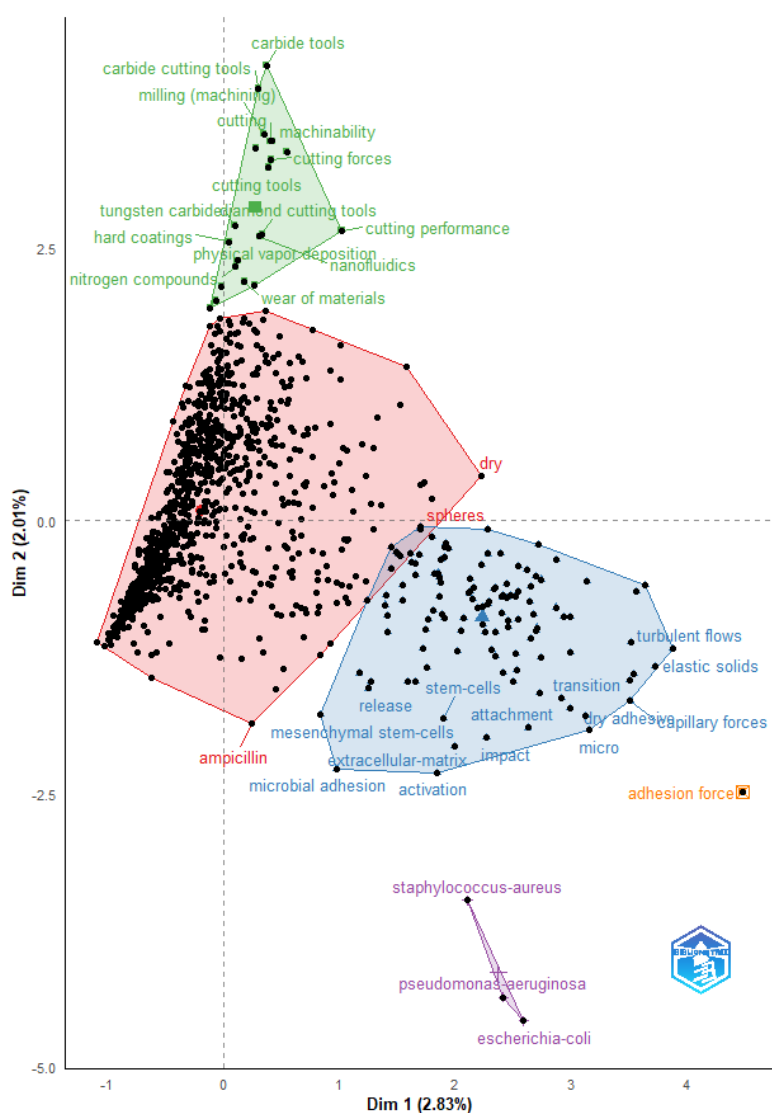
4.2.1.1 Palavras-chave

As palavras-chave presentes na base de dados foram analisadas, bem como a frequência com que apareciam, conforme o procedimento descrito a seguir.

A função *conceptualStructure* do pacote *Bibliometrix* permite a aplicação do

Método de Análise de Correspondência, que é um método estatístico utilizado para análise descritiva e exploratória de grandes matrizes de dados. Esse método possibilita a visualização gráfica das relações mais importantes de um grande conjunto de variáveis categóricas (CARVALHO; STRUCHINER, 1992). A Figura 4.1 mostra o Mapa de Estrutura Conceitual, que foi construído com essa função, aplicada ao campo relacionado às palavras-chave associadas pelo banco de dados SCOPUS ou *Web of Science*.

Figura 4.1: Mapa de Estrutura Conceitual, construído pelo Método de Análise de Correspondência aplicado à base de 1245 artigos (Primeiro Protocolo).



Fonte: Acervo Pessoal.

Notou-se que um dos conjuntos obtidos com o Método de Análise de Correspondência, representado na cor roxa na Figura 4.1, possui exclusivamente conceitos relacionados à Biologia, que não é um assunto de interesse para o desenvolvimento deste trabalho.

Portanto, foram removidos os documentos contidos nesse conjunto. O código utilizado para realizar esta remoção dos 63 artigos em questão foi descrito no Apêndice A. Restaram 1182 para as análises seguintes.

Foi aplicada, então, a função *biblioAnalysis* do pacote *Bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017), para se obter as palavras-chave presentes na base de 1182 artigos. A Tabela 4.1 traz as principais palavras-chave associadas pela base de dados SCOPUS ou *Web of Science*:

Tabela 4.1: 30 palavras-chave mais citadas na base de 1182 artigos e o número de artigos que contém cada termo (Primeiro Protocolo).

Ranking	Palavra-chave	Nº de artigos
1	ADHESION	613
2	ATOMIC FORCE MICROSCOPY	542
3	SURFACE ROUGHNESS	438
4	SCANNING ELECTRON MICROSCOPY	267
5	CELL ADHESION	231
6	ARTICLE	199
7	SURFACE PROPERTY	193
8	CONTACT ANGLE	175
9	SURFACE PROPERTY	193
10	CONTACT ANGLE	175
11	TITANIUM	155
12	SURFACE PROPERTIES	153
13	FRICTION	140
14	COATINGS	138
15	MICROSCOPY	137
16	CELL PROLIFERATION	129
17	ROUGHNESS	125
18	CHEMISTRY	124
19	WETTABILITY	124
20	NANOPARTICLES	123
21	MORPHOLOGY	116
22	CONTROLLED STUDY	107
23	HYDROPHOBICITY	104
24	CELLS	102
25	PRIORITY JOURNAL	94
26	NANOTECHNOLOGY	90
27	BIOCOMPATIBILITY	88
28	TOPOGRAPHY	88
29	ATOMIC FORCE	86
30	HUMAN	83

Fonte: Acervo Pessoal.

Após minucioso exame da lista de palavras-chave, foram observados termos relacionados a áreas de estudos que não são de interesse para este trabalho. Com o propósito de refinar a base de artigos a ser analisada, foram excluídos os artigos cujas palavras-chave continham termos ou morfemas relacionados a Biologia, Processos e Transformações Químicas e Medicina, uma vez que tais âmbitos saem do escopo do presente trabalho. As palavras-chave e o código utilizado para

remove-las da base de artigos replicado no Apêndice A. Depois dessa remoção, a base de artigos passou de 1182 para 256 documentos a serem analisados, cujas principais palavras-chave passaram a ser as dispostas na Tabela 4.2:

Tabela 4.2: 30 palavras-chave mais citadas na base de 256 artigos, após a remoção de termos relacionados aos temas que não são de interesse para este trabalho e o número de artigos da base que contém cada termo (Primeiro Protocolo).

Ranking	Palavra-chave	Nº de artigos
1	ADHESION	134
2	ATOMIC FORCE MICROSCOPY	54
3	SURFACE ROUGHNESS	51
4	FRICTION	37
5	ROUGHNESS	36
6	COATINGS	27
7	SCANNING ELECTRON MICROSCOPY	22
8	CONTACT	21
9	MORPHOLOGY	21
10	SURFACE-ROUGHNESS	18
11	DEPOSITION	15
11	FILMS	15
12	TRIBOLOGY	15
13	FORCE	14
14	NANOPARTICLES	14
15	NANOTECHNOLOGY	13
16	SILICON	13
17	SURFACES	13
18	SUBSTRATES	12
19	SURFACE	12
20	ADHESION FORCES	11
21	ATOMIC-FORCE MICROSCOPY	11
22	ENERGY	11
23	PERFORMANCE	11
24	SURFACE MORPHOLOGY	11
25	AFM	10
26	DEFORMATION	10
27	FORCES	10
28	FABRICATION	9
29	HARDNESS	9
30	NANOINDENTATION	9

Fonte: Acervo Pessoal.

Foi possível assimilar, pela análise da Tabela 4.2, que o conteúdo dos artigos do conjunto selecionado parecia se aproximar do objetivo deste trabalho.

4.2.1.2 Autores

Após nova aplicação da função *biblioAnalysis* do pacote *Bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017), foram obtidas informações sobre os autores presentes na base de artigos utilizada neste trabalho. Após o refino feito até então, a base de artigos contava com 998 autores.

O índice H propõe-se a mensurar o impacto das publicações de um cientista ou acadêmico (ARIA; CUCCURULLO, 2020). Este índice se fundamenta nos trabalhos mais citados do cientista, bem como no número de citações recebidas pelo mesmo em suas demais publicações. A sintaxe utilizada para calcular o índice H dos autores mais relevantes do conjunto de documentos utilizado neste trabalho pode ser conferida no Apêndice A. Foram dispostos na Tabela 4.3 os 30 autores com maior número de citações, bem como seus respectivos índices H:

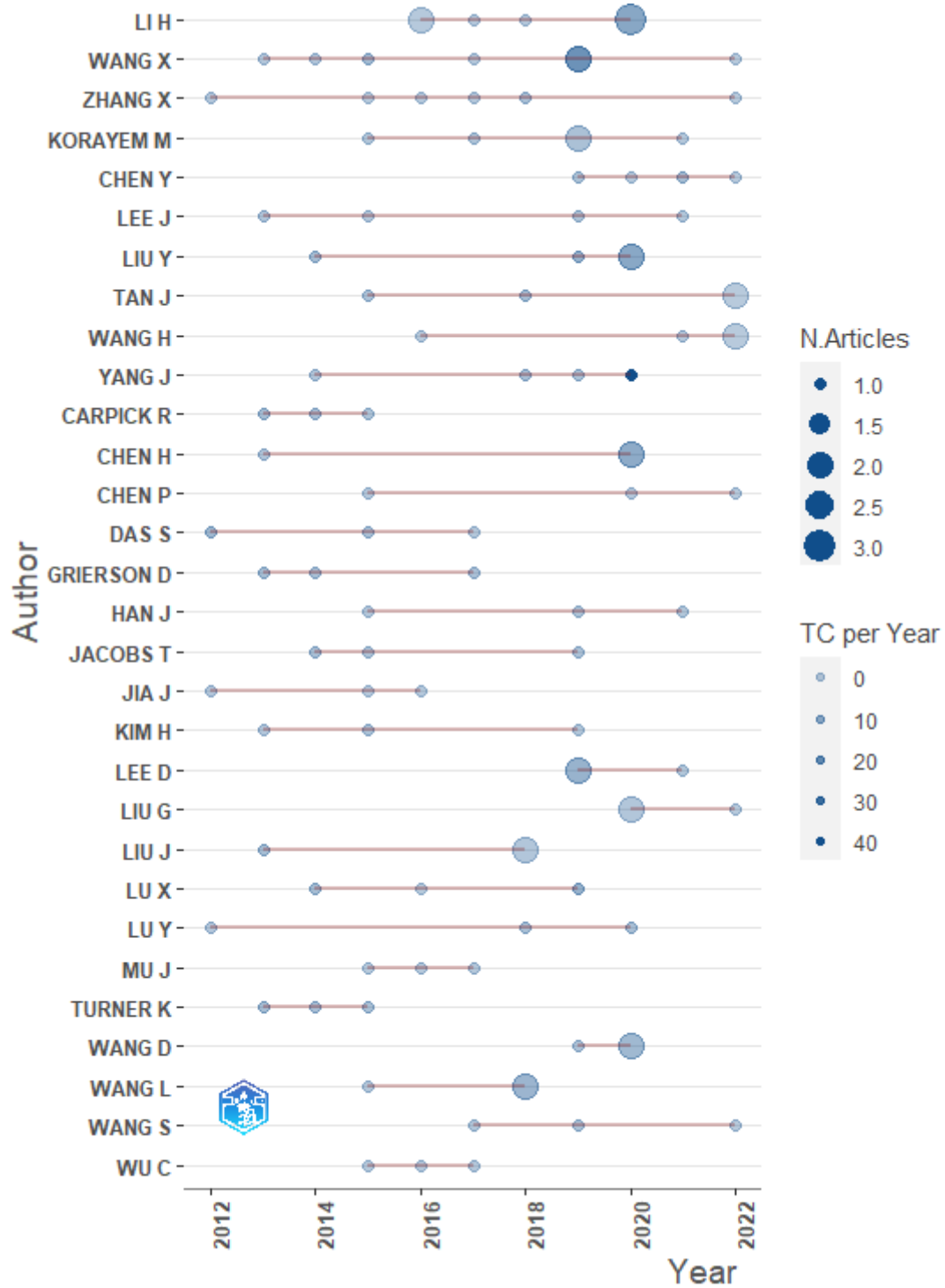
Tabela 4.3: 30 Autores com maior Índice H da base de 256 artigos e seus respectivos números de citações (Primeiro Protocolo).

Ranking	Autor	Índice H	Nº citações
1	WANG X	10	287
2	CARPICK R	7	233
3	JACOBS T	7	211
4	YANG J	7	210
5	LIU L	7	206
6	LIU Y	6	171
7	GORB S	6	112
8	HUANG Y	6	103
9	LI Y	5	268
10	TURNER K	5	217
11	WANG L	5	160
12	CHEN S	5	139
13	DAS S	5	132
14	ZHANG X	5	100
15	WANG S	5	81
16	WANG Y	5	68
17	LI H	5	65
18	KORAYEM M	5	50
19	ZHANG Q	4	195
20	GRIERSON D	4	179
21	HARRISON J	4	155
22	LIU H	4	129
23	ZHU Z	4	127
24	ISRAELACHVILI J	4	121
25	PASTEWKA L	4	108
26	LU X	4	95
27	RAMEZANZADEH B	4	93
28	CHEN H	4	86
29	LIU P	4	64
30	ZHANG J	4	63

Fonte: Acervo Pessoal.

Ainda analisando os autores mais notáveis do aglomerado de artigos explorado neste trabalho, os 30 autores mais produtivos ao longo do tempo foram ordenados pela função *AuthorProdOverTime* do *Bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017). Esta função permite analisar suas respectivas produções acadêmicas ao longo dos últimos anos. A aplicação desta função pode ser conferida no Apêndice A. Os resultados obtidos foram dispostos na Figura 4.2:

Figura 4.2: 30 autores da base de 256 artigos mais produtivos ao longo do tempo, com número de artigos publicados e número de citações por ano (Primeiro Protocolo).



Fonte: Acervo Pessoal.

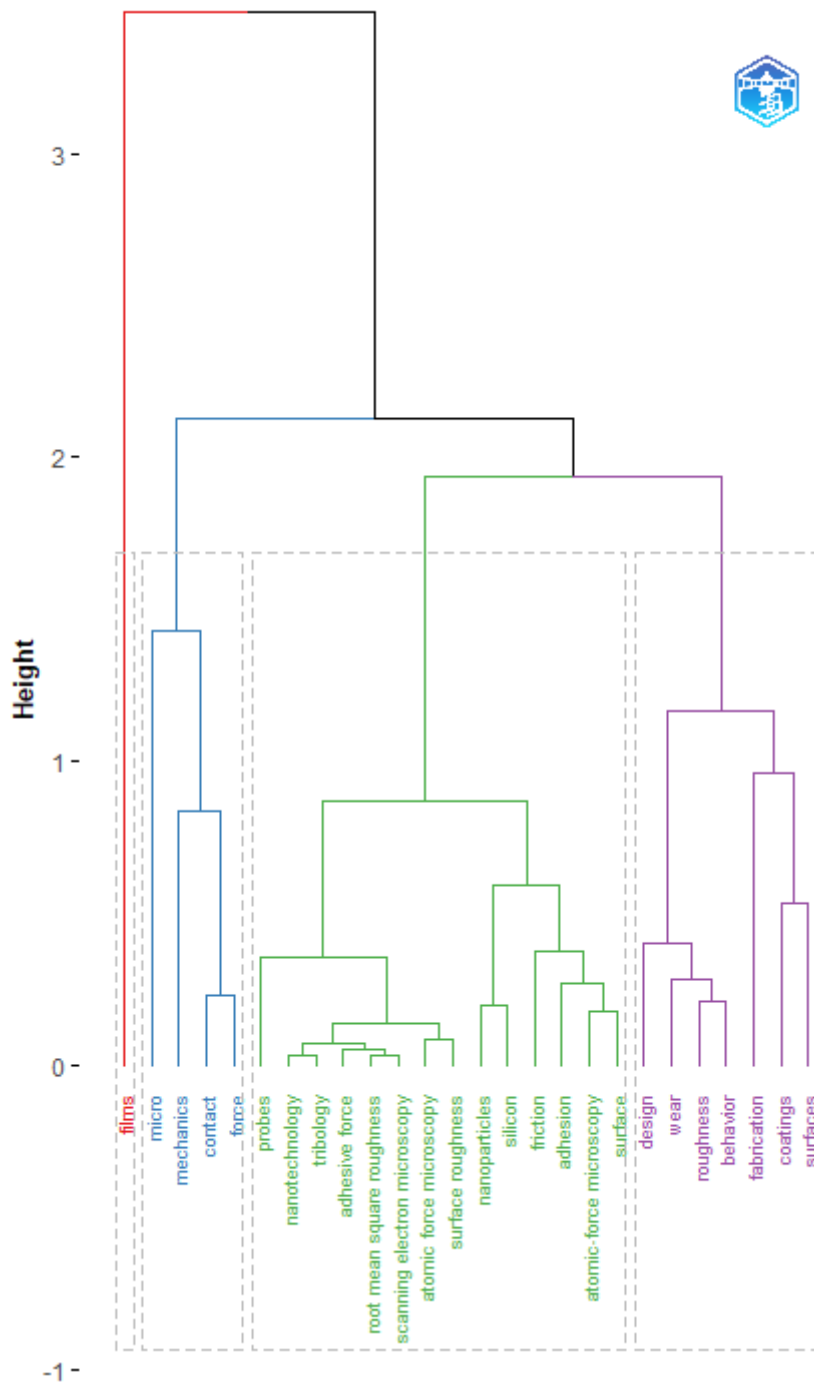
Conforme protocolo estabelecido na Fase 2 deste trabalho, a relevância do autor, medida pelas metodologias aqui aplicadas, trata-se de um dos critérios para seleção dos artigos a serem revisados. Considerou-se tanto a quantidade de citações por autor, quanto sua produtividade ao longo dos últimos dez anos. Isto porque partiu-se do pressuposto que autores mais citados são mais relevantes e que trabalhos mais recentes trariam consigo o que já se sabe sobre o assunto.

Foram selecionados os trabalhos dos autores em comum entre as duas listas, que são: Li H., Wang X., Zhang X., Korayem M., Liu Y., Yang J., Carpick R., Chen H., Das S., Grierson D., Jacobs T., Lu X., Turner K., Wang L. e Wang S. Após esse refino, restaram apenas 42 artigos a serem analisados. O procedimento adotado para realizar tal seleção foi descrito no Apêndice A.

4.2.1.3 Estrutura Conceitual

Foi construído o dendograma da Figura 4.3 através da utilização da função *conceptualStructure* do pacote de Aria, Cuccurullo (2017). Essa função agrupou os documentos da base de 42 artigos selecionados anteriormente, levando em consideração as palavras-chave correlatas:

Figura 4.3: Dendrograma das principais palavras-chave da base de 42 artigos selecionados, separadas por conjuntos de acordo com a Análise de Estrutura Conceitual (Primeiro Protocolo).



Fonte: Acervo Pessoal.

Após análise da Figura 4.3, notou-se que as palavras-chave contidas no conjunto representado pela cor verde se aproximavam do assunto de interesse deste trabalho. Assim, os resumos dos 10 artigos que compunham o conjunto foram brevemente apreciados e apenas 3 de fato coincidiam com a temática. Todos os 10 artigos analisados foram removidos da base e restaram 32 para as explorações seguintes. O Apêndice A esclarece como foi feito este procedimento.

4.2.1.4 Nanopartículas

Após o resultado obtido na fase anterior, houve aprendizado de que seria preciso salientar as partículas, dado que a base de artigos selecionada até aqui poderia conter estudos relacionados à adesivos. Foram separados, então, os artigos que continham em suas palavras-chave termos correlacionados à partículas e escala nanométrica. O código utilizado neste procedimento foi replicado no Apêndice A. A base de artigos selecionada passou de 32 para 15 documentos, cujos resumos foram brevemente explorados. Ao final desta averiguação, foi evidenciada a inadequação do ritual adotado até então para o assunto ao qual o presente trabalho se destina, dado que os artigos restantes pouco se aproximavam do assunto de interesse. Isto posto, foi identificada a necessidade de desenvolvimento e aplicação de um novo protocolo.

4.2.2 Segundo Protocolo

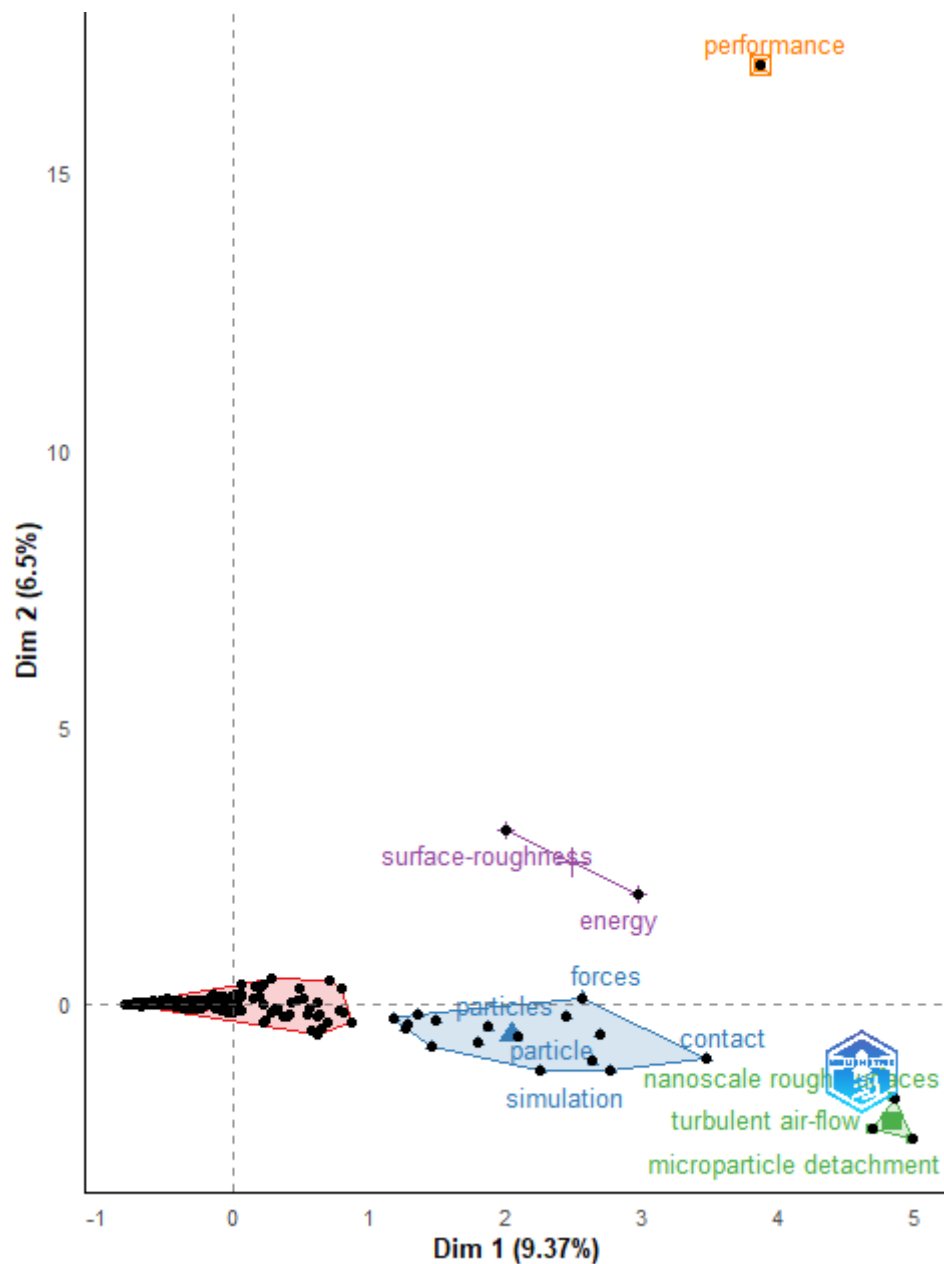
Constatado o insucesso da primeira proposta de trabalho, foi desenvolvido então o Segundo Protocolo, inteiramente voltado para a análise de palavras-chave.

Para tanto, foi aplicada a função *biblioAnalysis* do pacote de Aria, Cuccurullo (2017) à base de 1245 artigos extraída de *Web Of Science* e SCOPUS. As palavras-chave foram analisadas e, tendo em vista que considerável número de artigos que foram selecionados após a aplicação do Primeiro Protocolo eram relacionados à camadas adesivas, foram excluídos os artigos que continham termos associados à esse assunto. O código empregado nessa remoção e os termos removidos foram dispostos no Apêndice A. A base de artigos passou então a conter 989 documentos.

A fim de selecionar apenas estudos referentes à partículas e nanopartículas, foi aplicada novamente a função *biblioAnalysis* do pacote de Aria, Cuccurullo (2017), desta vez à base de 989 artigos resultante do procedimento anterior. As palavras-chave pertinentes a tal seleção foram filtradas e a base de dados passou a conter 211 artigos. Este procedimento, bem como os termos empregados, foram descritos no Apêndice A.

Mediante aplicação da função *conceptualStructure* do pacote de Aria, Cuccurullo (2017) à base de 211 artigos, foi obtido o Mapa de Estrutura Conceitual da Figura 4.4:

Figura 4.4: Mapa de Estrutura Conceitual, construído através da aplicação do Método de Análise de Correspondência, para a base de 211 artigos (Segundo Protocolo).



Fonte: Acervo Pessoal.

Da análise da Figura 4.4, compreendeu-se que o conjunto de artigos que mais se aproxima do tema desejado foi representado pela cor verde. Esse conjunto foi então brevemente analisado e, dos 10 artigos que o compunham, foram identificados 6 artigos cujos temas se relacionam com o do presente trabalho. Ainda considerando os termos que levaram à seleção dos artigos do conjunto verde da

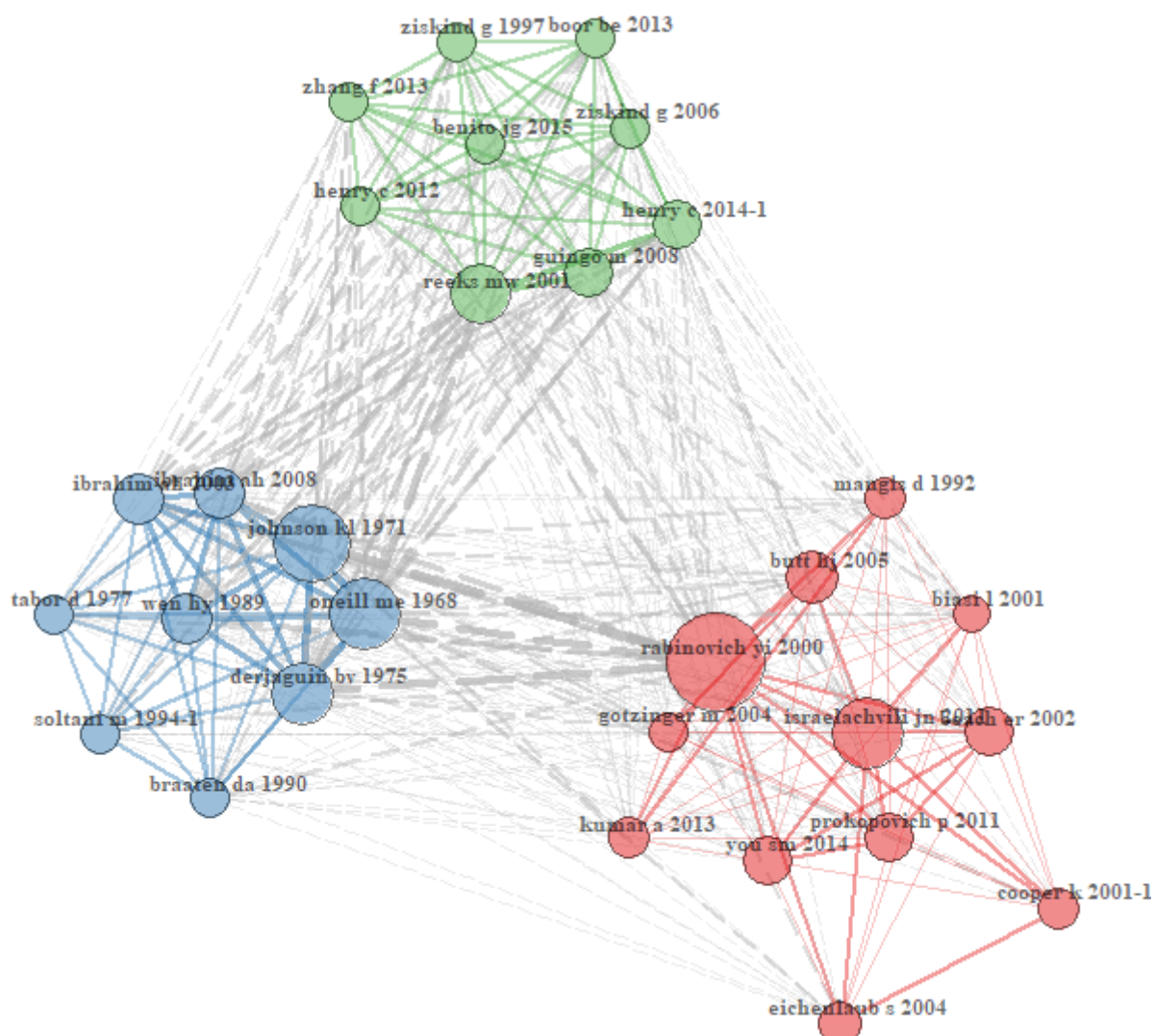
Figura 4.4, foram filtrados registros que continham palavras relacionadas ao destacamento de partículas e a fluxos de fluidos. Foram encontrados 12 artigos, que tiveram seus resumos analisados e 5 foram selecionados para posterior análise robusta. O código empregado neste procedimento foi reproduzido no Apêndice A.

Por fim, foi compilada a base de 11 artigos selecionados para extração e análise.

4.2.3 Referências

A Rede de Cocitação de Referências da Figura 4.5, construída através da função *biblioNetwork* (ARIA; CUCURULLO, 2017) traz as principais fontes citadas no conjunto de artigos analisados. Cada fonte foi representada por um círculo que, quanto maior o raio, maior a quantidade de vezes que a respectiva fonte foi citada. Esta rede contextualiza a conexão entre as fontes apontadas nos artigos e possibilita a visualização das raízes do campo de pesquisa.

Figura 4.5: Rede de Cocitação de referências da base de 11 artigos (Segundo Protocolo).



Fonte: Acervo Pessoal.

As fontes mais citadas foram então brevemente analisadas. Foram selecionados para tal análise apenas os originais que correspondessem a artigos disponíveis para acesso no portal da CAPES e que fossem claramente relacionados ao fenômeno da adesão de nanopartículas. Foram selecionados, então, os artigos dispostos na Tabela 4.4. Cada artigo recebeu um número identificador, a fim de facilitar a posterior descrição das análises feitas.

Tabela 4.4: Fontes selecionadas para análise.

Identificador	Artigo	Nº citações
1	<i>Force measurements with the atomic force microscope: Technique, interpretation and applications</i> (BUTT; CAPPELLA; KAPPI, 2005)	2575
2	<i>Adhesion between Nanoscale Rough Surfaces: I. Role of Asperity Geometry</i> (RABINOVICH; ADLER; ATA; SINGH; MOUDGIL, 2000)	407
3	<i>Pull-off Force Measurements between Rough Surfaces by Atomic Force Microscopy</i> (BEACH; TORMOEN; DRELICH; HAN, 2002)	155
4	<i>Simulation of the Adhesion of Particles to Surfaces</i> (COOPER; GUPTA; BEAUDOIN, 2001)	138
5	<i>Progress in particle resuspension from rough surfaces by turbulent flows</i> (HENRY; MINIER, 2014)	109
6	<i>Roughness models for particle adhesion</i> (EICHENLAUB; GELB; BEAUDOIN, 2004)	90
7	<i>Effect of contact deformations on the adhesion of particles</i> (DERJAGUIN; MULLER; TOPOROV, 1994)	73
8	<i>Adhesion models: From single to multiple asperity contacts</i> (PROKOPOVICH; STAROV, 2011)	68
9	<i>Experiments and validation of a model for microparticle detachment from a surface by turbulent air flow</i> (IBRAHIM; DUNN; QAZI, 2008)	56
10	<i>Adhesion of tungsten particles on rough tungsten surfaces using Atomic Force Microscopy</i> (PEILLON; AUTRICQUE; REDOLFI; STANCU; GENSDARMES; GRISOLIA; PLU-CHERY, 2019)	26

Fonte: Acervo Pessoal.

4.3 FASE 5: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS ESTUDOS

Na Fase 5 da produção da revisão sistemática, segundo o método de Tranfield, Denyer, Smart (2003), deve ser feita a avaliação da qualidade dos materiais que serão incluídos no trabalho.

A análise do fator de impacto do periódico em que o artigo foi publicado foi definido na Fase 2 como critério de exclusão do presente trabalho. Este parâmetro foi escolhido partindo do pressuposto que periódicos de elevado fator de impacto exigem que as publicações tenham seguido rigor científico, o que faz com que os resultados obtidos sejam confiáveis, replicáveis e sem viés.

O fator de impacto de periódicos científicos indexados ao *Institute for Scientific Information* vem sendo publicado pelo *Journal of Citation Reports* todos os anos, a partir de 1972. O JCR reúne os dados do *Science Citation Index* (SCI), *Social Sciences Citation Index* (SSCI) e *Arts and Humanities Citation Index* (AHCI), todos publicados pelo *Institute for Scientific Information*. As informações são organizadas no sentido de revelar o número de citações dos artigos publicados nele próprio e nos demais periódicos indexados, naquele ano. Por exemplo, o fator de impacto de uma revista em 1996 é calculado da seguinte maneira: Número de citações no *Science Citation Index* em 1996 para os artigos publicados em

1994 e em 1995, dividido pelo número de artigos que a revista publicou nestes dois anos. Assim, se a revista publicou 115 e 120 artigos, respectivamente, em 1994 e em 1995, e se estes artigos foram citados 200 vezes em 1996, o fator de impacto dessa revista é $200/235$, ou seja o seu Fi em 1996 é igual a 0,851. (PINTO; ANDRADE, 1999).

Foram obtidos os periódicos nos quais os artigos selecionados foram publicados. A Tabela 4.5 traz estes veículos, bem como seus respectivos fatores de impacto em 2021. Na Tabela 4.5 também há o número de artigos da base que foram neles publicados:

Tabela 4.5: Periódicos nos quais foram publicadas as principais referências, ordenados por quantidade de trabalhos da base.

Periódico	Nº de artigos	Fator de Impacto
<i>Journal of Colloid and Interface Science</i>	4	9,965
<i>Journal of Aerosol Science</i>	2	4,586
<i>Progress in Energy and Combustion Science</i>	1	35,339
<i>Advances in Colloid and Interface Science</i>	1	15,19
<i>Surface Science Reports</i>	1	13,417
<i>Progress in Surface Science</i>	1	7,111

Fonte: Acervo Pessoal.

Os valores de fator de impacto foram obtidos no Portal da CAPES.

Seguindo o critério estabelecido na Fase 2, os artigos analisados foram publicados em periódicos com bons valores de fator de impacto. Assim, nenhum foi excluído das análises seguintes.

4.4 FASE 6: EXTRAÇÃO DOS DADOS

A Fase 6 do protocolo de Tranfield, Denyer, Smart (2003) pressupõe que seja feita a extração dos dados e a efetiva leitura dos trabalhos. Os artigos selecionados na fase anterior foram identificados e extraídos na íntegra do portal Web Of Science. A leitura foi feita e as análises foram registradas na seção seguinte.

4.5 FASE 7: SÍNTESE DOS DADOS

Na Fase 7 do protocolo de Tranfield, Denyer, Smart (2003), devem ser feitas a síntese e a análise dos estudos selecionados.

4.5.1 Citações

Da análise da Tabela 4.4, foi possível identificar que os artigos da base possuem números elevados de citações. Isso faz sentido uma vez que os artigos foram escolhidos por serem referências em comum entre trabalhos mais recentes sobre o assunto, e definidos como raízes de uma área do conhecimento pela Rede de Cocitação de Referências da Figura 4.5.

4.5.2 Fator de Impacto

Da análise da Tabela 4.5, notou-se que o periódico *Journal of Colloid and Interface Science* destaca-se por ter publicado o maior volume de artigos do conjunto analisado, o que sugere que se trata do veículo que mais publica sobre o fenômeno de forças de adesão. Desta forma, caso se deseje publicar um trabalho sobre o tema, esse periódico poderia ser priorizado. Entretanto, *Progress in Energy and Combustion Science* é o periódico com maior fator de impacto da Tabela 4.5, e trabalhos publicados em periódicos de elevado fator de impacto conseguem maior visibilidade. Desta forma, a idealidade de um periódico para publicação sobre o tema se dá pelas prioridades estabelecidas pelo autor.

4.5.3 Autores

Os autores presentes na base de artigos selecionada para análise praticamente não se repetem entre si. Este fato não surpreende, dado que a base de referências engloba o período entre 2000 e 2019 e foram selecionados os artigos considerados como principais raízes do conhecimento no assunto. Não era esperado se encontrar um autor especialista em adesão, uma vez que os trabalhos

em questão seriam supostamente os pioneiros. Isto posto, a identificação de um centro de pesquisa ou autor especializado no assunto deveria ser feita através da análise do estado atual da área de conhecimento.

4.5.4 Palavras-chave

A Tabela 4.6 traz as palavras-chave mais utilizadas pelos trabalhos analisados:

Tabela 4.6: 5 palavras-chave mais importantes, que se repetem na base de referências analisada.

Palavra-chave	Nº repetições
<i>Adhesion</i>	5
<i>Atomic Force Microscopy</i> ou AFM	5
<i>Roughness</i>	3
<i>Detachment</i>	2
<i>Particle Adhesion</i>	2
<i>Surface Roughness</i>	2

Fonte: Acervo Pessoal.

O conjunto de palavras-chave da Tabela 4.6 permite concluir que os termos aplicados na pesquisa inicial foram corretamente escolhidos e atenderam ao que se esperava obter ao final do refino das buscas.

4.5.5 Centros de Pesquisa

Da aplicação da função *biblioAnalysis* do pacote de Aria, Cuccurullo (2017), foi obtida a frequência com que a afiliação de cada autor foi apresentada na base de estudos analisada. Os resultados obtidos foram dispostos na Tabela 4.7:

Tabela 4.7: Centros de Pesquisa dos trabalhos analisados e a quantidade de autores a eles afiliados

Centro de Pesquisa	Frequência
ARIZONA STATE UNIV	4
CARDIFF UNIV	3
UNIV FLORIDA	3
FED INST MAT RES AND TESTING	2
INST FLUID FLOW MACHINERY	2
MICHIGAN TECHNOL UNIV	2
PURDUE UNIV	2
INST PHYS CHEM	1
MAX PLANCK INST POLYMER RES	1
NATL INST LASERS PLASMA AND RADIAT PHYS	1
POWER GENERAT AND ENVIRONM	1
PSN RES SCA	1
SORBONNE UNIV	1
UNIV LEEDS	1
UNIV LOUGHBOROUGH	1

Fonte: Acervo Pessoal.

Da análise da Tabela 4.7, constatou-se que os centros de pesquisa aos quais eram afiliados os autores mais citados que estudam o fenômeno de adesão encontram-se nos Estados Unidos da América, França, Alemanha, Polônia e Reino Unido, sendo o primeiro o país que apareceu com maior frequência, com 5 centros de pesquisa. Desta observação, entendeu-se que caso se deseje fazer uma parceria com alguma universidade para estudar o assunto, os Estados Unidos da América é o país que possui maior quantidade de autores e centros de pesquisa especializados.

4.5.6 Tipo de Trabalho

A base de trabalhos selecionada para ser analisada continha 7 artigos ([2], [3], [5], [6], [8], [9] e [10]) e 3 revisões ([1], [4] e [7]).

4.5.7 Métodos de Medição

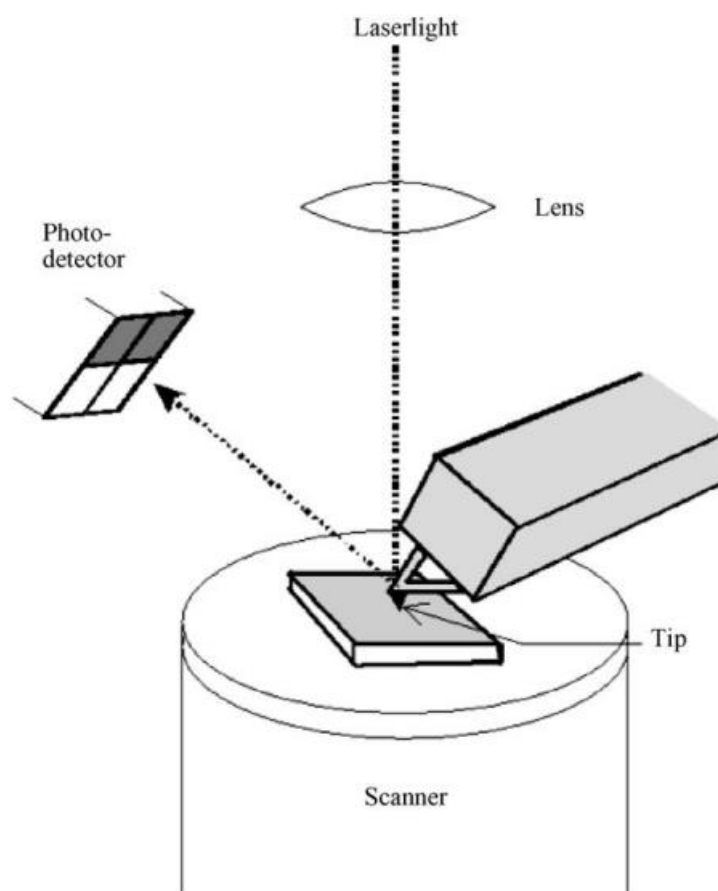
4.5.7.1 Microscopia de Força Atômica (AFM)

A Microscopia de Força Atômica (AFM) trata-se de um método que permite medir a curva de força *versus* distância entre corpos em contato, que carrega consigo diversas informações sobre propriedades locais do material, como elasticidade, dureza e constante de Hamaker. Esta técnica tem sido aplicada sobretudo no estudo de superfícies (BUTT; CAPPELLA; KAPPI, 2005). Ao longo dos anos, a AFM se tornou um método confiável para confrontar modelos teóricos, através de medidas quantitativas de forças de adesão (PEILLON; AUTRICQUE; REDOLFI; STANCU; GENSDARMES; GRISOLIA; PLU-CHERY, 2019). Este método de medição foi abordado em 8 dos 10 documentos estudados no presente trabalho ([1], [2], [4], [5], [6], [8], [9] e [10]).

O artigo [1] do conjunto analisado trata-se de uma revisão sobre técnica, interpretação e aplicação de medições de força por AFM. De acordo com Butt, Cappella, Kappi (2005), a medição de curvas de força por AFM tem aplicação em diversas áreas de pesquisa, como engenharia de materiais, biologia e, claro, a ciência de superfícies. As interações entre partículas e líquidos, estabilização de dispersões, adesão de superfícies e partículas em geral são mais algumas das aplicações da AFM citadas pelos autores.

De acordo com Butt, Cappella, Kappi (2005), o funcionamento de um microscópio de força atômica pode ser ilustrado pela Figura 4.6. A amostra a ser analisada é escaneada por uma ponteira, montada em uma mola cantilever. Ao longo do processo de varredura, é medida a força entre a ponteira e a amostra, por meio do monitoramento da deflexão do cantilever. Por fim, a imagem topográfica da amostra é obtida pelo traço da deflexão do cantilever *versus* sua localização na amostra.

Figura 4.6: Ilustração esquemática de um microscópio de força atômica.



Fonte: Butt, Cappella, Kappi (2005).

Até o desenvolvimento do trabalho de Butt, Cappella, Kappi (2005), os autores relataram que na maioria das aplicações, as imagens eram obtidas a partir da repulsão de alcance muito curto, fenômeno que ocorre quando os orbitais de elétrons da ponta se sobrepõem aos orbitais de elétrons da amostra. Porém, também podem ser observadas outras interações para investigar as propriedades de interesse. No caso das medições de força por AFM, a ponta fixada à mola cantilever é movida na direção normal à amostra, de modo que a deflexão vertical do cantilever é gravada e convertida em curvas de força.

No artigo [9], de Ibrahim, Dunn, Qazi (2008), é estudado o desprendimento de partículas pela aplicação de um fluxo turbulento de ar. A AFM é aplicada para quantificar a rugosidade efetiva na interface partícula/superfície.

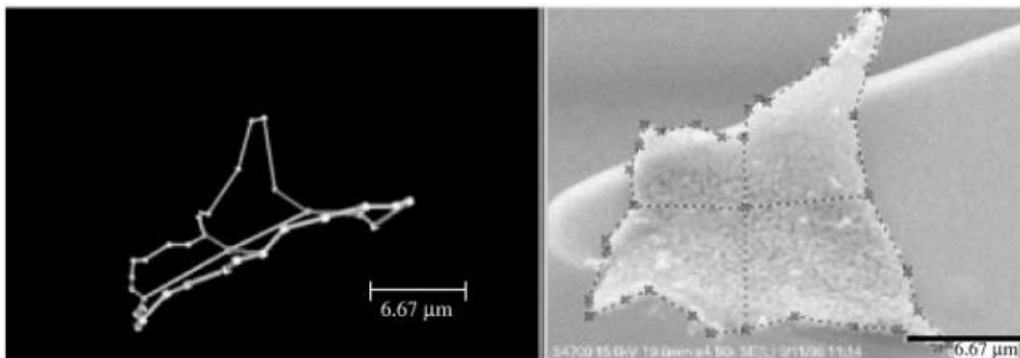
O artigo [7], de Derjaguin, Muller, Toporov (1994), se propõe estudar um modelo de atração molecular entre uma esfera e um plano. Neste estudo,

constatou-se que surgem forças de van der Waals entre os corpos em contato, o que provoca aumento da área de contato elástico. Entretanto, foi demonstrado que a força necessária para romper este contato permanece igual à força de atração entre o ponto de contato da esfera com a superfície plana. Tais conclusões foram obtidas por meio de medições efetuadas com AFM.

No artigo [3], de Beach, Tormoen, Drelich, Han (2002), foi apresentada uma aplicação direta da AFM para medição de força de adesão de partículas de fármacos, que possuíam geometria irregular, e superfícies poliméricas. Por conta da natureza irregular da geometria das partículas, a existência de mais de um ponto de contato entre partícula e superfície é provável, e o fato de existir mais de um local de contato faz com que o destacamento ocorra em diferentes pontos da curva de força *versus* distância. A consequência disso é uma curva de força com mais de um ponto de mínimo na curva de retração, fenômeno que já é discutido na literatura.

No artigo [4], sobre simulação de adesão (COOPER; GUPTA; BEAUDOIN, 2001), foi aplicada a medição por AFM a uma partícula de alumina, que pode ser visto na Figura 4.7, no qual a imagem à direita foi a obtida e a imagem à esquerda é a reconstrução em três dimensões da mesma partícula:

Figura 4.7: Exemplo de aplicação da AFM, do artigo [4]: caracterização de uma partícula de alumina.



Fonte: Cooper, Gupta, Beaudoin (2001).

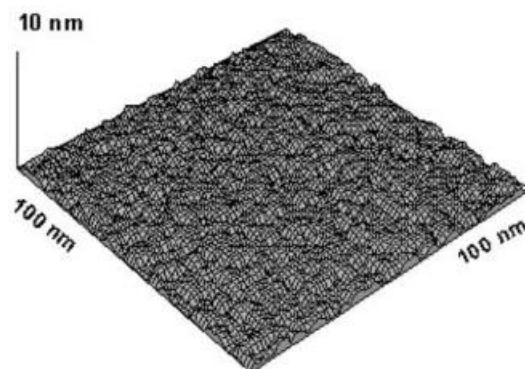
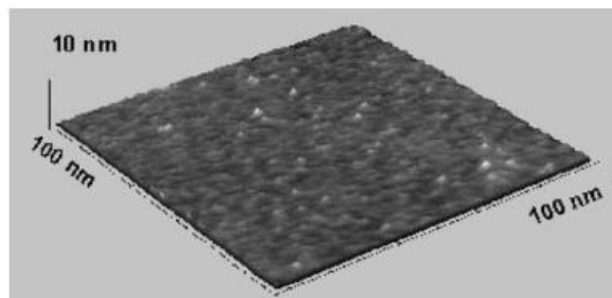
Da mesma forma, no artigo [6], a AFM foi aplicada para caracterização de superfícies de diferentes materiais, conforme a Figura 4.8. A tabela lista os parâmetros de rugosidade para cada um dos materiais estudados pelo autor, a imagem central é a representação tridimensional de uma superfície de dióxido de

silício caracterizada por AFM e a imagem inferior é o modelo de aspereza hemisférica para esta superfície:

Figura 4.8: Exemplo de aplicação da AFM, do artigo [6]: caracterização da rugosidade de superfícies de diferentes materiais.

Hemispherical asperity parameters for each surface studied

Material	Average asperity height (nm)	Standard deviation of asperity height (nN)	Fractional coverage (%)
Silicon dioxide	1.3	0.7	38
Tungsten	0.8	0.3	82
Alumina	9.8	8.6	95
Copper	1.8	0.8	58
Rough copper	13.4	9.2	78
PTFE	280	185	97
Parylene	30	22	92



Fonte: Eichenlaub, Gelb, Beaudoin (2004)

4.5.8 Modelos Teóricos

4.5.8.1 Teoria de Hamaker (1937)

A teoria de Hamaker é citada nos artigos [1], [4], [5], [6], [7] e [10]. Essa teoria refere-se às interações aditivas entre pares de átomos de superfícies em contato. As superfícies são perfeitamente lisas, o que faz com que a menor distância entre elas seja o comprimento intermolecular (PEILLON; AUTRICQUE; REDOLFI; STANCU; GENSDARMES; GRISOLIA; PLU-CHERY, 2019).

Destaca-se que o modelo de Hamaker considera que os objetos em contato são macroscópicos e não deformáveis (PEILLON; AUTRICQUE; REDOLFI; STANCU; GENSDARMES; GRISOLIA; PLU-CHERY, 2019), e não átomos ou moléculas isolados (BUTT; CAPPELLA; KAPPI, 2005). Essa observação é de grande importância porque para que seja possível modelar as interações que acontecem entre as superfícies com AFM, as forças de van der Waals entre corpos macroscópicos podem ser calculadas via integração, quando são aditivas (BUTT; CAPPELLA; KAPPI, 2005). Todas as leis de interação entre os corpos dependem da geometria dos mesmos, da constante de Hamaker que engloba todas as informações físico-químicas e da distância entre os objetos (BUTT; CAPPELLA; KAPPI, 2005). Essa constante pode ser obtida pela Equação 4.1:

$$A_H = \pi^2 C \rho_1 \rho_2 \quad (4.1)$$

Em que A_H é a constante de Hamaker, C é a constante no potencial do par átomo-átomo, ρ_1 e ρ_2 são o número de átomos por unidade de volume.

O trabalho de Butt, Cappella, Kappi (2005) traz uma tabela com as leis de interação obtidas via integração usando a aproximação de Derjaguin para geometrias comuns. A Equação que descreve a interação entre uma esfera e uma superfície plana também é explorada no trabalho de Peillon, Autricque, Redolfi, Stancu, Gensdarmes, Grisolia, Plu-Chery (2019):

$$F_{vdW} = -\frac{A_H R_p}{6z_0^2} \quad (4.2)$$

Em que F_{vdW} é a força de van der Waals entre a esfera e a superfície lisa, A_H é a constante de Hamaker, z_0 é a menor distância entre os corpos e R_p é o raio da partícula esférica.

Como o modelo assume que as forças de van der Waals são aditivas, a influência dos átomos que se encontram ao redor dos que estão interagindo é desprezada, o que faz com que o cálculo da constante de Hamaker (A_H) sofra com grandes erros (BUTT; CAPPELLA; KAPPI, 2005). Para contornar este problema, outros modelos foram desenvolvidos. Segundo Peillon, Autricque, Redolfi, Stancu, Gensdarmes, Grisolia, Plu-Chery (2019), um destes modelos é o de Rumpf (1990), que integra a geometria do problema e o efeito da rugosidade ao modelo de Hamaker.

Além disso, a maioria das abordagens que utilizam o modelo de Hamaker apenas consideram a contribuição das forças de van der Waals para o fenômeno da força de adesão (HENRY; MINIER, 2014). Entretanto, alguns trabalhos como o de Machry, Souza, Aguiar, Bernardo (2022) identificaram que as forças de adesão podem variar com o pH do meio.

4.5.8.2 Modelo de Rumpf (1990)

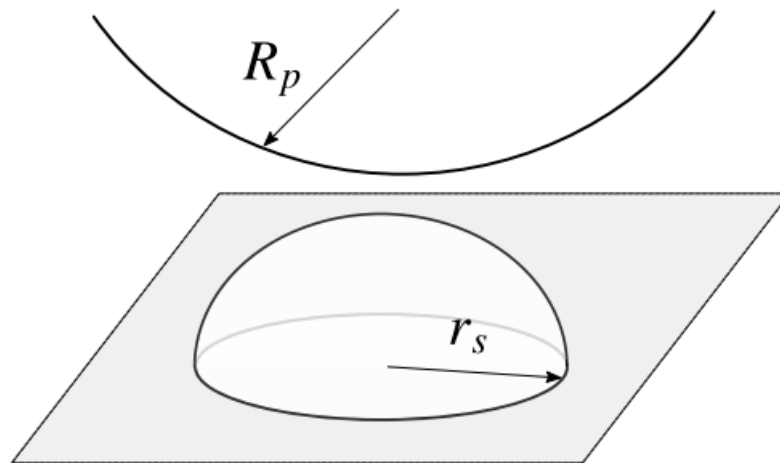
Um dos modelos de força de adesão mais utilizados para rugosidades em nanoescala é o modelo de Rumpf (RABINOVICH; ADLER; ATA; SINGH; MOUDGIL, 2000). Segundo Peillon, Autricque, Redolfi, Stancu, Gensdarmes, Grisolia, Plu-Chery (2019), este modelo consiste em dois termos que descrevem completamente a interação de van der Waals entre uma partícula esférica e uma aspereza hemisférica: o primeiro que representa o contato entre a partícula e a aspereza, e o segundo que representa interações sem contato. Obtém-se então a força correspondente à interação de van der Waals pela Equação 4.3:

$$F_{vdW} = \frac{A_H R_p}{6z_0^2} \left[\frac{r_s R_p}{r_s + R_p} + \frac{R_p}{\left(1 + \frac{r_s}{z_0}\right)} \right] \quad (4.3)$$

Em que F_{vdW} corresponde à força de van der Waals entre a partícula e a superfície à qual ela se encontra aderida, A_H é a constante de Hamaker, r_s é o raio da aspereza da superfície, R_p é o raio da partícula aderida e z_0 é a menor distância entre as superfícies.

Este modelo baseia-se no contato de uma única aspereza hemisférica centrada na superfície, que interage com uma partícula de raio consideravelmente maior, ao longo de uma linha normal à superfície que conecta ambos os centros (RABINOVICH; ADLER; ATA; SINGH; MOUDGIL, 2000), conforme representação da Figura 4.9:

Figura 4.9: Ilustração esquemática da geometria proposta por Rumpf para a interação entre uma partícula esférica de raio R_p aderida à uma superfície rugosa, com uma aspereza hemisférica de raio r_s .



Fonte: Peillon, Autricque, Redolfi, Stancu, Gensdarmes, Grisolia, Plu-Chery (2019).

Conforme apontado por Rabinovich, Adler, Ata, Singh, Moudgil (2000), este modelo a pressupõe de que o centro da aspereza hemisférica se encontra na superfície é, geralmente, simplificar demais substratos reais, principalmente no caso de superfícies com baixa rugosidade. Rabinovich também notou que o raio da

aspereza é de difícil medição, enquanto que o usual método AFM cumpre com precisão a tarefa de medir altura e a rms da rugosidade da superfície (PEILLON; AUTRICQUE; REDOLFI; STANCU; GENSDARMES; GRISOLIA; PLU-CHERY, 2019). Rabinovich, Adler, Ata, Singh, Moudgil (2000) propuseram então a relação entre o raio da aspereza (r_s) e a rms da rugosidade, conforme a Equação 4.4:

$$r_s = 1,485 \times rms \quad (4.4)$$

Substituindo 4.4 em 4.3, obtém-se o modelo de Rumpf modificado (PEILLON; AUTRICQUE; REDOLFI; STANCU; GENSDARMES; GRISOLIA; PLU-CHERY, 2019), conforme a Equação 4.5:

$$F_{vdW} = \frac{A_H R_p}{6z_0^2} \left[\frac{1}{1 + \frac{R_p}{1,485 \times rms}} + \frac{1}{\left(1 + \frac{1,485 \times rms}{z_0}\right)^2} \right] \quad (4.5)$$

Quando se considera mais de uma escala de rugosidade, a rugosidade global equivalente é calculada pela Equação 4.6:

$$rms = \sqrt{rms_1^2 + rms_2^2} \quad (4.6)$$

Em que rms_1^2 e rms_2^2 são as rms das distâncias pico a pico longa e curta das asperezas, respectivamente (RABINOVICH; ADLER; ATA; SINGH; MOUDGIL, 2000).

4.5.8.3 Modelo de Rabinovich (2000)

O artigo no qual Rabinovich, Adler, Ata, Singh, Moudgil (2000) descrevem o desenvolvimento de seu modelo é uma das referências estudadas pelo presente trabalho. Após aplicação de AFM, a fim de se realizar uma investigação detalhada da morfologia de superfícies com rugosidades em pequena escala, os autores concluíram que a geometria do modelo de Rumpf não descreve precisamente

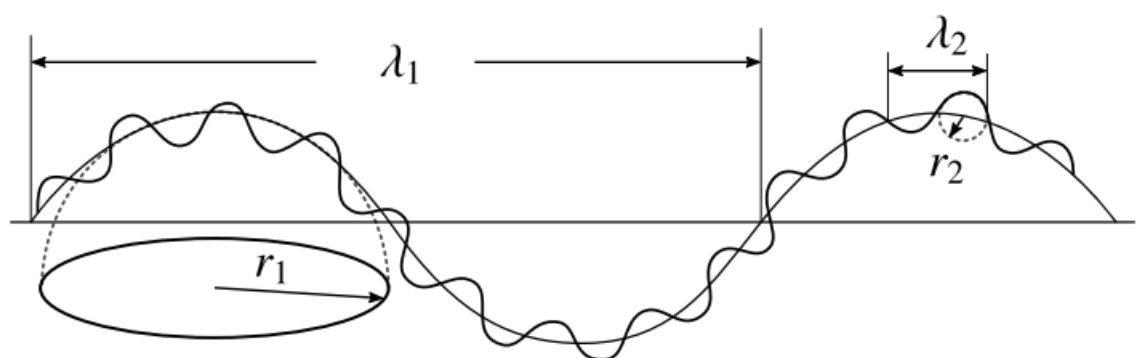
superfícies com rugosidade nanométrica. Assim, se propuseram a desenvolver mais sobre a geometria da superfície.

Para Rabinovich, Adler, Ata, Singh, Moudgil (2000), à medida em que a rugosidade da superfície diminui, o raio da aspereza aumenta. Assim, no limite em que uma superfície tem rugosidade próxima de zero, o raio da aspereza tende ao infinito, o que resulta numa superfície plana. Para que este modelo seja válido, a aspereza ainda deve ser considerada esférica e seu centro deve estar em alguma região abaixo da superfície, de modo que a altura da aspereza seja equivalente ao raio do modelo geométrico de Rumpf, da Figura 4.9.

Combinado à altura das asperezas, foi definida a distância λ entre elas. O trabalho de Rabinovich, Adler, Ata, Singh, Moudgil (2000) também trouxe à tona que, em superfícies comuns, a rugosidade é composta não só por nanoasperezas, mas também por asperezas em microescala, com distâncias λ pico a pico muito maiores que as das asperezas em escala nanométrica (PEILLON; AUTRICQUE; REDOLFI; STANCU; GENSDARMES; GRISOLIA; PLU-CHERY, 2019).

A Figura 4.10 representa a geometria da superfície composta por mais de uma escala de rugosidade, em que o raio da maior aspereza é r_1 enquanto que o raio da menor aspereza é r_2 , a distância pico a pico é λ_1 para a escala maior e λ_2 para a escala menor:

Figura 4.10: Ilustração esquemática da geometria proposta por Rabinovich para a superfície composta por rugosidade em duas escalas.



Fonte: Peillon, Autricque, Redolfi, Stancu, Gensdarmes, Grisolia, Plu-Chery (2019)

Adicionando ambas as escalas de rugosidade da superfície caracterizadas

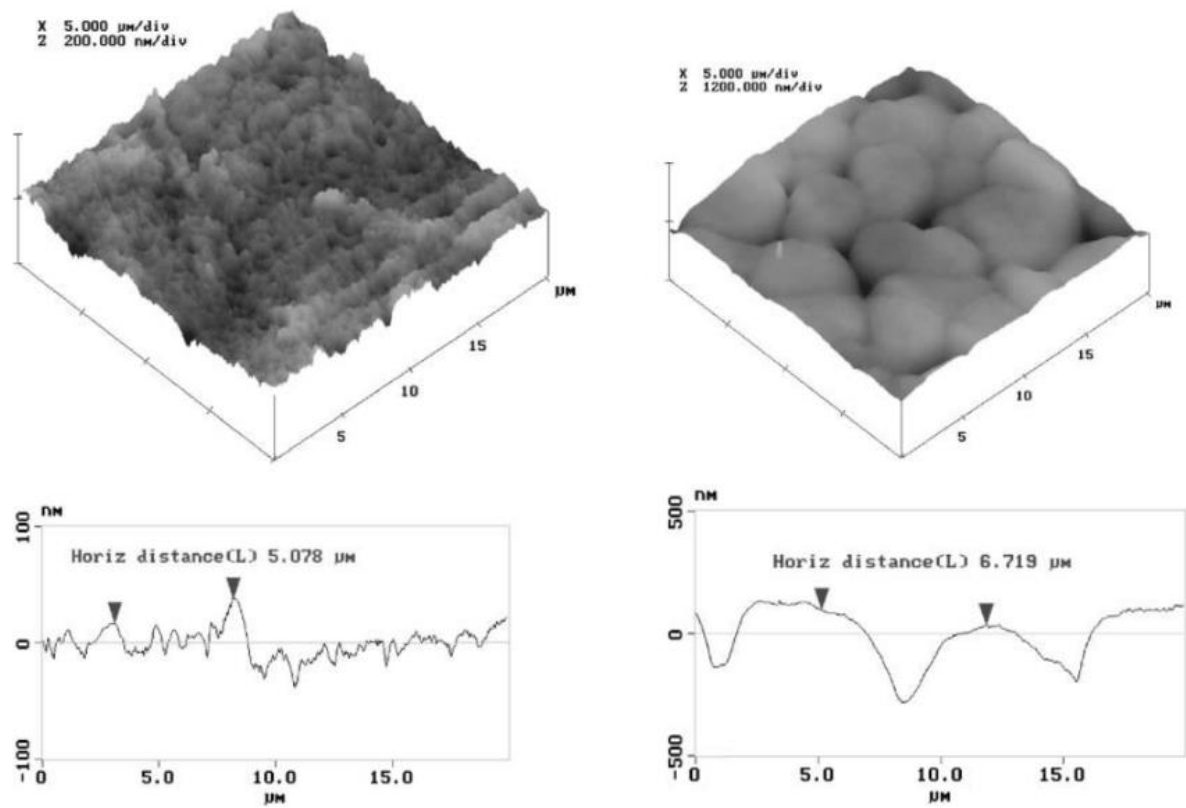
pela rms ao modelo, a força de adesão total passa a ser a soma da contribuição da adesão da partícula com as diferentes rugosidades da superfície, conforme descrito pela Equação 4.7:

$$F_{adesão} = \frac{A_H R_p}{6z_0^2} \left[\frac{1}{1 + \frac{58rms_2 R_p}{\lambda_2^2}} + \frac{1}{\left(1 + \frac{58rms_1 R_p}{\lambda_1^2}\right) \left(1 + \frac{1,82rms_2}{z_0}\right)^2} + \frac{z_0^2}{(1 + 1,82(rms_1 + rms_2))^2} \right] \quad (4.7)$$

Em que $F_{adesão}$ é a força de adesão e λ_1 e λ_2 são as distâncias pico a pico, em escala maior e menor respectivamente, entre as asperezas da superfície à qual a partícula se adere. Peillon, Autricque, Redolfi, Stancu, Gensdarmes, Grisolia, Plu-Chery (2019) descreveram que a Equação 4.7 é válida desde que a rms e o comprimento λ de ambas as escalas permaneçam menores que o tamanho da partícula. Segundo o autor, quando λ_1 se torna comparável a R_p , o plano médio da superfície é incorporado às asperezas de maior dimensão e o terceiro termo da Equação 4.7 pode ser desconsiderado.

No artigo [8], de Prokopovich, Starov (2011), os autores também se referem à modelos que consideram mais de uma escala de aspereza nas superfícies. No artigo [3] de Beach, Tormoen, Drelich, Han (2002), por sua vez, as geometrias das superfícies estudadas foram comparadas com o modelo proposto por Rabinovich, Adler, Ata, Singh, Moudgil (2000). A superfície da esquerda da Figura 4.11, segundo o autor, não foi bem descrita pelo modelo teórico, diferentemente da superfície à direita:

Figura 4.11: Imagens tridimensionais e transversais das superfícies estudadas no artigo [3], que comparam geometrias irregulares reais com o modelo proposto por Rabinovich.



Fonte: Beach, Tormoen, Drelich, Han (2002).

5 ESTÁGIO III

O último estágio do protocolo de Tranfield, Denyer, Smart (2003) para a produção de revisões sistemáticas determina que seja divulgado o resultado obtido, uma vez que o objetivo de toda revisão sistemática é sugerir o desenvolvimento de novos trabalhos na área.

5.1 FASE 8: RELATÓRIO E RECOMENDAÇÕES

A Fase 8 do protocolo de Tranfield, Denyer, Smart (2003) determina que seja gerado o relatório com os resultados obtidos, bem como a divulgação do trabalho produzido. No caso do presente trabalho, o registro se deu na presente monografia.

5.1.1 Análise do Primeiro Protocolo

Conforme descrito na Fase 4, o Primeiro Protocolo proposto não teve sucesso na identificação dos estudos mais recentes relacionados ao fenômeno da adesão de nanopartículas.

Dado que o objetivo foi concluído com a aplicação do Segundo Protocolo, conclui-se que o erro desta proposta foi refinar uma base de artigos não tão grande por autor, sendo que a área de conhecimento ainda hoje não é tão difundida a ponto de existir considerável número de grandes especialistas no assunto. Dessa forma, foi aprendido que talvez este tratamento funcione para temas mais consolidados, mas não funcionou neste caso.

5.1.2 Análise do Segundo Protocolo

Logo depois dos aprendizados obtidos com a aplicação do Primeiro Protocolo, foi possível desenvolver e aplicar uma proposta mais adequada a áreas do conhecimento ainda não tão exploradas, como é o caso do fenômeno da adesão de nanopartículas. A análise atenta das palavras-chave dos artigos se mostrou mais efetiva para o caso, em que a bibliometria não é tão vasta.

5.1.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

O pacote de Aria, Cuccurullo (2017) possibilita uma série de análises que não foram exploradas no presente trabalho, muito por conta das características descritas nos tópicos anteriores. Para assuntos sobre os quais a bibliometria seja já mais desenvolvida, as relações entre os países que mais colaboram entre si para o desenvolvimento da ciência podem se tornar complexas e dignas de um exame mais atento. Existe também a possibilidade de se estudar as citações entre os autores, que constroem conjuntamente o conhecimento sobre um assunto específico.

Além das possibilidades de análises bibliométricas, os estudos relacionados ao fenômeno da adesão tem avançado e modelos empíricos tem sido desenvolvidos. Tais modelos são de grande importância para a evolução da área, uma vez que os modelos teóricos são incapazes de esboçar todo tipo de particularidade dos materiais, como por exemplo a elasticidade de partículas de determinados materiais.

5.2 FASE 9: BUSCANDO EVIDÊNCIAS NA PRÁTICA

A última fase do protocolo de Tranfield, Denyer, Smart (2003) determina que sejam procuradas evidências práticas do campo de conhecimento que possam ser relacionadas com o que foi pesquisado na revisão, a fim de aplicar o conhecimento sintetizado em novos contextos.

No trabalho de Machry, Souza, Aguiar, Bernardo (2022), foram desenvolvidos filtros de ar com efeito biocida, em decorrência da impregnação de nanopartículas de cobre. Houve atenção com a força de adesão das nanopartículas às fibras do meio filtrante, uma vez que foi testado um pré-tratamento ácido para aumentar essa força. A mensuração da força de adesão se faz necessária, uma vez que o efeito biocida do filtro somente existe se as nanopartículas estiverem presentes. Se a força do ar que passa for suficiente para remove-las, o material seria inutilizado.

REFERÊNCIAS

ARIA, M. E CUCCURULLO, C. (2017). bibliometrix: An r-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.

ARIA, M., CUCCURULLO, C. e Aria, M. M. (2020). Package ‘bibliometrix’.

BEACH, E., TORMOEN, G., DRELICH, J. E HAN, R. (2002). Pull-off force measurements between rough surfaces by atomic force microscopy. *Journal of Colloid and Interface Science*, 247(1), 84–99.

BUTT, H.-J., CAPPELLA, B. E KAPPL, M. (2005). Force measurements with the atomic force microscope: Technique, interpretation and applications. **Surface Science Reports**, 59(1), 1–152.

CARVALHO, M. S. E STRUCHINER, C. J. (1992). Análise de correspondência: uma aplicação do método à avaliação de serviços de vacinação. **Cadernos de Saúde Pública**, 8, 287–301.

COOPER, K., GUPTA, A. E BEAUDOIN, S. (2001). Simulation of the adhesion of particles to surfaces. **Journal of Colloid and Interface Science**, 234(2), 284–292.

DERJAGUIN, B., MULLER, V. E TOPOROV, Y. (1994). Effect of contact deformations on the adhesion of particles. **Progress in Surface Science**, 45(1), 131–143.

EICHENLAUB, S., GELB, A. E BEAUDOIN, S. (2004). Roughness models for particle adhesion. **Journal of Colloid and Interface Science**, 280(2), 289–298.

GUEDES, V. L. E BORSCHIVER, S. (2005). 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, 6(1), 18.

HENRY, C. E MINIER, J.-P. (2014). Progress in particle resuspension from rough surfaces by turbulent flows. **Progress in Energy and Combustion Science**, 45, 1–53.

IBRAHIM, A., DUNN, P. E QAZI, M. (2008). Experiments and validation of a model for microparticle detachment from a surface by turbulent air flow. **Journal of Aerosol Science**, 39(8), 645–656.

MACHRY, K., DE SOUZA, C. W., AGUIAR, M. L. E BERNARDO, A. (2022). Prevention of pathogen microorganisms at indoor air ventilation system using synthesized copper nanoparticles. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, 100(8), 1739–1746.

PEILLON, S., AUTRICQUE, A., REDOLFI, M., STANCU, C., GENSDARMES, F., GRISOLIA, C. E PLUCHERY, O. (2019). Adhesion of tungsten particles on rough tungsten surfaces using atomic force microscopy. **Journal of Aerosol Science**, 137, 105431.

Pinto, A. C. e Andrade, J. B. d. (1999). Fator de impacto de revistas científicas: qual o significado deste parâmetro? **Química Nova**, 22, 448–453.

PROKOPOVICH, P. E STAROV, V. (2011). Adhesion models: From single to multiple asperity contacts. *Advances in Colloid and Interface Science*, 168(1), 210–222. **Surface forces and thin liquid films.**

RABINOVICH, Y. I., ADLER, J. J., ATA, A., SINGH, R. K. E MOUDGIL, B. M. (2000). Adhesion between nanoscale rough surfaces: I. role of asperity geometry. **Journal of Colloid and Interface Science**, 232(1), 10–16.

TRANFIELD, D., DENYER, D. E SMART, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British journal of management**, 14(3), 207–222.

ANEXO A – Códigos em R com *Bibliometrix*

```
install.packages("bibliometrix")
install.packages("remotes")
remotes::install_github("massimoaria/bibliometrix")

library(bibliometrix)

#scopus: converter para o padrão do bibliometrix
A <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/scopus/scopus.bib",
               dbsource = "scopus",
               format = "bibtex")

#web of science: converter para o padrão do bibliometrix
B <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/wos/savedrecs.bib",
               dbsource = "isi",
               format = "bibtex")

#unir as bases, excluindo artigos que estejam duplicados
M <- mergeDbSources(A,
                   B,
                   remove.duplicated = TRUE)

#PRIMEIRO PROTOCOLO

# mapa de estrutura conceitual da base de 1245 artigos
p1_CS1 <- conceptualStructure(M,
                             field="ID",
                             method="CA",
                             minDegree=4,
```



```
clust=5,  
stemming=FALSE,  
labelsize=10,  
documents=10)
```

```
#remover conjunto do mapa de estrutura conceitual
```

```
library(dplyr)
```

```
M1 <- filter(M, ID!="staphylococcus-aureus")
```

```
M2 <- filter(M1, ID!="pseudomonas-aeruginosa")
```

```
M3 <- filter(M2, ID!="escherichia-coli")
```

```
#Principais palavras chave da base de 1182 artigos
```

```
p1_results1 <- biblioAnalysis(M3,
```

```
  sep = ";")
```

```
p1_results1[["ID"]]
```

```
#remover palavras-chave com termos inadequados para o presente trabalho
```

```
M4 <- M3%>%filter(!grepl('CELL PROLIFERATION', ID))
```

```
M5 <- M4%>%filter(!grepl('WETTABILITY', ID))
```

```
M6 <- M5%>%filter(!grepl('CELL ADHESION', ID))
```

```
M7 <- M6%>%filter(!grepl('HYDROPHOBICITY', ID))
```

```
M8 <- M7%>%filter(!grepl('WATER', ID))
```

```
M9 <- M8%>%filter(!grepl('BACTERIAL ADHESION', ID))
```

```
M10 <- M9%>%filter(!grepl('CELLS', ID))
```

```
M11 <- M10%>%filter(!grepl('CUTTING TOOLS', ID))
```

```
M12 <- M11%>%filter(!grepl('BIOCOMPATIBILITY', ID))
```

```
M13 <- M12%>%filter(!grepl('CARBON NANOTUBES', ID))
```

```
M14 <- M13%>%filter(!grepl('ANIMALS', ID))
```

```
M15 <- M14%>%filter(!grepl('CELL-ADHESION', ID))
```

```
M16 <- M15%>%filter(!grepl('CORROSION', ID))
M17 <- M16%>%filter(!grepl('FRACTURE', ID))
M18 <- M17%>%filter(!grepl('IN-VITRO', ID))
M19 <- M18%>%filter(!grepl('NANOTUBES', ID))
M20 <- M19%>%filter(!grepl('LUBRICATION', ID))
M21 <- M20%>%filter(!grepl('NUCLEATION', ID))
M22 <- M21%>%filter(!grepl('ADSORPTION', ID))
M23 <- M22%>%filter(!grepl('POLYMERIZATION', ID))
M24 <- M23%>%filter(!grepl('BACTERIA', ID))
M25 <- M24%>%filter(!grepl('BIOMIMETICS', ID))
M26 <- M25%>%filter(!grepl('HYSTERESIS', ID))
M27 <- M26%>%filter(!grepl('IRRADIATION', ID))
M28 <- M27%>%filter(!grepl('CAPILLARY FORCE', ID))
M29 <- M28%>%filter(!grepl('EXTRACELLULAR-MATRIX', ID))
M30 <- M29%>%filter(!grepl('HYDROLYSIS', ID))
M31 <- M30%>%filter(!grepl('BIOMECHANICS', ID))
M32 <- M31%>%filter(!grepl('BIOMEDICAL APPLICATIONS', ID))
M33 <- M32%>%filter(!grepl('COLEOPTERA', ID))
M34 <- M33%>%filter(!grepl('CRYSTALLIZATION', ID))
M35 <- M34%>%filter(!grepl('CUTTING PERFORMANCE', ID))
M36 <- M35%>%filter(!grepl('ESCHERICHIA-COLI', ID))
M37 <- M36%>%filter(!grepl('GECKO', ID))
M38 <- M37%>%filter(!grepl('HAIR', ID))
M39 <- M38%>%filter(!grepl('IONIC LIQUIDS', ID))
M40 <- M39%>%filter(!grepl('IONS', ID))
M41 <- M40%>%filter(!grepl('MOLECULAR-DYNAMICS SIMULATIONS', ID))
M42 <- M41%>%filter(!grepl('MOLECULAR INTERACTION', ID))
M43 <- M42%>%filter(!grepl('OSTEOBLAST ADHESION', ID))
M44 <- M43%>%filter(!grepl('STAPHYLOCOCCUS-AUREUS', ID))
```

```
M45 <- M44%>%filter(!grepl('BIO-FILM THICKNESS', ID))
M46 <- M45%>%filter(!grepl('BIOCOMPATIBLE', ID))
M47 <- M46%>%filter(!grepl('BIODIESEL', ID))
M48 <- M47%>%filter(!grepl('BIOFILMS', ID))
M49 <- M48%>%filter(!grepl('BIOLOGICAL MICRO/NANOPARTICLES', ID))
M50 <- M49%>%filter(!grepl('BIOPOLYMERS', ID))
M51 <- M50%>%filter(!grepl('BIPED LOCOMOTION', ID))
M52 <- M51%>%filter(!grepl('BITE FORCE', ID))
M53 <- M52%>%filter(!grepl('BODY FLUIDS', ID))
M54 <- M53%>%filter(!grepl('BONE', ID))
M55 <- M54%>%filter(!grepl('SIMULATION', ID))
M56 <- M55%>%filter(!grepl('SKIN', ID))
M57 <- M56%>%filter(!grepl('CELL', ID))
M58 <- M57%>%filter(!grepl('ION BEAMS', ID))
M59 <- M58%>%filter(!grepl('AMINO ACIDS', ID))
M60 <- M59%>%filter(!grepl('CAPILLARITY', ID))
M61 <- M60%>%filter(!grepl('CAPILLARY', ID))
M62 <- M61%>%filter(!grepl('ASPHALT', ID))
M63 <- M62%>%filter(!grepl('CUTTING', ID))
M64 <- M63%>%filter(!grepl('DIFFUSION', ID))
M65 <- M64%>%filter(!grepl('LUBRICATING', ID))
M66 <- M65%>%filter(!grepl('MICROTUBE', ID))
M67 <- M66%>%filter(!grepl('LUBRICANT', ID))
M68 <- M67%>%filter(!grepl('OIL', ID))
```

#obter palavras chave da base de 256 artigos

```
p1_results2 <- biblioAnalysis(M68,
                             sep = ";")
```

```
p1_results2[["ID"]]
```

```
# rede de coocorrência de palavras-chave da base de 256 artigos
```

```
p1_NetMatrix1 <- biblioNetwork(M68,  
                               analysis = "co-occurrences",  
                               network = "keywords",  
                               sep = ";")  
  
net=networkPlot(p1_NetMatrix1,  
               normalize="association",  
               weighted=T,  
               n = 30,  
               Title = "Coocorrência de palavras-chave",  
               type = "fruchterman",  
               size=T,edgesize = 5,  
               labels=0.7)
```

```
#obter o índice H dos autores da base de 256 artigos
```

```
p1_authors=gsub(","," ",names(p1_results2$Authors)[1:998])  
p1_indices <- Hindex(M68,  
                    field = "author",  
                    elements=authors,  
                    sep = ";",  
                    years = 50)
```

```
#obter produção dos autores ao longo do tempo da base de 256 artigos
```

```
p1_producao_tempo <- authorProdOverTime(M68,  
                                         k = 30,  
                                         graph = TRUE)
```

```
#artigos dos autores mais relevantes
```

```
M69 <- M68%>%filter(grepl('LI H', AU))
M70 <- M68%>%filter(grepl('WANG X', AU))
M71 <- M68%>%filter(grepl('ZHANG X', AU))
M72 <- M68%>%filter(grepl('KORAYEM M', AU))
M73 <- M68%>%filter(grepl('LIU Y', AU))
M74 <- M68%>%filter(grepl('YANG J', AU))
M75 <- M68%>%filter(grepl('CARPICK R', AU))
M76 <- M68%>%filter(grepl('CHEN H', AU))
M77 <- M68%>%filter(grepl('DAS S', AU))
M78 <- M68%>%filter(grepl('GRIERSON D', AU))
M79 <- M68%>%filter(grepl('JACOBS T', AU))
M80 <- M68%>%filter(grepl('LU X', AU))
M81 <- M68%>%filter(grepl('TURNER K', AU))
M82 <- M68%>%filter(grepl('WANG L', AU))
M83 <- M68%>%filter(grepl('WANG S', AU))
#unir todos em uma matriz, removendo duplicatas
M84 <- mergeDbSources(M69,
                      M70,
                      M71,
                      M72,
                      M73,
                      M74,
                      M75,
                      M76,
                      M77,
                      M78,
                      M79,
                      M80,
                      M81,
```

```
M82,  
M83,  
remove.duplicated = TRUE)
```

```
# novo mapa de estrutura conceitual
```

```
p1_CS2 <- conceptualStructure(M84,  
                             field="ID",  
                             method="CA",  
                             minDegree=3,  
                             clust=4,  
                             stemming=FALSE,  
                             labelsiz=10,  
                             documents=48)
```

```
#remover artigos do cluster verde
```

```
M85 <- M84%>%filter(!grepl('10.1021/la301783q', DI))  
M86 <- M85%>%filter(!grepl('10.1002/sml.201904248', DI))  
M87 <- M86%>%filter(!grepl('10.1098/rsif.2014.1346', DI))  
M88 <- M87%>%filter(!grepl('10.1088/0022-3727/46/43/435305', DI))  
M89 <- M88%>%filter(!grepl('10.1016/j.euromechsol.2017.05.003', DI))  
M90 <- M89%>%filter(!grepl('10.1080/10402004.2014.951751', DI))  
M91 <- M90%>%filter(!grepl('10.1016/j.apsusc.2017.06.181', DI))  
M92 <- M91%>%filter(!grepl('10.1007/s00339-019-2585-x', DI))  
M93 <- M92%>%filter(!grepl('10.1007/s00419-021-01967-5', DI))  
M94 <- M93%>%filter(!grepl('10.1016/j.apsusc.2022.152828', DI))
```

```
#ver palavras chave da nova matriz
```

```
p1_results3 <- biblioAnalysis(M94, sep = ";")
```

```
#selecionar palavras-chave relacionadas às partículas e nanoescala
```

```
M95 <- M94%>%filter(grepl('NANOPARTICLES', ID))
```

```
M96 <- M94%>%filter(grepl('SILICA NANOPARTICLES', ID))
```

```
M97 <- M94%>%filter(grepl('SIO2 NANOPARTICLES', ID))
```

```
M98 <- M94%>%filter(grepl('NANOPARTICLE MANIPULATION', ID))
```

```
M99 <- M94%>%filter(grepl('GRAIN MORPHOLOGIES', ID))
```

```
M100 <- M94%>%filter(grepl('PARTICLE SIZE AND MORPHOLOGIES', ID))
```

```
M101 <- M94%>%filter(grepl('PARTICLE SIZE ANALYSIS', ID))
```

```
M102 <- M94%>%filter(grepl('PARTICLE SIZE', ID))
```

```
M103 <- M94%>%filter(grepl('SPHERES', ID))
```

```
M104 <- M94%>%filter(grepl('TIO2', ID))
```

```
M105 <- M94%>%filter(grepl('ZNO', ID))
```

```
M106 <- M94%>%filter(grepl('NANOSCALE', ID))
```

```
M107 <- M94%>%filter(grepl('NANOTECHNOLOGY', ID))
```

```
M108 <- M94%>%filter(grepl('NANOMETER-SCALE', ID))
```

```
M109 <- M94%>%filter(grepl('ZNO NANOWIRES', ID))
```

```
#unir bases com palavras-chave relacionadas à partículas e nanoescala e  
remover duplicatas
```

```
M110 <- mergeDbSources(M95,
```

```
    M96,
```

```
    M97,
```

```
    M98,
```

```
    M99,
```

```
    M100,
```

```
    M101,
```

```
    M102,
```

```
M103,  
M104,  
M105,  
M106,  
M107,  
M108,  
M109,  
remove.duplicated = TRUE)
```

```
#unir base com os artigos previamente selecionados
```

```
M111 <- M84%>%filter(grepl('10.1080/10402004.2014.951751', DI))
```

```
M112 <- M84%>%filter(grepl('10.1007/s00339-019-2585-x', DI))
```

```
M113 <- M84%>%filter(grepl('10.1016/j.apsusc.2022.152828', DI))
```

```
M114 <- mergeDbSources(M110,  
M111,  
M112,  
M113,  
remove.duplicated = TRUE)
```

```
#exportar artigos para csv
```

```
p1_base <- M114[,c("DE",  
"ID",  
"C1",  
"CR",  
"JI",  
"AB",  
"AR",  
"RP",
```



```
"DT",  
"DI",  
"FU",  
"SN",  
"SO",  
"LA",  
"TC",  
"PN",  
"PP",  
"PU",  
"DB",  
"TI",  
"VL",  
"PY",  
"FX",  
"AU_UN",  
"AU1_UN",  
"AU_UN_NR",  
"SR_FULL",  
"SR")]  
  
write.table(p1_base,  
            "C:/Users/karen/Documents/TCC/tcc/base15.csv",  
            sep=";",  
            row.names=FALSE)
```

#SEGUNDO PROTOCOLO

```
#Principais palavras chave da base de 1245 artigos
```

```
p2_results1 <- biblioAnalysis(M, sep = ";")
```

```
p2_results1[["ID"]]
#exportar todas as palavras-chave para csv para possibilitar análise
write.table(p2_results1$ID,
            "C:/Users/karen/Documents/TCC/tcc/p2_palavraschave.csv",
            sep=";",
            row.names=FALSE)
```

```
#remover palavras chave relacionadas a camadas
```

```
library(dplyr)
M115 <- M%>%filter(!grepl('COATINGS', ID))
M116 <- M115%>%filter(!grepl('COATING', ID))
M117 <- M116%>%filter(!grepl('COATED', ID))
```

```
#ver palavras-chave da base de 989 artigos
```

```
p2_results2 <- biblioAnalysis(M117, sep = ";")
#exportar todas as palavras-chave para csv para possibilitar análise
write.table(p2_results2$ID,
            "C:/Users/karen/Documents/TCC/tcc/p2_palavraschave2.csv",
            sep=";",
            row.names=FALSE)
```

```
#selecionar apenas artigos com termos relacionados a partículas e
nanopartículas
```

```
M118 <- M117%>%filter(grepl('PARTICLE', ID))
M119 <- M117%>%filter(grepl('NANOPARTICLE', ID))
M120 <- M117%>%filter(grepl('PARTICLES', ID))
M121 <- M117%>%filter(grepl('NANOPARTICLES', ID))
M122 <- M117%>%filter(grepl('PARTICLE SIZE', ID))
M123 <- M117%>%filter(grepl('METAL NANOPARTICLES', ID))
```

```
#unir bases com palavras-chave relacionadas à partículas e nanopartículas e  
remover duplicatas
```

```
M124 <- mergeDbSources(M118,  
                        M119,  
                        M120,  
                        M121,  
                        M122,  
                        M123,  
                        remove.duplicated = TRUE)
```

```
#ver palavras-chave da base de 211 artigos  
p2_results3 <- biblioAnalysis(M124, sep = ";")
```

```
# mapa de estrutura conceitual da base de 211 artigos
```

```
p2_CS1 <- conceptualStructure(M124,  
                             field="ID",  
                             method="CA",  
                             minDegree=4,  
                             clust=5,  
                             stemming=FALSE,  
                             labelsiz=10,  
                             documents=10)
```

```
# visualizar por cluster
```

```
View(p2_CS1[["graph_terms"]][["plot_env"]][["data"]])  
write.table(p2_CS1[["graph_terms"]][["plot_env"]][["data"]],
```

```
"C:/Users/karen/Documents/TCC/tcc/p2_clusters.csv",  
sep=";",  
row.names=FALSE)
```

```
#selecionar apenas artigos do cluster verde
```

```
M125 <- M124%>%filter(grepl('NANOSCALE ROUGH SURFACES', ID))
```

```
M126 <- M124%>%filter(grepl('MICROPARTICLE DETACHMENT', ID))
```

```
M127 <- M124%>%filter(grepl('TURBULENT AIR-FLOW', ID))
```

```
M128 <- mergeDbSources(M125,  
                      M126,  
                      M127,  
                      remove.duplicated = TRUE)
```

```
write.table(M128,  
           "C:/Users/karen/Documents/TCC/tcc/protocolo2/p2_clusterverde.csv",  
           sep=";",  
           row.names=FALSE)
```

```
#remover o cluster verde da base de dados, pois os resumos já foram  
#analizados
```

```
M129 <- M124%>%filter(!grepl('NANOSCALE ROUGH SURFACES', ID))
```

```
M130 <- M129%>%filter(!grepl('MICROPARTICLE DETACHMENT', ID))
```

```
M131 <- M130%>%filter(!grepl('TURBULENT AIR-FLOW', ID))
```

```
#selecionar artigos com "destacamento" e "fluxo"
```

```
M132 <- M131%>%filter(grepl('DETACHMENT', ID))
```

```
M133 <- M131%>%filter(grepl('FLOW', ID))
```

```
#remover artigos com "detachment" e "fluxo" da base
```

```
M134 <- M131%>%filter(!grepl('DETACHMENT', ID))
```

```
M135 <- M134%>%filter(!grepl('FLOW', ID))
```

```
#Artigos selecionados até o momento
```

```
Art1 <- M%>%filter(grepl('10.1016/j.jaerosci.2022.106037', DI))
```

```
Art2 <- M%>%filter(grepl('10.1021/la404014d', DI))
```

```
Art3 <- M%>%filter(grepl('10.1016/j.jaerosci.2016.05.008', DI))
```

```
Art4 <- M%>%filter(grepl('10.1080/01694243.2019.1650989', DI))
```

```
Art5 <- M%>%filter(grepl('10.1016/j.cej.2016.10.119', DI))
```

```
Art6 <- M%>%filter(grepl('10.1016/j.jaerosci.2013.07.012', DI))
```

```
Art7 <- M%>%filter(grepl('10.1021/acs.langmuir.8b04074', DI))
```

```
Art8 <- M%>%filter(grepl('10.1016/j.jaerosci.2018.11.006', DI))
```

```
Art9 <- M%>%filter(grepl('10.1016/j.seppur.2011.09.016', DI))
```

```
Art10 <- M%>%filter(grepl('10.1016/j.jaerosci.2020.105525', DI))
```

```
Art11 <- M%>%filter(grepl('10.1016/j.apsusc.2021.150872', DI))
```

```
#base de artigos selecionados após leitura dos resumos
```

```
selecao <- mergeDbSources(Art1,  
                          Art2,  
                          Art3,  
                          Art4,  
                          Art5,  
                          Art6,  
                          Art7,  
                          Art8,  
                          Art9,  
                          Art10,  
                          Art11,  
                          remove.duplicated = TRUE)
```

```
#análise geral da base de artigos selecionados
selecao_results <- biblioAnalysis(selecao, sep = ";")
```

```
# rede de cocitação de referencias
```

```
NetMatrix4 <- biblioNetwork(selecao,
                             analysis = "co-citation",
                             network = "references",
                             sep = ";")
net=networkPlot(NetMatrix4,
                n = 20,
                Title = "Rede de cocitação de referências",
                type = "fruchterman",
                size=T,
                remove.multiple=FALSE,
                labels=0.7,
                edgesize = 5)
```

```
#referências da base selecionada
```

```
rpys(selecao,
      sep = ";",
      timespan = NULL,
      graph = T)
```

```
#ARTIGOS REFERÊNCIA ANALISADOS
```

```
C <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/artigos/1.bib",
               dbsource = "isi",
               format = "bibtex")
```

```
D <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/artigos/2.bib",
```

```
        dbsource = "isi",
        format = "bibtex")
E <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/artigos/3.bib",
        dbsource = "isi",
        format = "bibtex")
G <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/artigos/4.bib",
        dbsource = "isi",
        format = "bibtex")
H <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/artigos/5.bib",
        dbsource = "isi",
        format = "bibtex")
I <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/artigos/6.bib",
        dbsource = "isi",
        format = "bibtex")
J <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/artigos/7.bib",
        dbsource = "isi",
        format = "bibtex")
K <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/artigos/8.bib",
        dbsource = "isi",
        format = "bibtex")
L <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/artigos/9.bib",
        dbsource = "isi",
        format = "bibtex")
N <- convert2df("C:/Users/karen/Documents/TCC/TCC/artigos/10.bib",
        dbsource = "isi",
        format = "bibtex")
#unir as bases, excluindo artigos que estejam duplicados
M136 <- mergeDbSources(C,
        D,
```

```
E,  
G,  
H,  
I,  
J,  
K,  
L,  
N,  
remove.duplicated = TRUE)
```

```
dplyr::glimpse(M136semC)
```

```
#exportar artigos para csv
```

```
base <- M136[,c("DE",  
  "ID",  
  "C1",  
  "CR",  
  "JI",  
  "AB",  
  "AR",  
  "RP",  
  "DT",  
  "DI",  
  "FU",  
  "SN",  
  "SO",  
  "LA",  
  "TC",  
  "PN",
```



```
"PP",  
"PU",  
"DB",  
"TI",  
"VL",  
"PY",  
"FX",  
"AU_UN",  
"AU1_UN",  
"AU_UN_NR",  
"SR_FULL",  
"SR")]  
write.table(p1_base,  
            "C:/Users/karen/Documents/TCC/tcc/base15.csv",  
            sep=";",  
            row.names=FALSE)  
  
#remover artigo que não tem campo de palavras-chave  
M136semC <- mergeDbSources(D,  
                            E,  
                            G,  
                            H,  
                            I,  
                            J,  
                            K,  
                            L,  
                            N,  
                            remove.duplicated = TRUE)
```

```
#informações gerais: centros de pesquisa, países
```

```
M136results <- biblioAnalysis(M136, sep = ";")
```

```
options(width=100)
```

```
M136S <- summary(object = M136results,
```

```
  k = 30,
```

```
  pause = FALSE)
```

```
#Coocorrência de palavras-chave
```

```
NetMatrix1 <- biblioNetwork(M136semC,
```

```
  analysis = "co-occurrences",
```

```
  network = "keywords",
```

```
  sep = ";")
```

```
net=networkPlot(NetMatrix1,
```

```
  normalize="association",
```

```
  weighted=T,
```

```
  n = 30,
```

```
  Title = "Keyword Co-occurrences",
```

```
  type = "fruchterman",
```

```
  size=T,
```

```
  edgesize = 1,
```

```
  labels=0.7)
```