

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
CÂMPUS DE ARARAQUARA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOMATERIAIS E
BIOPROCESSOS
MESTRADO PROFISSIONAL

**MAPEAMENTO ESTRATÉGICO DOS BIOMATERIAIS UTILIZADOS EM
IMPLANTES**

GUSTAVO ROBERTO DOS SANTOS

ORIENTADOR: Prof. Dr. ANTONIO CARLOS GUASTALDI
COORIENTADOR: Prof. Dr. GUSTAVO FRANCO BARBOSA

ARARAQUARA - SP

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
CÂMPUS DE ARARAQUARA

MAPEAMENTO ESTRATÉGICO DOS BIOMATERIAIS UTILIZADOS EM
IMPLANTES

GUSTAVO ROBERTO DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos (Mestrado Profissional), Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos.

ORIENTADOR: Prof. Dr. ANTONIO CARLOS GUASTALDI
COORIENTADOR: Prof. Dr. GUSTAVO FRANCO BARBOSA

ARARAQUARA - SP

2019

S237m Santos, Gustavo Roberto dos.
Mapeamento estratégico dos biomateriais utilizados em implantes /
Gustavo Roberto dos Santos. – Araraquara: [S.n.], 2019.
83 f. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho". Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos. Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos.

Orientador: Antonio Carlos Guastaldi.
Coorientador: Gustavo Franco Barbosa.

1. Biomateriais. 2. Implantes. 3. Área da saúde. 4. Publicações científicas. I. Guastaldi, Antonio Carlos, orient. II. Barbosa, Gustavo Franco, coorient. III. Título.

Diretoria do Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP - Campus de Araraquara

CAPES: 33004030170P0
Esta ficha não pode ser modificada

Dedico este trabalho a minha esposa, com admiração e gratidão por seu apoio, carinho e presença ao longo do período de elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Gustavo Barbosa, que nos anos de convivência, muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento científico e intelectual.

Ao Prof. Dr. Antonio Guastaldi, pela atenção e apoio durante o processo de definição e orientação.

Ao programa de pós-graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos, pela oportunidade de realização do curso.

RESUMO

SANTOS, Gustavo R. dos. Mapeamento estratégico dos biomateriais utilizados em implantes. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2019.

Com os avanços cada vez mais rápidos da tecnologia na área da saúde e com a evolução no desenvolvimento de novos materiais, produtos e técnicas cirúrgicas, tornou-se possível aos profissionais a realização de procedimentos de forma mais eficiente, bem como, aos pacientes, a recuperação mais acelerada e a melhora na qualidade de vida. O objetivo deste trabalho é desenvolver um mapeamento estratégico dos biomateriais utilizados em implantes na área da saúde, buscando uma compreensão do mercado e da área de pesquisa e desenvolvimento. Foram feitas pesquisas nas bases de dados científicos *Scopus* e *Web of Science*, e levantamento de dados econômicos nas bases da Abimo e Comex Stat, utilizando o processo de busca estruturada baseado no método *Systematic Search Flow* (SSF). A estratégia de busca inclui levantar dados no período de 2012 a 2018 relacionados com as áreas de aplicação: Cardiologia, Dental, Ortopedia e Oftalmologia; e com os grupos de materiais: Metais, Polímeros, Cerâmicas e Naturais. Das duas bases de dados utilizadas, a *Scopus* apresentou uma maior quantidade de documentos publicados, cerca de 58,49% contra 51,51% da *Web of Science*. Em relação ao progresso da produção científica na área de biomateriais, podemos afirmar que os Metais constituem a parcela da ciência dos materiais que mais tem revelado interesse dos pesquisadores no desenvolvimento de pesquisas, buscando novas técnicas e métodos para melhorar a qualidade de vida das pessoas. Foram 20.167 publicações realizadas no período, e 50,56% são do grupo dos Metais. No Brasil, há uma prevalência de pequenas e médias empresas: quase 74% do total, com faturamento em torno de 240 mil a 2,4 milhões de reais para pequenas empresas, e 2,4 a 6 milhões de reais para médias empresas. O mercado de biomateriais configura-se cada vez mais em uma área estratégica no que se refere ao grande potencial econômico em todos os setores e áreas no Brasil, América Latina e no Mundo.

Palavras-chave: biomateriais, implantes, área da saúde, publicações científicas.

ABSTRACT

SANTOS, Gustavo R. dos. Strategic mapping of biomaterials used in implants. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2019.

With the ever-faster advances in technology used on healthcare area and the development of new materials, products and surgical techniques, it has become possible for professionals in this field to perform procedures more efficiently, as well, for patients, a faster recovering and improvement on quality of life. The objective of this work is to develop a strategic mapping of biomaterials used in implants on health area, seeking an understanding of the market and Research & Development area. Researches into scientific data bases Scopus and Web of Science were performed, as well economic searching into Abimo and Comex Stat databases using the structured process based on the Systematic Search Flow (SSF) method. The search strategy includes collecting data from 2012 to 2018 related to the following application areas: Cardiology, Dental, Orthopedics and Ophthalmology; also, with the material groups: Metals, Polymers, Ceramics and Naturals. Among the two databases used, Scopus has presented the largest number of published articles, about 58.49% against 51.51% of Web of Science. Regarding to the progress of scientific production in biomaterials area, we can say that in the material science, Metals are the most interest in development of research, seeking new techniques and methods to improve people's quality of life. There were 20,167 publications made in the period, where 50.56% are from the Metals group. In Brazil, there is a prevalence of small and medium companies: almost 74% of the total, with revenues within R\$ 240 k to R\$ 2.4 M for small companies, and within R\$ 2.4 M to R\$ 6 M for medium companies. The biomaterials market is increasingly becoming a strategic area in terms of the great economic potential in all sectors and areas in Brazil, Latin America and the world.

Keywords: biomaterials, implants, healthcare area, scientific publications.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: cadeia produtiva do setor de EMHO	33
Figura 2: representação do método <i>Systematic Search Flow</i> (SSF).....	36
Figura 3: organização da estratégia de busca.....	37
Figura 4: exemplo de acesso à base de dados <i>Web of Science</i>	39
Figura 5: publicações de artigos por ano.....	51
Figura 6: publicações por área de aplicação.....	53
Figura 7: demonstrativo das publicações dos biomateriais na área Dental.....	56
Figura 8: demonstrativo das publicações dos biomateriais na área Ortopédica.....	58
Figura 9: demonstrativo das publicações dos biomateriais na área cardiovascular. .	60
Figura 10: demonstrativo das publicações dos biomateriais na área Oftalmologia. ..	62
Figura 11: percentual por área de aplicação no total de publicações no período de 2012 a 2018.	62
Figura 12: produção nacional de instrumentos e materiais para uso na área da saúde, ABIMO.....	63
Figura 13: exportação e importação dos segmentos de equipamentos médicos e implantes, ABIMO.	64
Figura 14: demonstrativo da oscilação das exportações e importações.	65
Figura 15: mapa geográfico por estado federativo com maior representatividade na balança comercial do Brasil.....	69
Figura 16: infográfico da conclusão.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: principais ligas e aplicações na área da saúde	19
Tabela 2: polímeros comumente usados na produção de biomateriais e exemplos de aplicações.	22
Tabela 3: aplicações clínicas dos biomateriais.....	29
Tabela 4: participação no mercado mundial (2008)	35
Tabela 5: lista de NCM	40
Tabela 6: resultados gerais de busca na base <i>Web of Science</i>	44
Tabela 7: resultados gerais de busca na base <i>Scopus</i>	47
Tabela 8: quantidade de publicação por base de dados.	51
Tabela 9: publicações de artigos nas bases de dados científicas por ano.	51
Tabela 10: publicações por grupo dos materiais por base.	52
Tabela 11: publicações por área de aplicação por base.	52
Tabela 12: publicações por área de aplicação.	53
Tabela 13: publicações de artigos por grupo de biomateriais anual.....	54
Tabela 14: publicações de artigos por área de aplicação anual.	54
Tabela 15: publicações de artigos na área de aplicação Dental separado por grupo e por biomaterial, 2012 a 2018.....	55
Tabela 16: publicações de artigos na área de aplicação Ortopédica separado por grupo e por biomaterial, 2012 a 2018.....	57
Tabela 17: publicações de artigos na área de aplicação cardiovascular separadas por grupo e por biomaterial, 2012 a 2018.....	59
Tabela 18: publicações de artigos na área de aplicação oftalmologia separado por grupo e por biomaterial, 2012 a 2018.....	61
Tabela 19: porte das empresas brasileiras no setor da saúde, ABIMO.	64
Tabela 20: total de exportação e importação, valores em FOB US\$ ¹	65
Tabela 21: resultados de exportação e importação por NCM, valores FOB em US\$.	66
Tabela 22: resultados por área de aplicação de produtos exportados e importados, valores FOB em US\$.....	67
Tabela 23: resultado por estado no Brasil.	68
Tabela 24: países que o Brasil mais importa e exporta (20 principais).	70
Tabela 25: resultados por bloco econômico.	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIIS	Aliança Brasileira da Indústria Inovadora em Saúde
ABIMED	Associação Brasileira de Importadores e Distribuidores de Produtos para Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PIM-PF	Pesquisa Industrial Mensal de Produção Física
OMS	Organização Mundial da Saúde
IOF	<i>International Osteoporosis Fondation</i>
SBR	Sociedade Brasileira de Reumatologia
SBC	Sociedade Brasileira de Coluna
SBOT	Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia
DAV	Dispositivos de Assistência Ventricular
EMHO	Equipamentos e Materiais médicos, Hospitalares e Odontológicos
CIS	Complexo Industrial da Saúde
ABIMO	Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios
SISCOMEX	Portal Único de Comércio Exterior do Sistema Integrado de Comércio Exterior
NCM	Nomenclatura Comum do Mercosul
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
ASEAN	Associação de Nações do Sudeste Asiático
FOB	<i>Free On Board</i> , que significa "Livre a bordo".

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	História dos Biomateriais.....	14
3.2	Conceitos na área de Biomateriais.....	16
3.2.1	Biomateriais	16
3.2.2	Biocompatibilidade (ISO 10993)	17
3.2.3	Osseointegração.....	18
3.3	Biomateriais utilizados na saúde	18
3.3.1	Metais	18
	Aço Inoxidável.....	19
	Titânio e ligas de titânio	20
	Ligas à base de cobalto-cromo	21
3.3.2	Polímeros.....	21
	Polímeros sintéticos	22
	Polímeros naturais	24
	Blendas e complexos poliméricos	24
3.3.3	Cerâmicas.....	25
	Alumina ou Óxido de Alumínio	25
	Zircônia	25
	Fosfatos de cálcio	26
	Biovidros e vitrocerâmicas	26
3.3.4	Naturais	26
	Ácido hialurônico (AH)	27
	Quitosana.....	27
	Colágeno.....	27

Alginato	27
3.3.5 Compósitos.....	28
3.4 Grandes áreas de aplicação dos Biomateriais na saúde	30
3.4.1 Ortopedia.....	30
3.4.2 Dental	31
3.4.3 Cardiologia.....	31
3.4.4 Oftalmologia.....	32
3.5 Mercado de Biomateriais.....	32
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
4.1 Protocolo de pesquisa.....	36
4.2 Análise	41
4.3 Síntese	41
4.4 Escrever	42
5 RESULTADOS.....	43
5.1 Primeira seção dos resultados (dados científicos)	43
5.2 Segunda seção dos resultados (dados econômicos).....	63
6 DISCUSSÃO	72
7 CONCLUSÃO	75
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico cada vez mais rápido da tecnologia na área da saúde, acompanhado da grande evolução no desenvolvimento de novos materiais, produtos e técnicas cirúrgicas, torna-se possível, da parte dos profissionais, a realização de procedimentos de forma cada vez mais eficiente, bem como, da parte dos pacientes, o aceleração dos tratamentos de recuperação e a melhora na qualidade de vida.

Os biomateriais metálicos continuam sendo utilizados na fabricação de dispositivos, implantes e instrumentos médicos com a função de tornar eficaz o seu desempenho no trabalho das mais diferentes aplicações e de oferecer alta resistência mecânica à fratura deste tipo de material (LANDUCI, 2016).

A demanda por biomateriais tende a crescer anualmente, seja para o uso em idosos, por necessidade prematura, ou em caso de acidentes, violência e patologias clínicas.

Segundo o BANCO MUNDIAL (2019), o número de acidentes e violência no trânsito vem crescendo a cada 100.000 indivíduos. O ano 2000 apresentou 15,9 pessoas que sofreram alguma lesão causada por acidente ou alguma espécie de lesão que requereu algum procedimento cirúrgico, comparado com o ano 2015, em que o número subiu para 22,6 pessoas. Pode-se ver um aumento de 42,13% em 5 anos.

Preocupados com a qualidade de vida da população, as instituições vêm trabalhando no desenvolvimento de métodos e materiais com o objetivo de melhorar os problemas da estrutura óssea, a osteoporose e a perda de massa óssea relacionada a traumas provenientes de violência e lesões causadas no trânsito. Tudo isso aliado aos avanços da tecnologia e hábitos das pessoas.

A expectativa de vida dos brasileiros e dos latino-americanos está na média de 75 anos. Isso significa que há uma grande demanda para uso de próteses ou implantes, devido à necessidade por causa da falta de cuidados com o corpo, genética e também por hábitos de vida que trazem consequência à saúde.

De acordo com a OMS (Organização Mundial da Saúde), a osteoporose afetou mais de 10 milhões de brasileiros em 2017. Trata-se de uma doença silenciosa, que ocasionalmente é descoberta em decorrência de uma fratura por pouco impacto. A coluna vertebral, o quadril e os punhos são os locais de lesão prevalentes. A IOF

(*International Osteoporosis Foundation*) explica que a doença atinge mais de 200 milhões de mulheres e causa aproximadamente 9 milhões de fraturas anualmente no mundo o equivalente a 1 fratura a cada 3 segundos.

A recessão econômica tem impactado diretamente o setor de saúde no Brasil. Assim, a produção industrial de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico, no período de 2015 a 2016 recuou 12%, segundo dados da Pesquisa Industrial Mensal de Produção Física (PIM-PF), do IBGE.

O Brasil possui certa estrutura de produção de produtos médicos (de equipamentos e produtos de baixa e média tecnologia), apesar de importar grande parte dos produtos utilizados no mercado da saúde, e de apresentar um déficit comercial que aumenta mais a cada dia. Apenas 38% dos produtos de saúde utilizados no mercado são de fabricação nacional. O setor é composto de aproximadamente 13 mil empresas, das quais 90% são de médio a pequeno porte, com faturamento, em 2014, de US\$ 11,7 bilhões, equivalente a 5% do total das despesas de saúde (MARÍN JIMÉNEZ, 2016).

O cenário atual é marcado por mudanças tecnológicas intensas: incremento na complexidade dos produtos (segurança, confiabilidade, baixos custos), maior participação da sociedade nas decisões concernentes à saúde, a regulação global do mercado em virtude da globalização e da inserção internacional ativa das empresas.

Visto o interesse das empresas no mercado de implantes, a presente pesquisa visa buscar informações sobre o fluxo de valor para o mercado dos biomateriais, e também fazer um levantamento na área de pesquisa e desenvolvimento para entender o interesse dos pesquisadores.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um mapeamento estratégico dos biomateriais utilizados em implantes, com foco nas áreas dental, ortopédia, cardiologia e oftalmologia, buscando compreender o mercado e a área de pesquisa e desenvolvimento.

A fim de atingir o objetivo principal, buscam-se os seguintes objetivos específicos:

- Mapear as áreas de produção no Brasil e na América Latina;
- Entender as aplicações dos biomateriais e seu crescimento em função do tempo;
- Fazer um levantamento do progresso da produção científica na área de biomateriais por área de aplicação;
- Identificar os principais setores de aplicação dos biomateriais;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 História dos Biomateriais

Os biomateriais são amplamente utilizados na medicina, na odontologia e na biotecnologia. Há apenas 60 anos atrás, biomateriais como conhecemos hoje não existiam. A palavra "biomaterial" não era usada. Não havia fabricantes de dispositivos médicos além de próteses externas, como membros, dispositivos de fixação de fraturas, olhos de vidro e obturações e dispositivos dentários; também nenhum processo formal de aprovação regulatória, nenhum entendimento de biocompatibilidade e, certamente, nenhum curso acadêmico sobre biomateriais (RATNER *et al.*, 2004).

Sabe-se que, antes da segunda guerra mundial, a introdução de materiais não biológicos no corpo humano ocorrera em algumas ocasiões. Os restos de um ser humano encontrado perto de Kennewick, Washington, EUA (muitas vezes referido como o "*Kennewick Man*") foram datados (com alguma controvérsia) como tendo 9000 anos de idade. Esse indivíduo, descrito pelos arqueólogos como uma ativa, alta e saudável pessoa, vagou pela região agora conhecida como o sul de Washington com uma ponta de lança incrustada no quadril. O ferimento, aparentemente, tinha se curado, e não impediu significativamente sua atividade. Este implante não intencional ilustra a capacidade do corpo de lidar com materiais estranhos implantados (RATNER *et al.*, 2004).

Ao contrário da ponta de lança, os implantes dentários foram concebidos como tais e utilizados no início da história. O Povo Maia moldava dentes de nácar de conchas do mar em cerca de 600 d.C. para utilizar como implante e que demonstraram, como resultado, uma integração com o osso. Esse processo foi descrito como osseointegração. Naquele tempo, não havia ciência de materiais, compreensão biológica, ou medicina por trás desses procedimentos (BOBBIO, 1972).

Leonardo Da Vinci, no ano de 1508, desenvolveu o conceito de lentes de contato. René Descartes é creditado pela a ideia da lente de contato da córnea (1632), e Sir John F. W. Herschel (1827) sugeriu que uma lente de vidro poderia proteger o olho. Adolf Gaston Eugen Fick (sobrinho de Adolf Eugen Fick, famoso pela Lei de Difusão de Fick) foi um optometrista de profissão. Uma de suas invenções (aproximadamente de 1860) foi uma lente de contato de vidro, possivelmente a

primeira lente de contato a ser bem-sucedida em experimento. Durante seus ensaios, ele as utilizou em animais e humanos. No período de 1936 a 1948, foram desenvolvidas lentes de contato plásticas, principalmente de polimetilmetacrilato (RATNER *et al.*, 2004).

A primeira tentativa de quadril foi provavelmente desenvolvida em 1891 por um cirurgião alemão, Theodore Gluck, usando uma bola de marfim cimentada. Esse procedimento não foi bem-sucedido. Numerosas tentativas foram feitas entre 1920 e 1950 para desenvolver uma prótese de substituição do quadril. O cirurgião M. N. Smith-Petersen, em 1925, explorou o uso de um hemisfério de vidro para caber sobre a bola da articulação do quadril. Esta abordagem falhou devido à baixa durabilidade do material. Ligas de cromo-cobalto e aço inoxidável ofereceram melhorias nas propriedades mecânicas e muitas variantes foram exploradas (RATNER *et al.*, 2004).

Em 1938, os irmãos Judet de Paris, Robert e Jean, exploraram uma superfície de acrílico para procedimentos de quadril, mas ela apresentava uma tendência alargar. A ideia de usar acrílicos dentais de fixação rápida para colar próteses em ossos foi desenvolvida pelo doutor Edward J. Haboush em 1953 (RATNER *et al.*, 2004).

Em 1956, McKee e Watson-Farrar desenvolveram um quadril “total” do quadril utilizando uma espécie de xícara metálica que era cimentada na região acetabular. Os produtos, que então apresentavam desgaste de metal sobre metal, provavelmente levaram a altos índices de complicações. Foi então que John Charnley, trabalhando em um sanatório de tuberculose isolado em Wrightington, Manchester, Inglaterra, inventou a primeira prótese articular de quadril realmente bem-sucedida. A haste femoral, a cabeça esférica e o copo acetabular de plástico provaram ser uma solução razoável para o problema da substituição da articulação danificada (RATNER *et al.*, 2004).

Em 1958, o Dr. Charnley usou um copo acetabular de Teflon com resultados ruins devido ao desgaste de detritos.

Em 1961, ele passou a utilizar um copo de polietileno de alto peso molecular e a obter taxas de sucesso muito mais altas. Curiosamente, Charnley soube a respeito do polietileno de alto peso molecular a partir de um vendedor que vendia novas engrenagens de plástico para um de seus técnicos. O Dr. Dennis Smith contribuiu de

maneira importante para o desenvolvimento da prótese de quadril apresentando o Dr. Charnley aos cimentos de poli (metacrilato de metila), desenvolvidos na comunidade odontológica, assim otimizando os cimentos para o uso de prótese de quadril. A substituição total do joelho tomou emprestados elementos da tecnologia de prótese do quadril, e os resultados bem sucedidos foram obtidos no período de 1968 a 1972, com os cirurgiões Frank Gunston e John Insall liderando o caminho (RATNER *et al.*, 2004).

Segundo RATNER, HOFFMAN, *et al.* (2004), é provável que a era moderna na história dos biomateriais projetados para controlar reações biológicas específicas tenha se iniciado a partir de rápidos desenvolvimentos na biologia moderna. Na década de 1960, quando o campo de biomateriais estava estabelecendo seus princípios e ideias, eram controversos conceitos como receptores de superfície celular, fatores de crescimento, controle nuclear de expressão e fenótipo de proteínas, proteínas de ligação celular, células-tronco e entrega de genes. Assim, os pioneiros no campo não poderiam ter projetado materiais com essas ideias em mente. É para o mérito e sucesso da comunidade de biomateriais que ela foi rápida em abraçar e explorar novas ideias da biologia, além das novas ideias da própria ciência dos materiais, como separação de fases, anodização, automontagem, modificação de superfícies e análise de superfícies, que foram rapidamente assimiladas pelos cientistas de biomateriais.

3.2 Conceitos na área de Biomateriais

3.2.1 Biomateriais

Segundo SINHORETI; VITTI; MESTRE (2013), o biomaterial pode ser natural ou sintético deve ser biocompatível com o sistema biológico humano. É responsável pela substituição de alguma parte ou um tecido.

Os autores ainda dizem que os biomateriais, quanto à sua origem, são podem ser classificados como biológicos (i.e., autógenos – paciente; alógenos – doador; xenógenos - animal) ou sintéticos/aloplásticos (metais, cerâmicos e polímeros), ou ainda através da resposta induzida ao meio biológico (bioinertes, bioabsorvíveis e bioativos).

A evolução dos biomateriais divide-se por três diferentes grupos. O primeiro grupo consiste de materiais bioinertes como alumina, zircônia, titânio, tântalo, nióbio

e carbono, empregados com a finalidade de não provocar reação de corpo estranho ao organismo (BRESSIANI *et al.*, 2014); já o segundo grupo é composto pelos materiais bioativos e biodegradáveis, como Ca-fosfato, vitrocerâmicas e hidroxiapatita; o terceiro grupo, por fim, consiste dos materiais responsáveis por estimular respostas celulares em níveis moleculares (biométrica e engenharia tecidual) (HENCH;POLAK, 2002).

3.2.2 Biocompatibilidade (ISO 10993)

De acordo com LANDUCI (2016) a biocompatibilidade abrange todos os aspectos da função do dispositivo, incluindo a interação de células e tecidos com o material implantado. Assim, dado que a aplicação médica necessita de técnicas específicas, a biocompatibilidade se torna complexa e restrita. Um implante deve ser manufaturado com elementos não tóxicos para não causar reações inflamatórias ou alérgicas no sistema biológico do humano.

A definição de biocompatibilidade pode ser interpretada como a aplicação clínica de um biomaterial que não cause reações adversas, tóxicas ou carcinogênicas ao paciente (BORELLI *et al.*, 2010). RATNER *et al.*, (2013) afirmam que a compreensão e mensuração da biocompatibilidade é exclusivo da ciência dos biomateriais. Infelizmente, não temos definições precisas ou medições precisas de biocompatibilidade.

Entretanto, a biocompatibilidade de um instrumento médico tem que ser adequada às suas características de projeto como: geometria, atividades mecânicas e elétricas. Algumas falhas na implantação de articulações, por exemplo, acontecem por haver divergências técnicas em relação a um projeto, ou por problemas referentes às propriedades dos materiais (LANDUCI, 2016).

Segundo DAGUANO; SANTOS; ROGERO (2007) , a biocompatibilidade dos materiais pode ser avaliada por testes *in vitro* e *in vivo*. Os testes *in vitro* podem não representar a situação real de um implante. Contudo, eles podem promover alguns tipos de resultados preliminares relacionados à interação entre o material e o corpo biológico, de forma rápida e eficiente, minimizando a necessidade de testes em animais. O teste de citotoxicidade *in vitro* é especificado pela ISO 10993 como um teste de avaliação inicial que utiliza técnicas de cultura de células.

A norma ISO 10993 recomenda a avaliação da biocompatibilidade, estabelecendo os pontos fundamentais que regem a avaliação biológica de biomateriais e dispositivos biomédicos (BORELLI *et al.*, 2010) e (ISO 10.993, 2016).

3.2.3 Osseointegração

Diversos termos foram usados para descrever os processos biológicos associados à osseointegração. A melhor maneira de compreender esse processo é considerar que células primitivas, indiferenciadas e pluripotentes são estimuladas a se desenvolverem em linhagens de células em formação de osso, ou seja, é a fusão sólida e funcional entre o osso e uma superfície de um biomaterial (HUANG *et al.*, 2017).

JOHNSON *et al.*, (1981) identificaram os fatores principais que influenciam a osseointegração: material do implante, implante, estado do osso, técnica cirúrgica e condições de carregamento do implante. Esses fatores são importantes no controle da interação entre o osso e o material implantado, especialmente durante os processos de cicatrização nos quais os eventos no osso-implante interfaceados determinam a ocorrência de uma separação óssea. As condições na interface osso-implante facilitam a formação de bolhas diretamente na superfície dos implantes.

3.3 Biomateriais utilizados na saúde

Com o aumento da população de idosos e a preocupação com a alimentação das novas gerações, em função do aumento de doenças relacionadas, buscam-se cada vez mais avanços na medicina com o intuito de melhorar a expectativa de vida. Algumas enfermidades que afetam a estrutura óssea, como a osteoporose e a perda de massa óssea, têm gerado maior empenho na produção científica a fim de oferecer uma melhor qualidade de vida para as pessoas. Sabe-se que problemas como os relacionados à estrutura óssea afetam os idosos e também jovens em sua fase mais produtiva, em decorrência de acidentes de trânsito e do próprio trabalho (KAWACHI *et al.*, 2000).

3.3.1 Metais

É possível encontrar as mais variadas matérias-primas para obtenção de biomateriais, e podemos ressaltar o grupo dos metais por demonstrar excelente desempenho mecânico, como elevada resistência à fadiga e à fratura. Em virtude dessas qualidades, os metais têm sido amplamente utilizados como componentes

estruturais, tendo em vista a substituição, o reforço ou a estabilização de tecidos rígidos, os quais são continuamente sujeitos a altas cargas de tração e compressão. Com esse propósito os usos mais comuns são fios, parafusos e placas para fixação de fraturas, implantes dentários e próteses para substituição de articulações (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

Podemos também utilizar os metais na fabricação de válvulas cardíacas artificiais e endopróteses expansíveis (*stents*), que oferecem resistência mecânica, durabilidade e possibilidade de visualização em imagens de raios-X. Uma excelente característica dos metais é a boa condutividade elétrica, que ajuda na obtenção de dispositivos de estímulo neuromuscular, como os marca-passos cardíacos. A principal vantagem dos metais é a possibilidade de polimento e abrasão da superfície, bem como a facilidade de esterilização. No momento atual, os metais mais utilizados no segmento da saúde são os grupos dos aços inoxidáveis, as ligas de titânio e o titânio comercialmente puro, e as ligas à base de cobalto-cromo. A tabela 01 aproxima os tipos, exemplos e suas aplicações segundo (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

Tabela 1: principais ligas e aplicações na área da saúde

Metal ou liga	Aplicações
Aço inox 316L	Fixação de fraturas, <i>stents</i> , instrumentos cirúrgicos
CP-Ti, Ti-Al-V, Ti-Al-Nb, Ti-13Nb-13Zr, Ti-Mo-Zr-Fe	Substituição de ossos e articulações, implantes dentários, encapsulação de marca-passo
Co-Cr-Mo, Cr-Ni, Cr-Mo	Substituição de ossos e articulações, restaurações e implantes dentários, válvulas cardíacas
Ni-Ti	Placas ósseas, <i>stents</i> , fios ortodônticos
Ligas de ouro, amálgama de Hg-Ag-Sn	Restaurações dentárias
Prata	Agente antimicrobiano
Platina e Pt-Ir	Eletrodos

Fonte: Adaptado de PIRES; BIERHALZ; MORAES, (2015).

Aço Inoxidável

O aço inoxidável é uma liga à base de ferro e cromo (mínimo de 12%) que apresenta como característica não ser oxidável, e é obtida pela formação de uma camada de óxido de cromo na superfície. Quanto maior o teor de óxido de cromo,

maior será a sua resistência à corrosão. Entre suas vantagens, podemos citar a presença de ótimas propriedades mecânicas, o baixo custo em relação a outros metais, o fácil processamento e a alta disponibilidade (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

Como explica LANDUCI (2016), esse aço pode ser classificado em dois grupos: cromo e cromo-níquel, de acordo com a composição química. Por outro lado, podemos agrupá-lo em quatro famílias baseadas na característica da microestrutura da liga: Martensíticos, Ferríticos, Austeníticos e Duplex (Ferríticos e Austeníticos).

As propriedades de dureza dos Martensíticos (acima de 97 HB) os torna ideais para instrumentos cirúrgicos e odontológicos. Os Ferríticos são menos empregados em aplicações médicas. Já os Austeníticos têm maior representatividade por oferecer excelente resistência à corrosão, mas não alta resistência para a aplicação em dispositivos não implantáveis e também para próteses (HANAWA, 2009).

Titânio e ligas de titânio

Atendendo a requisitos para a área de biofabricação, o titânio e as ligas de titânio são melhores quando comparados a muitos outros tipos de materiais, como o aço inoxidável, por exemplo, em termos de propriedades mecânicas e de biocompatibilidade. É importante ressaltar que a biocompatibilidade do titânio e das ligas de titânio ainda requer melhoras, e por isso esse material ainda não é satisfatório para uso em tratamentos.

Para a aplicação em implantes dentários e ortopédicos, as ligas de titânio apresentam compatibilidade aceitável, devido ao filme de óxido formado em sua superfície. A modificação da superfície tornou-se recentemente ativa no campo dos implantes, como revestimento de hidroxiapatita por pulverização de plasma. CUI *et al.* (2005) destacam um novo material biocompatível: o nano-TiO₂, com revestimento de ligas de titânio na superfície, apresenta boa biocompatibilidade.

As ligas de titânio têm sido amplamente utilizadas para cirurgia de reconstrução óssea, incluindo procedimentos como substituição, artroplastia total do joelho, placa de compressão dinâmica e fixação lombar. As ligas de titânio demonstram alta resistência mecânica e um módulo de elasticidade relativamente mais baixo, além de biocompatibilidade. Consistem em um biomaterial com um módulo elástico semelhante ao osso, que pode minimizar a blindagem de estresse. As ligas de titânio

têm um módulo de elasticidade mais baixo que o das ligas de Co-Cr e dos aços inoxidáveis. Nesse contexto, a liga de titânio Ti-6Al-4V é uma das mais utilizadas, por apresentar baixa densidade e boa resistência à corrosão (KUMAR; MISRA, 2018).

Ligas à base de cobalto-cromo

De acordo com (HANAWA, 2009), as ligas de Co-Cr foram originalmente desenvolvidas para motores de aeronaves e materiais resistentes ao calor. Essas ligas mostram-se com alta resistência, tenacidade, estabilidade, resistência à corrosão e resistência ao desgaste. A resistência à corrosão das ligas de Co-Cr é melhor do que a resistência do aço inoxidável. A resistência ao desgaste é muito melhor do que a de materiais em aço inoxidável ou em ligas de titânio; a plasticidade e a trabalhabilidade, no entanto, não são tão bons como as do aço inoxidável.

O primeiro *stent* coronário usado clinicamente e ainda em uso é feito de uma superliga chamada Elgiloy, um 40Co-20Cr-15Ni-7Mo-Mn que foi desenvolvido por ser resistente à corrosão, possuir alta resistência mecânica, ductilidade e boa resistência à fadiga e ao calor (HANAWA, 2009).

Atualmente, as ligas de Co-Cr são usadas na ortopedia, como, por exemplo, a liga *Wallstent*, uma endoprótese. Já na ortodontia, em arcos de arco e para uso biomédico, usam-se as ligas de Co-Cr-Mo fundidas, comumente conhecidas como Vitallium®, resistentes à corrosão. Por causa do carboneto em sua estrutura, as ligas de Co-Cr têm excelente resistência ao desgaste e são usadas para peças deslizantes, como, por exemplo, articulações artificiais. Têm uma excelente estabilidade, o que as torna aplicáveis a bases de prótese. Ligas de Co-Cr trabalhadas são usadas para *stents* e foram projetadas para evitar defeitos de fundição. A força e o alongamento das ligas Co-Cr forjado aumentam com o tratamento térmico e o trabalho a frio, e são tão altos quanto as do aço inoxidável. A resistência à corrosão da liga de Co-Cr forjado é menor que a da liga de Co-Cr fundido, mas superior à de aço inoxidável. Portanto, a liga forjada é usada para fios-guia, cliques, fios ortodônticos e cateteres (HANAWA, 2009).

3.3.2 Polímeros

Na área da saúde, os biomateriais poliméricos estão entre os mais utilizados, atrás apenas dos materiais metálicos, comparados com os demais biomateriais. Os materiais poliméricos oferecem versatilidade, facilidade de produção, possibilidade de

criar as mais diversas geometrias (partículas, filmes, fios, dentre outros), custo competitivo e maior disponibilidade no que tange a encontrar materiais com as diversas propriedades mecânicas e físicas desejadas para aplicações específicas, quando comparados aos materiais cerâmicos ou metálicos (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015) .

Além disso, a inserção dos polímeros no campo dos biomateriais claramente se reflete no impressionante tamanho do mercado dos polímeros médicos, um negócio estimado em cerca de US\$ 1 bilhão com crescimento anual de 10-20% (HE; BENSON, 2017).

Na tabela 02 são mostradas as estruturas monoméricas e aplicações de alguns tipos de polímeros comumente utilizados na constituição de biomateriais.

Tabela 2: polímeros comumente usados na produção de biomateriais e exemplos de aplicações.

Polímero	Aplicações
Polietileno (PE)	Tubos de drenagem e cateteres
Polipropileno (PP)	Suturas e reparo de hérnias
Poli(tereftalato de etileno) (PET)	Enxertos vasculares, reconstrução de ligamentos e fixação de implantes
Poli(ácido láctico-co-ácido glicólico) (PLGA)	Suturas e suporte para crescimento celular
Poli(ϵ -caprolactona) (PCL)	Dispositivo para liberação de drogas e suporte para crescimento celular
Poli(cloreto de vinila) (PVC)	Sacos para armazenamento de sangue
Poli(dimetilsiloxano) (PDMS)	Suporte para crescimento celular
Poli(2-hidroxietilmetacrilato) (poli(HEMA))	Lentes de contato
Ácido hialurônico	Carreador de células, substituto de fluido sinovial
Quitosana	Curativos, suporte para crescimento celular e dispositivo para liberação de
	Drogas
PEEK	Âncora, parafuso de interferência

Fonte: Adaptado de PIRES; BIERHALZ; MORAES (2015).

Polímeros sintéticos

De acordo com um levantamento feito por HACKER; KRIEGHOFF; MIKOS (2019), uma característica comum da maioria dos polímeros sintéticos é a sua inércia biológica. Polímeros sintéticos fornecem a base para uma infinidade de dispositivos

médicos tão diversos quanto materiais de sutura, implantes ortopédicos, dispositivos de fixação para fraturas, cateteres e tubos de diálise. Esses materiais também são aplicados como portadores implantáveis para o fornecimento a longo prazo de drogas como, por exemplo, hormônios contraceptivos. Apesar de sua excelente inércia biológica, bem como suas propriedades mecânicas ajustáveis, implantes ortopédicos feitos de polímeros sintéticos e cimentos ósseos graduáveis falham em alta taxa contra problemas na interface, decorrentes de falta de integração com o tecido circundante, infecções ou reabsorção óssea causada por blindagem contra estresse. Nesta categoria, os principais tipos de polímeros constituintes de biomateriais são: poliamidas, polietileno, polipropileno, poliacrilatos, fluorocarbonos, poliésteres, poliuretanos.

Polietileno (PE), Polipropileno (PP) e Poliestireno (PS)

São polímeros termoplásticos industriais aplicados como biomateriais. São hidrocarbonetos sintetizados pela polimerização direta de seus monômeros correspondentes. O polietileno tem sido usado para produzir cateteres por ter alta densidade, e é caracterizado por um baixo grau de ramificação e, portanto, fortes forças intermoleculares e resistência à tração. Tem sido processado em próteses de quadril altamente duráveis. Por sua vez, a aplicação mais conhecida do polipropileno é seu uso em corpos de seringa (HACKER; KRIEGHOFF; MIKOS, 2019).

- **Politetrafluoroetileno (PTFE)**

O politetrafluoroetileno (PTFE), conhecido como Teflon, pode ser sintetizado a partir de tetra-fluoroetileno líquido por polimerização radicalar e fluoração de polietileno. Entre os polímeros conhecidos, o PTFE tem o menor coeficiente de atrito e excelente resistência a produtos químicos e é hemocompatível. As telas porosas de fibra de PTFE tornaram-se um popular material de enxerto vascular (HACKER; KRIEGHOFF; MIKOS, 2019).

- **Poli 2-hidroxietilmetacrilato ou PHEMA**

O PHEMA foi o primeiro hidrogel a ser utilizado com sucesso para uso biológico. O PHEMA tende a tornar-se o principal componente da maioria das lentes de contato gelatinosas e faz parte das lentes intraoculares. Devido à sua hidroxila livre, os géis PHEMA contêm quantidades relativamente elevadas de água, o que facilita a difusão de solutos e oxigênio. O PHEMA tem excelente biocompatibilidade, o que suscitou o

desenvolvimento de uma infinidade de hidrogéis copolímeros contendo metacrilato. Os hidrogéis fabricados a partir de PHEMA e copolímeros caracterizam-se principalmente por aplicações controladas de liberação de medicamentos e por usos biomédicos. Os PHEMA géis, que têm propriedades mecânicas limitadas, têm sido utilizados na tentativa de reconstruir seios femininos e cartilagens, caso das córneas artificiais, por exemplo, bem como em curativos (HACKER; KRIEGHOFF; MIKOS, 2019).

Polímeros naturais

Cresce cada vez mais o uso de polímeros naturais em suas aplicações na área de substituição óssea e de tecido. Todo e qualquer material usado com esta finalidade deve ser biocompatível, ter características tridimensionais físicas e mecânicas; também deve ser capaz de suportar funções celulares apropriadas e de ser substituído gradualmente pelo novo tecido em regeneração. Uma diversidade de polímeros naturais tem sido usada, incluindo proteínas da matriz extracelular (como o colágeno), polissacarídeos (como a quitosana, o alginato, o amido e a celulose) e glicosaminoglicanos (como o ácido hialurônico).

Pesquisas recentes de HUTCHENS *et al.*, (2006), revelaram a formação e caracterização de celulose bacteriana/hidroxiapatita compósitos com potencial para substituição óssea, ambos degradável. A celulose bacteriana foi usada para formar o compósito, enquanto a hidroxiapatita presente no compósito viabilizou o desenvolvimento de partículas nanométricas semelhantes a agulhas, de composição semelhante à observada em osso humano.

Blendas e complexos poliméricos

A mistura entre dois ou mais polímeros ou as blendas resultantes da mistura física de dois materiais distintos possuem grande relevância na área de biomateriais. Por meio destes métodos podem ser adquiridos dispositivos com propriedades físico-químicas, mecânicas e biológicas melhoradas quando comparados aos polímeros isolados (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

Pode-se citar, entre os biopolímeros, a quitosana, que assegura a obtenção de membranas e filmes para o tratamento de lesões de pele, embora também se possa dizer que sua resistência mecânica e sua capacidade de consumir fluidos corpóreos sejam baixas (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

É fato, portanto, que a quitosana, a fim de se aprimorarem suas propriedades, deve ser utilizada em combinação com outros compostos; entre eles, especificamente, a heparina, a xantana, o colágeno e o alginato. O problema é que – não se pode deixar de notar –, quando a quitosana e o alginato são misturados em fase aquosa, formam um complexo polieletrólito (PEC). Vale lembrar que o alginato auxilia na manutenção de um microambiente úmido na lesão, facilitando a re-epitelização e aliviando a dor do paciente (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

Em vista disso, diversas pesquisas estão sendo realizadas com o objetivo de melhorar as combinações de polímeros com metais e com cerâmicas, visando a melhores propriedades. Pode-se dizer que tais combinações se nomeiam biomateriais híbridos ou compósitos (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

3.3.3 Cerâmicas

Na indústria médica as classes das cerâmicas, vidros e vitrocerâmicas têm sido primordiais na fabricação de óculos, instrumentos de diagnóstico, produtos químicos, termômetros, frascos de cultura de tecidos e fibra ótica para endoscopia, por terem uma ampla gama de composições inorgânicas não-metálicas.

As cerâmicas também são extensivamente utilizadas na odontologia como materiais restauradores, como em coroas de ouro-porcelana, cimentos de ionômero preenchidos com vidro e dentaduras. Esta classe de material é geralmente usada para a reparação e substituição de um tecido danificado (RATNER *et al.*, 2004).

Alumina ou Óxido de Alumínio

Com suas propriedades de superfície construtiva, sua estabilidade térmica e acidez, a alumina ou o óxido de alumínio funcionam como catalizador em diferentes reações catalíticas, apresentando bom desempenho na resistência ao uso e à corrosão, propiciando uma combinação de propriedades mecânicas e elétricas que beneficia seu uso em diversas aplicações (SAID; MIKHAIL; RIAD, 2019).

Zircônia

Com o desenvolvimento dos processos de endurecimento e aumento de resistência devido a transformações de fase por meio da luz, a zircônia tem sido bastante empregada em aplicações de cerâmica avançadas desde meados da década de 1970. A adição de estabilizadores para controlar essa transformação, em consequência de novas aplicações, faz-se obrigatória de acordo com a estrutura principal da zircônia, considerando-se sua quantidade e o principal elemento do

aditivo. As características do óxido de ítrio (Y₂O₃), como sua excelente resistência mecânica, capaz de disputar com ligas de titânio, apesar de inerte em contato com fluidos corporais, favorece o uso de zircônia em cerâmica. Isto tem promovido sua aplicação em implantes dentários, enxertos ósseos, próteses e restaurações dentárias (ROEDEL *et al.*, 2017).

Fosfatos de cálcio

Os ossos consistem tipicamente em 25% de água, 15% de materiais orgânicos e 60% de fases minerais. As fases minerais consistem principalmente de íons, cálcio e fosfato, sendo que, entre os íons, encontram-se traços de magnésio, carbonato, hidroxila, cloreto, flúor e citrato. Por isso, os fosfatos de cálcio são naturalmente encontrados no corpo, mas também na natureza como rochas minerais, e certos compostos podem ser sintetizados em laboratório (RATNER *et al.*, 2004).

Biovidros e vitrocerâmicas

Certamente, de acordo com a necessidade e as diferentes formas de materiais bioativos a serem sintetizados e utilizados na cura ou reparo de tecidos corporais, os diversos materiais bioativos são escolhidos para aplicação na odontologia e na osteologia. Isso é geralmente obtido por meio de interações biológicas entre os tecidos e os materiais.

O vidro e as cerâmicas de vidro compõem uma ampla diversidade de materiais bioativos e geralmente incluem óxidos de silício, fósforo, magnésio, cálcio e sódio.

É notável o desempenho de óculos bioativos em aplicações odontológicas, como materiais de preenchimento e inibidores de deterioração ou corrosão. Os materiais vidro bioativo ou as cerâmicas vítreas são consideradas os biomateriais menos ativos e inertes, cuja presença pode ser facilmente experimentada no corpo humano em comparação com os materiais de fibras inertes (DAHIYA; TOMER; DUHAN, 2019).

3.3.4 Naturais

Polímeros naturais possuem a vantagem de serem muito semelhantes ou, muitas vezes, idênticos às substâncias macromoleculares que o meio biológico está preparado para reconhecer e com que está acostumado a lidar metabolicamente. Como característica intrigante, porque se trata de enzimas que ocorrem naturalmente, existe a garantia virtual de que o implante será eventualmente metabolizado por mecanismos fisiológicos. Essa propriedade pode parecer uma desvantagem num

primeiro momento, uma vez que diminui a durabilidade do implante, no entanto tem sido utilizado como vantagem em aplicações de biomateriais em que se deseja fornecer uma função específica durante certo período de tempo, após o que se espera que o implante se degrade completamente e seja eliminado por processos metabólicos geralmente normais (RATNER *et al.*, 2004).

Ácido hialurônico (AH)

Em tecidos de mamíferos, nas regiões de pele, tendões, fluido sinovial, humor vítreo ocular e cordão umbilical, pode ser encontrado o ácido hialurônico (AH). Suas principais funções são a hidratação, lubrificação e estabilização do meio circulante. A aplicação desse tecido auxilia na reparação de feridas e no preenchimento de tecidos moles a fim de corrigir depressões, rugas e sulcos. Os Hidrogéis fundamentados em ácido hialurônico estão sendo aplicados na medicina reparativa, no incentivo do crescimento celular e no desenvolvimento de moléculas pequenas, anticorpos, micro e nanopartículas (PRESTWICH, 2011).

Quitosana

A quitosana é um biomaterial natural que tem como características biocompatibilidade, não toxicidade, biodegradabilidade, bioadesividade e ação contra fungos, bactérias e vírus, o que o torna um dos mais variáveis e promissores da categoria. Este biomaterial vem sendo aplicado na área de engenharia tecidual para reparo da pele, osso e cartilagens, por interagir de formas específicas com componentes da matriz extracelular (KHOR; LIM, 2003).

Colágeno

O colágeno vem sendo utilizados na engenharia de tecidos e na medicina regenerativa na preparação de *scaffolds*. Em combinação com fibronectina, laminina e outros glicosaminoglicanos, formam um microambiente biológico que favorece o crescimento celular e a regeneração tecidual (Si *et al.*, 2019).

Alginato

Possui alta massa molecular e pode ser encontrado na parede celular de espécies de algas marinhas marrons. As principais características são a alta pureza e biocompatibilidade. Tem despertado grande interesse da área médica por possuir uma estrutura polimérica padronizada (RATNER *et al.*, 2004).

3.3.5 Compósitos

Compósito, como se sabe, designa algo composto de duas ou mais partes distintas. Os materiais poliméricos podem ser chamados de compósitos por apresentarem um agrupamento atômico distinto. A maioria dos materiais compósitos são fabricados para oferecer propriedades mecânicas, como resistência, rigidez, dureza e resistência a fadiga.

A diversidade das aplicações dos biomateriais mostrada pela tabela 3, assim como o amplo espectro de sua composição química e a necessidade de formas e morfologias apropriadas para sua utilização, fazem da pesquisa nesta área do conhecimento um trabalho de característica eminentemente interdisciplinar, envolvendo fatores que definem o sucesso de suas aplicações, tais como: rotas de síntese, processamento em formas variadas, qualidade e esterilidade clínica e resposta do tecido hospedeiro.

Dessa forma, o desenvolvimento de biocerâmicas e de próteses constituídas destes materiais deve ocorrer sob as mesmas condições de interdisciplinaridade que determinam o desenvolvimento de qualquer outro biomaterial. Dentro desse contexto, os profissionais da área química podem contribuir de forma significativa para a evolução desta área e para o aumento do leque de sua aplicabilidade, através do desenvolvimento de novos e eficazes biomateriais e também na através da elucidação dos mecanismos que governam a regeneração óssea (KAWACHI *et al.*, 2000).

Tabela 3: aplicações clínicas dos biomateriais

BIOMATERIAL	VANTAGENS	DESVANTAGENS	APLICAÇÕES
Metais			
Liga de titânio, liga de cromo-cobalto, Aço inoxidável	Alta força de tensão, alta resistência a desgaste, energia de deformação alta.	Baixa biocompatibilidade, corrosão em meio fisiológico, perda das propriedades mecânicas com tecidos conectivos moles, alta densidade	Fixação ortopédica (parafusos, pinos, placas, fios, hastes); implantes dentários.
Polímeros			
Polietileno, Poliéster, PMMA, Silicone	Elasticidade, fácil fabricação, baixa densidade.	Baixa resistência mecânica, degradação dependente do tempo.	Suturas, artérias, veias; maxilofacial (nariz, orelha, maxilar, mandíbula, dente); cimento, tendão artificial; oftalmologia.
Cerâmicos			
Alumina, Zircônia, Carbono, Fosfato de cálcio, Porcelana, Vidros bioativos	Boa compatibilidade, resistência à corrosão, inércia, alta resistência à compressão.	Baixa força de tensão, baixa resistência mecânica, baixa elasticidade, alta densidade.	Ossos, juntas, dentes, válvulas, tendões, vasos sanguíneos e traquéias artificiais.
Natural			
Colágeno, Fibrina, Seda	Boa compatibilidade, obtidos de fontes renováveis, interagem facilmente com as células.	Variabilidade da matéria-prima dependendo da época de coleta e local, elevada resistência a tração.	Ossos, Cartilagem, Coração, Ligamento, Nervos, Vasculatura, Fígado.
Compósitos			
Fibra de carbono-resina termofixa, Fibra de carbono-termoplástico, Carbono-carbono, Fosfato de cálcio-colágeno	Boa compatibilidade, inércia, resistência à corrosão, alta força de tensão.	Material de fabricação incompatível.	Válvula cardíaca artificial (carbono ou grafite pirolítico), implantes de juntas de joelho (fibra de carbono reforçada com polietileno de alta densidade).

Fonte: Adaptado de PIRES; BIERHALZ; MORAES (2015)

3.4 Grandes áreas de aplicação dos Biomateriais na saúde

3.4.1 Ortopedia

O uso dos biomateriais na ortopedia tem sido utilizado para restaurar a mobilidade e a qualidade de vida do paciente. Os implantes ortopédicos incluem produtos reconstrutivos para manutenção de fraturas, para coluna vertebral, reabilitação, procedimentos artroscópicos e estimulação elétrica. Geralmente o uso desses produtos é para a fixação de fraturas, substituição de juntas ou estabilização dinâmica (HALLAB; LACOBS, 2013). Podemos verificar, nas categorias listadas abaixo, algumas das aplicações mais específicas:

Dispositivos de fixação de fraturas:

- dispositivos de fixação espinhal;
- placas de fratura;
- fios, pinos e parafusos;
- dispositivos intramedulares;
- ligamentos artificiais.

Reposição de articulações:

- artroplastia do quadril;
- artroplastia de joelho;
- artroplastia de coluna;
- artroplastia do tornozelo;
- artroplastia do ombro;
- artroplastia do cotovelo;
- artroplastia do punho;
- artroplastia do dedo;

Dispositivos de estabilização dinâmica (novos):

- dispositivos de estabilização da coluna.

Os biomateriais ortopédicos têm tido êxito no mercado mundial, atingindo uma receita de aproximadamente US \$ 24 bilhões em 2007, com uma taxa de crescimento projetada de 7 a 9% ao ano. Os resultados das vendas dos produtos para manutenção ou procedimentos de fraturas por trauma somaram aproximadamente US \$ 3,7 bilhões em 2007, durante o período em que US \$ 10 bilhões foram utilizados em substituições de articulações de joelho e quadril, segundo HALLAB; JACOBS (2013). Os autores ainda afirmam que as vendas totais de produtos de implantes de joelho

corresponderam a aproximadamente US \$ 5,8 bilhões em 2007, representando aproximadamente 1,5 milhão de cirurgias de substituição de joelho.

3.4.2 Dental

Uma parte considerável da população mundial está perdendo dentes progressivamente por causa de doenças dentárias e envelhecimento. Desse modo, a área dental vem preparando os profissionais para lidar com uma ampla gama de tratamentos no intuito de evitar perdas de dentição e doenças orais (LEMONS; MISCH, 2013).

Os especialistas de implantes dentários são responsáveis por buscar tecnologias para o desenvolvimento de implantes, sua fabricação, acabamento e implantação no paciente, além dos mais diversos aspectos de restaurações protéticas intraorais e manutenções de longo prazo (LEMONS; MISCH, 2013).

3.4.3 Cardiologia

Segundo SHOEN (2013), nas últimas décadas vem crescendo a quantidade de procedimentos de diagnóstico e de intervenções cirúrgicas realizados em pacientes com doenças cardiovasculares.

De acordo com dados da *National Center for Health Statistics* e da *American Heart Association*, em torno de 7 milhões de cirurgias cardíacas e vasculares são realizadas por ano nos Estados Unidos. Em 2006, foram realizados 641.000 procedimentos coronarianas percutâneas, na maioria utilizando *stents* endovasculares e *stents* farmacológicos. Foram realizados também 253.000 procedimentos de revascularização miocárdica, 104.000 procedimentos valvares cardíacos, usando em torno 85.000 válvulas cardíacas substitutas e 418.000 marca-passos, 114.000 cardioversores ou desfibriladores implantados e suas derivações, e muitos dispositivos de assistência cardíaca, enxertos vasculares e adesivos (SCHOEN, 2013).

Na grande maioria dos casos, para uso clínico de paciente com insuficiência cardíaca, são utilizados Dispositivos de Assistências Ventricular (DAV) para fornecer assistência de fluxo a um lado do coração, como uma ponte para o transplante cardíaco de paciente em fase terminal, que teria baixa probabilidade de sobreviver até um órgão doado tornar-se disponível. No mesmo grupo de 2006 acima referido, segundo SCHOEN (2013), cerca de 70% dos pacientes sobreviveram até o transplante cardíaco com o auxílio do DAV e, com a ajuda de dispositivos mais novos, 79% tiveram sobrevida ao transplante.

3.4.4 Oftalmologia

Nos Estados Unidos, segundo a *National Eye Institute*, estima-se que em torno de 2,4 milhões de pessoas com idade acima de 40 anos são deficientes visuais e cerca de 1 milhão é cego. No Brasil, a OMS estima em torno de 269 milhões de brasileiros com deficiência visual e, em todo o mundo, 45 milhões com cegueira (STEINERT; JAIN, 2013).

As principais causas de deficiência visual e cegueira são principalmente doenças relacionadas à idade, como:

- catarata;
- glaucoma;
- degeneração macular relacionada à idade;
- retinopatia diabética.

A catarata é o turvamento progressivo, com a idade, da lente natural, e pode ser causada por trauma, lesão ou defeito congênito, ou também pode resultar de outras patologias ou medicamentos subjacentes, como o uso prolongado de esteroides. Essa doença é a principal causa da perda de visão e é tratável. Cerca de 20,5 milhões de pessoas com idade acima de 40 anos são afetadas pela catarata, e são feitas em média 2 milhões de cirurgias por ano nos Estados Unidos. O procedimento para realização da cirurgia de catarata é seguro e tem probabilidade de sucesso superior a 90% (STEINERT; JAIN, 2013).

Uma exclusividade da oftalmologia, as propriedades ópticas são críticas para lentes de contato, córneas artificiais e lentes intraoculares, e os biomateriais devem desempenhar a função com base nesta propriedade. Os materiais precisam ser transparentes, ter ótimo índice de refração (igual ou maior que o do tecido que está sendo trocado) e também deve oferecer ao paciente conforto e biocompatibilidade (STEINERT; JAIN, 2013).

3.5 Mercado de Biomateriais

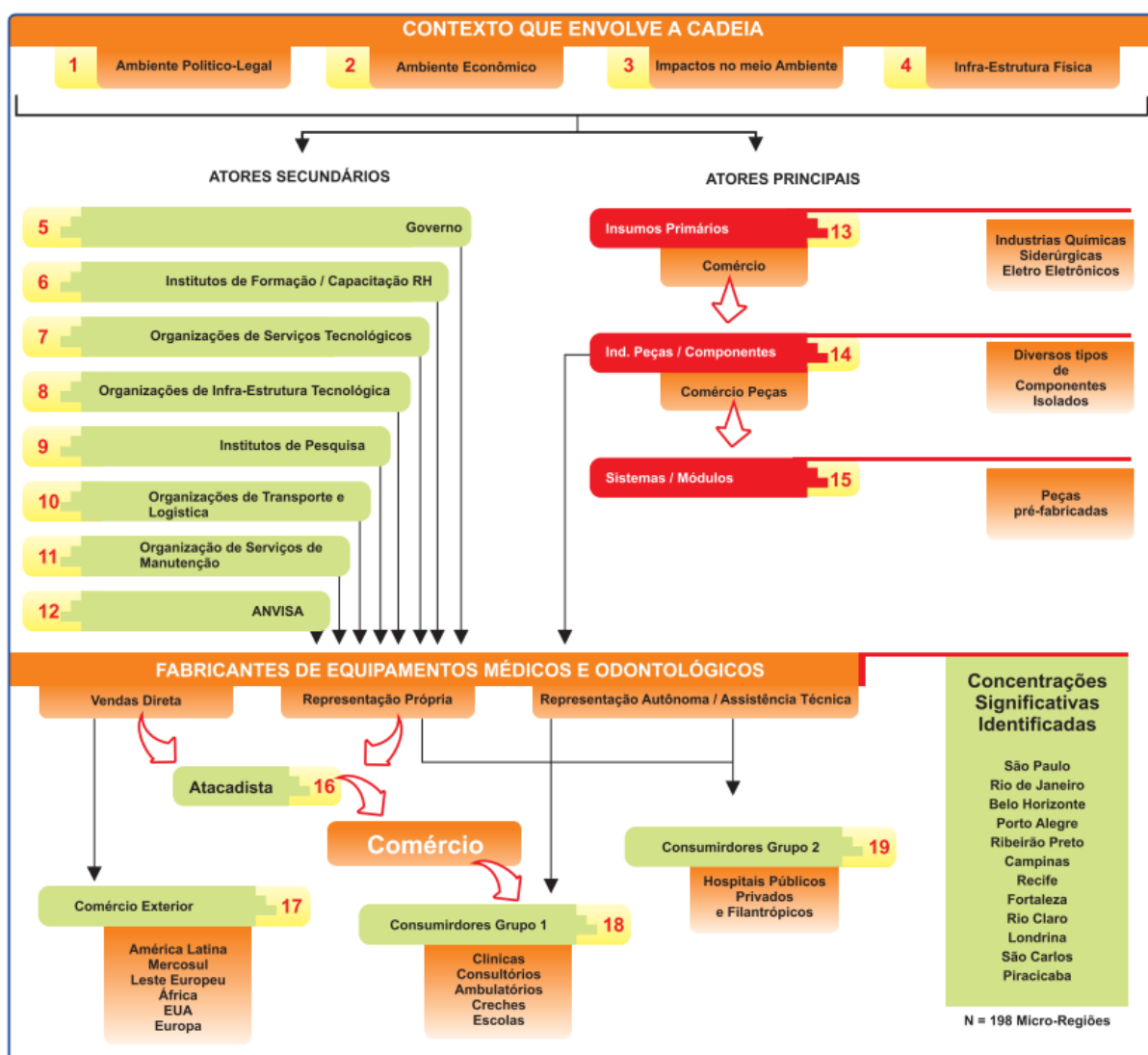
A indústria de equipamentos e materiais médicos, hospitalares e odontológicos (EMHO) tem um papel importante no complexo industrial da saúde (CIS). Esse segmento engloba equipamentos, materiais e insumos utilizados em serviços de saúde e grande parte do mercado é dominada por grandes empresas, sendo muitas delas norte-americanas (PIERONI; REIS; SOUZA, 2010).

A cadeia produtiva no Brasil é formada por pequenas e médias empresas de médio e baixo nível tecnológico, e vem enfrentando um grande desafio, que é atender

as demandas da saúde junto à necessidade do desenvolvimento de uma base industrial diversificada e inovadora (PIERONI; REIS; SOUZA, 2010).

O complexo industrial de EMHO, representado pela figura 1, envolve um conjunto de indústrias que produzem bens de consumo e equipamentos especializados para uso médico, bem como um conjunto de organizações prestadoras de serviços em saúde que são as consumidoras dos produtos manufaturados pelos consumidores desses produtos e organizadores da demanda.

Figura 1: cadeia produtiva do setor de EMHO



Fonte: (ABDI; CGEE, 2008)

De acordo com a ABIMO (2015), este segmento é classificado em seis categorias:

Laboratório: constituído por equipamentos, reagentes e outros materiais utilizados por laboratórios de análises clínicas, de pesquisa e de empresas.

Radiologia e Diagnóstico de imagem: compreendem equipamentos, aparelhos e acessórios para raios X, processadores de imagens para diagnóstico, equipamentos de tomografia computadorizada e diagnóstico por ressonância magnética.

Equipamentos médico-hospitalares: compõe-se do grupo de produtos eletro-médicos, instrumentos cirúrgicos, equipamentos fisioterápicos, hotelaria e mobiliário. Dentre os produtos destacam-se os seguintes: monitor cardíaco, ventilador pulmonar, mesa cirúrgica, equipamentos para hemodiálise e aparelhos de ultrassom.

Implantes: é constituído de produtos implantáveis destinados a usos ortopédicos (próteses articulares e implantes), cardíacos (marca-passos, desfibriladores e válvulas) e neurológicos (válvulas e cateteres).

Material de consumo médico-hospitalar: compreende os materiais de consumo hipodérmicos, como agulhas e seringas, e têxteis, como compressas de gaze, ataduras e outros (cateteres, equipamentos para soro e transfusão).

Odontológico: integrado por equipamentos odontológicos, como cadeiras de dentista, equipos, refletores, equipamentos de raios X, implantes odontológicos e material de consumo, como resinas, amálgamas e ceras.

O cenário do mercado mundial de equipamentos médicos e materiais é avaliado em aproximadamente US\$ 210 bilhões, e a maior fatia desse mercado está nos países desenvolvidos, contando com a participação majoritária dos Estados Unidos, que representa mais de 40% do mercado internacional, como se pode observar na tabela 4.

Tabela 4: participação no mercado mundial (2008)

	País	US\$ Milhões	%
1	EUA	85.562	40,71%
2	Japão	23.023	10,95%
3	Alemanha	12.446	5,92%
4	Grã-Bretanha	9.944	4,73%
5	França	7.820	3,72%
6	Itália	7.294	3,47%
7	Canadá	4.961	2,36%
8	Espanha	4.079	1,94%
9	China	3.976	1,89%
10	Suíça	3.487	1,66%
11	Brasil	2.987	1,42%
12	Outros	44.613	21,22%
	Total	210.192	100,00%

Fonte: PIERONI; REIS; SOUZA (2010)

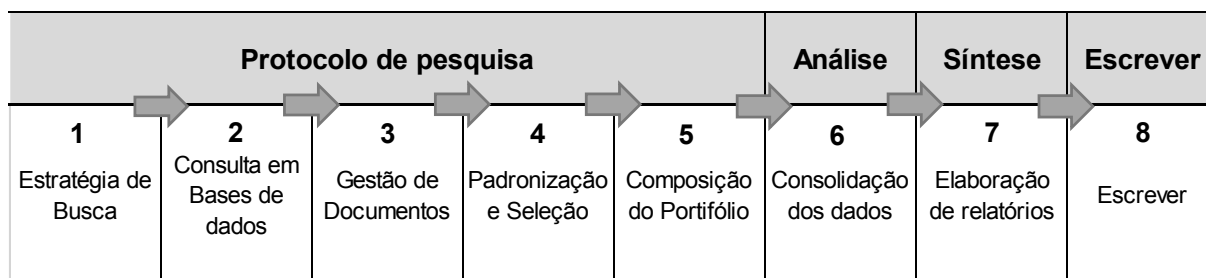
4 MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção se valerá da abordagem quantitativa dos dados obtidos, que possibilitará a mensuração dos dados disponíveis em diferentes bases de dados, a fim de dar sustentação metodológica à análise e possibilitar aos leitores uma melhor compreensão dos resultados.

A partir de um levantamento teórico, e buscando definições sobre o tema a ser estudado, utilizaremos uma ferramenta de revisão sistemática da literatura. Nossa expectativa é levantar informações publicadas em instituições públicas e privadas, a fim de esclarecer qual a tendência, dentro deste tema, em uma escala de tempo.

Para sistematizar o processo de busca nas bases de dados e estruturar uma estratégia, baseou-se no método *Systematic Search Flow* (SSF) de FERENHOF; FERNANDES (2016). Pode-se observar na figura 2 o modelo, organizado em 4 fases e 8 estágios.

Figura 2: representação do método *Systematic Search Flow* (SSF)



Fonte: FERENHOF; FERNANDES (2016)

4.1 Protocolo de pesquisa

O estágio 1 consiste na estratégia de busca, que visa orientar o pesquisador no levantamento de dados e informações importantes para a pesquisa.

Para se obter o detalhamento dos dados é necessária a organização dos termos que serão utilizados para buscar os dados. Na figura 3 mostram-se os grupos de biomateriais, os materiais, as bases de dados, as áreas de aplicação e o período de tempo.

Figura 3: organização da estratégia de busca

Período (anos)	2012	2018		
Bases de dados científicas	<i>Web of Science</i>	<i>Scopus</i>		
Bases de dados econômicos	Abimo	Comex Stat		
Áreas de aplicação	Cardiologia	Dental	Ortopedia	Oftalmologia
Grupos dos materiais	Metal	Polímero	Cerâmica	Natural
Biomateriais	Aço inoxidável	Borracha de silicone	Carbono	Ácido hialurônico
	Cromo Cobalto	Cloreto de Polivinila	Fosfato de cálcio	Alginato
	Ouro	Nylon	Óxido de alumínio & Alumina	Celulose
	Platina	Poliéster	Sulfato de Cálcio	Colágeno e Gelatina
	Prata	Polietileno	Vidro	Quitina
	Titânio	Polimetilmetacrilato & PMMA	Zircônio	Quitosana

No estágio 2, “Consulta em Bases de Dados”, o pesquisador definiu mecanismos para as bases científicas.

Os mecanismos estabelecidos são:

- TÍTULO: busca por biomaterial (termo em inglês);
- TÓPICO: busca por área de aplicação (termo em inglês);
- ANO DE PUBLICAÇÃO: de 2012 até 2018.

O cruzamento de TÍTULO (biomaterial), TÓPICO (área de aplicação) e ANO DE PUBLICAÇÃO (2012 a 2018) tem como resultado o número de publicações por grupo de biomateriais e também por biomaterial. Esse cruzamento pode ser feito pelo uso de operadores lógicos e operadores relacionais disponíveis nas bases de dados. Cada base de dados possui o próprio operador lógico.

Os principais operadores lógicos são:

AND – (E lógico) - só mostra documentos que contenham ambos os termos pesquisados. Ex.: **TI = (titanium* OR ti) AND TS = (orthopedic* OR orthopaedic)**

OR – (OU lógico) - mostra documentos que contenham uma das duas expressões. Ex.: **TI = (titanium* OR ti) OR TS = (orthopedic* OR orthopaedic)**

Ressalta-se que, nas categorias de busca das bases de dados científicas, os operadores lógicos devem ser digitados ou inseridos em maiúsculas, pois existe uma diferença entre a quantidade de trabalhos exibidos; quando o operador é digitado em minúsculas, o resultado é menor. Assim também, se não considerado o * (asterisco) entre duas ou mais palavras, o resultado é diferente.

Quanto aos operadores relacionais, os principais são:

- < menor;
- < maior;
- <= menor ou igual;
- >= maior ou igual;
- = igual;

A figura 4 retrata o exemplo dos campos para uso nas bases de dados científicas.

Figura 4: exemplo de acesso à base de dados *Web of Science*

Pesquisa Básica Pesquisa de referência citada **Pesquisa avançada** + mais

Utilize rótulos de campo, operadores booleanos, parênteses e resultados de consultas para criar sua consulta. Os resultados aparecerão na Tabela do histórico de busca, na parte inferior da página. (Saiba mais sobre a Pesquisa avançada)

Exemplo: TS=(nanotub* AND carbon) NOT AU=Smalley RE
#1 NOT #2 [mais exemplos](#) | [visualizar o tutorial](#)

TI=(titanium* OR ti) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic)

Pesquisa

Restringir os resultados por idiomas e tipos de documentos:

All languages	All document types
English	Article
Afrikaans	Abstract of Published Item
Arabic	Art Exhibit Review

Tempo estipulado

Intervalo de anos personalizado 2012 até 2018

Booleanos: AND, OR, NOT, SAME, NEAR

Rótulos do campo:

TS= Tópico	SA= Endereço da Rua
TI= Título	CI= Cidade
AU= Autor [índice]	PS= Província/Estado
AI= Identificadores de autor	CU= País/Região
GP= Autor grupo [índice]	ZP= CEP/Código postal
ED= Editor	FO= Agência financiadora
SO= Nome da publicação [índice]	FG= Número do subsídio
DO= DOI	FT= Texto sobre financiamento
PY= Ano de publicação	SU= Área de pesquisa
CF= Conferência	WC= Categoria Web of Science
AD= Endereço	IS= ISSN/ISBN
OG= Organização - Consolidada [índice]	UT= Número de acesso
OO= Organização	PMID= ID PubMed
SG= Suborganização	ALL= Todos os campos

Para o levantamento de dados econômicos, utilizou-se a base de dados Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>), que é um portal para acesso gratuito às estatísticas de comércio exterior do Brasil. No site é possível realizar consultas detalhadas das exportações e importações brasileiras a partir de diversas variáveis da base de dados estatísticos. Os dados são atualizados mensalmente e extraídos do SISCOMEX (Portal Único de Comércio Exterior do Sistema Integrado de Comércio Exterior), baseado na declaração dos exportadores e importadores.

Para extrair os dados relacionados aos produtos ligados a esta pesquisa, é necessário o uso da NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul), um código de oito dígitos estabelecido pelo governo para identificar a natureza dos produtos.

Além disso, deve-se escolher o tipo da operação: importação ou exportação, o período: ano inicial e ano final, e mês inicial e mês final, onde é possível selecionar a opção de detalhamento no relatório. Os filtros deste relatório podem ser escolhidos de acordo com as informações necessárias, como: país, bloco econômico, estado do produto, meio de transporte e NCM (nomenclatura comum do mercosul). Após isto, pode-se selecionar se deseja extrair os valores em FOB em dólares americanos (US\$) e por quilograma líquido. Por fim, mostra-se como os dados no relatório serão organizados.

Seguem listados na tabela 5 as NCM utilizadas na busca de dados no portal Comex Stat.

Tabela 5: lista de NCM

Código NCM	Descrição NCM
90213919	Outras válvulas cardíacas
90211010	Artigos e aparelhos ortopédicos
90213190	Outras próteses articulares
90183924	Cateteres intravenosos periféricos, de poliuretano ou de copolímero de etileno-tetrafluoretileno (ETFE)
90212900	Outros artigos e aparelhos de prótese dentária
90183929	Outras sondas, cateteres e cânulas
90212110	Dentes artificiais de acrílico
90184100	Aparelhos dentários de brocar, mesmo combinados numa base comum com outros equipamentos dentários
90213110	Próteses articulares femurais
90213930	Próteses de artérias vasculares revestidas
90219081	Implantes expansíveis (stents), mesmo montados sobre cateter do tipo balão
90183999	Outros instrumentos semelhantes a seringas, agulhas, cateteres, etc
90211099	Outras partes e acessórios de aparelhos de ortopedia/fraturas
90213991	Partes de próteses modulares que substituem membros superiores ou inferiores
90185090	Outros instrumentos e aparelhos de oftalmologia
90219011	Cardiodesfibriladores automáticos
90211091	Partes e acessórios de artigos/aparelhos de ortopedia/articulação
90215000	Marca-passos cardíacos, exceto as partes e acessórios
90219091	Partes e acessórios de marca-passos cardíacos
90213911	Válvulas cardíacas mecânicas
90212190	Dentes artificiais, exceto de acrílico
90183921	Sondas, cateteres e cânulas, de borracha
90185010	Microscópios binoculares, dos tipos utilizados em cirurgia oftalmológica
90184991	Aparelhos para desenho e construção de peças cerâmicas para restaurações dentárias, computadorizados
90213120	Próteses articulares mioelétricas
90183922	Cateteres de poli(cloreto de vinila), para embolectomia arterial
90183923	Cateteres de poli(cloreto de vinila), para termodiluição
90211910	Artigos e aparelhos ortopédicos
30049099	Enxertos ósseos

Fonte: MDIC, (2019).

Também fez-se necessário pesquisar dados da ABIMO (<https://abimo.org.br/>), entidade da indústria brasileira responsável por produtos para a saúde, que visa promover o crescimento do setor no mercado nacional e internacional.

Por sua vez, o estágio 3 é a área destinada à organização das bibliografias e dos dados levantados. Pode-se utilizar o Mendeley® para organização das referências bibliográficas, e o Microsoft Excel® para os dados estatísticos.

No estágio 4 busca-se a padronização e a seleção dos dados, que consiste no agrupamento dos termos utilizados para busca, verificando-se que estejam alinhados à estratégia definida.

O estágio 5 é o momento de começar a realizar a leitura dos artigos e trabalhos pesquisados e de extrair o que se julgar relevante à pesquisa. Também é o momento de ajustar a estratégia para que os resultados sejam alcançados.

4.2 Análise

A fase 2, estágio 6, consiste em consolidar os dados. Nesta etapa, faz-se a combinação dos dados com a utilização do software Microsoft Excel® e inicia-se a interpretação dos dados.

A investigação tem como objetivo descobrir:

- Base científica;
 - número de publicações por base;
 - crescimento de publicações por ano e por base;
 - qual é a base que mais tem publicações;
 - publicações por área de aplicação;
 - publicações por tipo de biomaterial;

- Base econômica;
 - valor por área de aplicação;
 - qual área que mais importa e exporta;
 - qual a taxa de crescimento no setor;
 - qual a região na América Latina com potencial;
 - quais as regiões no Brasil com maior valor econômico;

4.3 Síntese

A fase 3, estágio 7, destina-se a extrair e organizar os resultados finais, na qual se obteve através da leitura, levantamento e análise com a ajuda de ferramentas computacionais (planilha eletrônica) para a geração de tabelas, Figuras e mapas.

4.4 Escrever

A fase 4, estágio 8, é o ciclo que termina com a elaboração da escrita científica, buscando atender os requisitos necessários para cumprir o objetivo da pesquisa.

5 RESULTADOS

Os resultados estão apresentados em duas seções. Na primeira seção detalham-se os resultados obtidos nas bases de dados científicos sobre os tipos de biomateriais e as áreas de aplicação. Na segunda seção são mostrados os dados levantados nas bases de dados econômicos a respeito das regiões relacionadas com a utilização de biomateriais.

5.1 Primeira seção dos resultados (dados científicos)

Nesta seção, mostram-se os resultados coletados sobre a quantidade de publicações relacionadas aos biomateriais a partir das bases científicas *Web of Science* e *Scopus*.

O processo de extração dos dados foi bastante complexo, pois se utilizou estratégia de busca muito diversificada. Foram 1.344 combinações entre tipo de biomaterial e área de aplicação.

Na tabela 6 estão expostas as combinações utilizadas para pesquisas na *Web of Science* e, na tabela 7, na *Scopus*.

Tabela 6: resultados gerais de busca na base *Web of Science*.

Sequência	Resultado	Combinação
1	0	TI=(Calcium sulfate) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
2	0	TI=(Calcium sulfate) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
3	23	TI=(Calcium sulfate) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
4	34	TI=(Calcium sulfate) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
5	177	TI=(Calcium Phosphate) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
6	326	TI=(Calcium Phosphate) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
7	51	TI=(Calcium Phosphate) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
8	2	TI=(Calcium Phosphate) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
9	0	TI=(Zirconium OR ZrO) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
10	29	TI=(Zirconium OR ZrO) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
11	2	TI=(Zirconium OR ZrO) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
12	127	TI=(Zirconium OR ZrO) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
13	34	TI=(Aluminium oxide OR Alumina) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
14	98	TI=(Aluminium oxide OR Alumina) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
15	0	TI=(Aluminium oxide OR Alumina) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
16	0	TI=(Aluminium oxide OR Alumina) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
17	1	TI=(pt OR platinum) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
18	29	TI=(pt OR platinum) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
19	17	TI=(pt OR platinum) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
20	2	TI=(pt OR platinum) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
21	108	TI=(au OR gold) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
22	111	TI=(au OR gold) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
23	7	TI=(au OR gold) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
24	18	TI=(au OR gold) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
25	161	TI=(ag OR silver) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
26	51	TI=(ag OR silver) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
27	329	TI=(ag OR silver) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
28	2	TI=(ag OR silver) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)

29	0	TI=(cr co OR Cobalt Chrome) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
30	2	TI=(cr co OR Cobalt Chrome) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
31	109	TI=(cr co OR Cobalt Chrome) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
32	33	TI=(cr co OR Cobalt Chrome) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
33	0	TI=(Stainless Steel* OR inox) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
34	87	TI=(Stainless Steel* OR inox) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
35	106	TI=(Stainless Steel* OR inox) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
36	23	TI=(Stainless Steel* OR inox) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
37	1	TI=(titanium* OR ti) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
38	80	TI=(titanium* OR ti) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
39	1009	TI=(titanium* OR ti) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
40	1960	TI=(titanium* OR ti) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
41	12	TI=(cellulose) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
42	18	TI=(cellulose) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
43	0	TI=(cellulose) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
44	29	TI=(cellulose) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
45	314	TI=(Collagen OR Gelatin) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
46	56	TI=(Collagen OR Gelatin) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
47	220	TI=(Collagen OR Gelatin) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
48	187	TI=(Collagen OR Gelatin) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
49	0	TI=(Polyvinyl Chloride) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
50	1	TI=(Polyvinyl Chloride) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
51	0	TI=(Polyvinyl Chloride) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
52	0	TI=(Polyvinyl Chloride) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
53	53	TI=(Polymethylmethacrylate OR PMMA) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
54	8	TI=(Polymethylmethacrylate OR PMMA) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
55	5	TI=(Polymethylmethacrylate OR PMMA) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
56	61	TI=(Polymethylmethacrylate OR PMMA) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
57	95	TI=(Polyethylene) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
58	28	TI=(Polyethylene) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
59	3	TI=(Polyethylene) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)

60	22	TI=(Polyethylene) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
61	5	TI=(polyester) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
62	1	TI=(polyester) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
63	9	TI=(polyester) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
64	5	TI=(polyester) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
65	0	TI=(silicone rubber) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
66	0	TI=(silicone rubber) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
67	0	TI=(silicone rubber) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
68	2	TI=(silicone rubber) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
69	12	TI=(nylon) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
70	1	TI=(nylon) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
71	4	TI=(nylon) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
72	2	TI=(nylon) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
73	31	TI=(glass) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
74	171	TI=(glass) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
75	9	TI=(glass) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
76	733	TI=(glass) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
77	121	TI=(carbon) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
78	3	TI=(carbon) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
79	137	TI=(carbon) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
80	316	TI=(carbon) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
81	135	TI=(chitosan) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
82	55	TI=(chitosan) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
83	145	TI=(chitosan) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
84	7	TI=(chitosan) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
85	17	TI=(Hyaluronic Acid) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
86	16	TI=(Hyaluronic Acid) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
87	29	TI=(Hyaluronic Acid) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
88	47	TI=(Hyaluronic Acid) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
89	24	TI=(alginate) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)
90	59	TI=(alginate) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)

91	8	TI=(alginate) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
92	0	TI=(alginate) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
93	1	TI=(chitin) AND TS=(ophthalmology) AND PY=(2012-2018)
94	2	TI=(chitin) AND TS=(cardiovascular) AND PY=(2012-2018)
95	3	TI=(chitin) AND TS=(dental) AND PY=(2012-2018)
96	0	TI=(chitin) AND TS=(orthopedic* OR orthopaedic) AND PY=(2012-2018)

Fonte: CAPES, (2019)

Tabela 7: resultados gerais de busca na base *Scopus*.

Seqüência	Resultado	Combinação
1	0	(TITLE ("Calcium sulfate") AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
2	1	(TITLE ("Calcium sulfate") AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
3	29	(TITLE ("Calcium sulfate") AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
4	39	(TITLE ("Calcium sulfate") AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
5	199	(TITLE ("Calcium Phosphate") AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
6	426	(TITLE ("Calcium Phosphate") AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
7	20	(TITLE ("Calcium Phosphate") AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
8	2	(TITLE ("Calcium Phosphate") AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
9	0	(TITLE ("Zirconium") AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
10	30	(TITLE ("Zirconium") AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
11	3	(TITLE ("Zirconium") AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
12	188	(TITLE ("Zirconium") AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
13	53	(TITLE ("Aluminium oxide" OR "Alumina") AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
14	135	(TITLE ("Aluminium oxide" OR "Alumina") AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
15	0	(TITLE ("Aluminium oxide" OR "Alumina") AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
16	2	(TITLE ("Aluminium oxide" OR "Alumina") AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019

17	1	(TITLE (pt OR platinum) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
18	59	(TITLE (pt OR platinum) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
19	25	(TITLE (pt OR platinum) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
20	2	(TITLE (pt OR platinum) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
21	423	(TITLE (au OR gold) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
22	272	(TITLE (au OR gold) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
23	52	(TITLE (au OR gold) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
24	79	(TITLE (au OR gold) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
25	184	(TITLE (ag OR silver) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
26	67	(TITLE (ag OR silver) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
27	476	(TITLE (ag OR silver) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
28	9	(TITLE (ag OR silver) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
29	0	(TITLE ("cr co" OR cobalt AND chrome) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
30	0	(TITLE ("cr co" OR cobalt AND chrome) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
31	7	(TITLE ("cr co" OR "Cobalt Chrome") AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
32	10	(TITLE ("cr co" OR "Cobalt Chrome") AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
33	1	(TITLE ("Stainless Steel" OR "inox") AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
34	165	(TITLE ("Stainless Steel" OR "inox") AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
35	112	(TITLE ("Stainless Steel" OR "inox") AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
36	23	(TITLE ("Stainless Steel" OR "inox") AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
37	18	(TITLE ("titanium" OR "ti") AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
38	112	(TITLE ("titanium" OR "ti") AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
39	1185	(TITLE ("titanium" OR "ti") AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
40	2668	(TITLE ("titanium" OR "ti") AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
41	14	(TITLE (cellulose) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
42	25	(TITLE (cellulose) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
43	4	(TITLE (cellulose) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
44	37	(TITLE (cellulose) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
45	452	(TITLE (collagen OR gelatin) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
46	143	(TITLE (collagen OR gelatin) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
47	275	(TITLE (collagen OR gelatin) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019

48	228	(TITLE (collagen OR gelatin) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
49	0	(TITLE ("Polyvinyl Chloride") AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
50	2	(TITLE ("Polyvinyl Chloride") AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
51	0	(TITLE ("Polyvinyl Chloride") AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
52	0	(TITLE ("Polyvinyl Chloride") AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
53	98	(TITLE (polymethylmethacrylate OR pmma) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
54	8	(TITLE (polymethylmethacrylate OR pmma) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
55	6	(TITLE (polymethylmethacrylate OR pmma) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
56	84	(TITLE (polymethylmethacrylate OR pmma) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
57	194	(TITLE (polyethylene) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
58	34	(TITLE (polyethylene) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
59	7	(TITLE (polyethylene) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
60	32	(TITLE (polyethylene) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
61	9	(TITLE (polyester) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
62	2	(TITLE (polyester) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
63	16	(TITLE (polyester) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
64	11	(TITLE (polyester) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
65	0	(TITLE ("silicone rubber") AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
66	0	(TITLE ("silicone rubber") AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
67	0	(TITLE ("silicone rubber") AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
68	7	(TITLE ("silicone rubber") AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
69	16	(TITLE (nylon) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
70	2	(TITLE (nylon) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
71	7	(TITLE (nylon) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
72	3	(TITLE (nylon) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
73	55	(TITLE (glass) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
74	206	(TITLE (glass) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
75	21	(TITLE (glass) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
76	1242	(TITLE (glass) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
77	154	(TITLE (carbon) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019

78	11	(TITLE (carbon) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
79	155	(TITLE (carbon) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
80	394	(TITLE (carbon) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
81	131	(TITLE (chitosan) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
82	71	(TITLE (chitosan) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
83	201	(TITLE (chitosan) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
84	21	(TITLE (chitosan) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
85	30	(TITLE ("hyaluronic acid") AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
86	37	(TITLE ("hyaluronic acid") AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
87	37	(TITLE ("hyaluronic acid") AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
88	73	(TITLE ("hyaluronic acid") AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
89	27	(TITLE (alginate) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
90	92	(TITLE (alginate) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
91	14	(TITLE (alginate) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
92	2	(TITLE (alginate) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
93	1	(TITLE (chitin) AND TITLE-ABS-KEY (ophthalmology)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
94	3	(TITLE (chitin) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
95	3	(TITLE (chitin) AND TITLE-ABS-KEY (dental)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019
96	1	(TITLE (chitin) AND TITLE-ABS-KEY (orthopedic* OR orthopaedic)) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2019

Fonte: ELSEVIER, (2019)

Tabela 8: quantidade de publicação por base de dados.

Base de Dados	Publicações	%
<i>Scopus</i>	11.795	58,49%
<i>Web of Science</i>	8.372	41,51%
Total Geral	20.167	100,00%

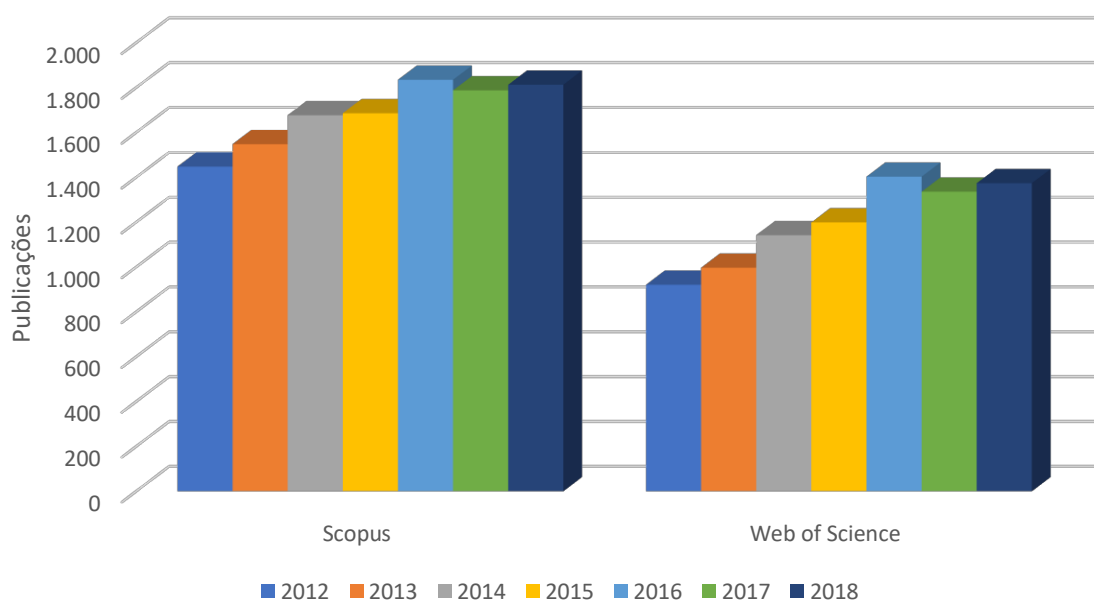
Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

Tabela 9: publicações de artigos nas bases de dados científicas por ano.

Base de Dados	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total Geral
<i>Scopus</i>	1.448	1.548	1.677	1.686	1.835	1.788	1.813	11.795
<i>Web of Science</i>	921	997	1.142	1.199	1.403	1.336	1.374	8.372
Total Geral	2.369	2.545	2.819	2.885	3.238	3.124	3.187	20.167

Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

Figura 5: publicações de artigos por ano.



Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

A tabela 8 mostra que, no período de 2012 a 2018, produziram-se 20.167 artigos, dentre os quais 58,49% da base *Scopus* e 41,51% da base *Web of Science*.

Isso significa que no período houve crescimento médio de 5,0% ao ano de publicações na área de biomateriais. Observa-se que em 2017 houve uma queda de 4,0% no total de publicações em relação ao ano de 2016, ano ápice, cujo alto número não é retomado em 2018.

Tabela 10: publicações por grupo dos materiais por base.

Grupo dos Materiais	Publicações	%
Scopus	11.795	58,49%
Cerâmica	3365	16,69%
Metais	5950	29,50%
Natural	1922	9,53%
Polímeros	558	2,77%
Web of Science	8.372	41,51%
Cerâmica	2424	12,02%
Metais	4247	21,06%
Natural	1384	6,86%
Polímeros	317	1,57%
Total Geral	20.167	100,00%

Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

Tabela 11: publicações por área de aplicação por base.

Área de Aplicação	Publicações	%
Scopus	11.795	58,49%
Cardiovascular	1640	8,13%
Dental	6771	33,57%
Oftalmologia	356	1,77%
Ortopédica	3028	15,01%
Web of Science	8.372	41,51%
Cardiovascular	1054	5,23%
Dental	4714	23,37%
Oftalmologia	120	0,60%
Ortopédica	2484	12,32%
Total Geral	20.167	100,00%

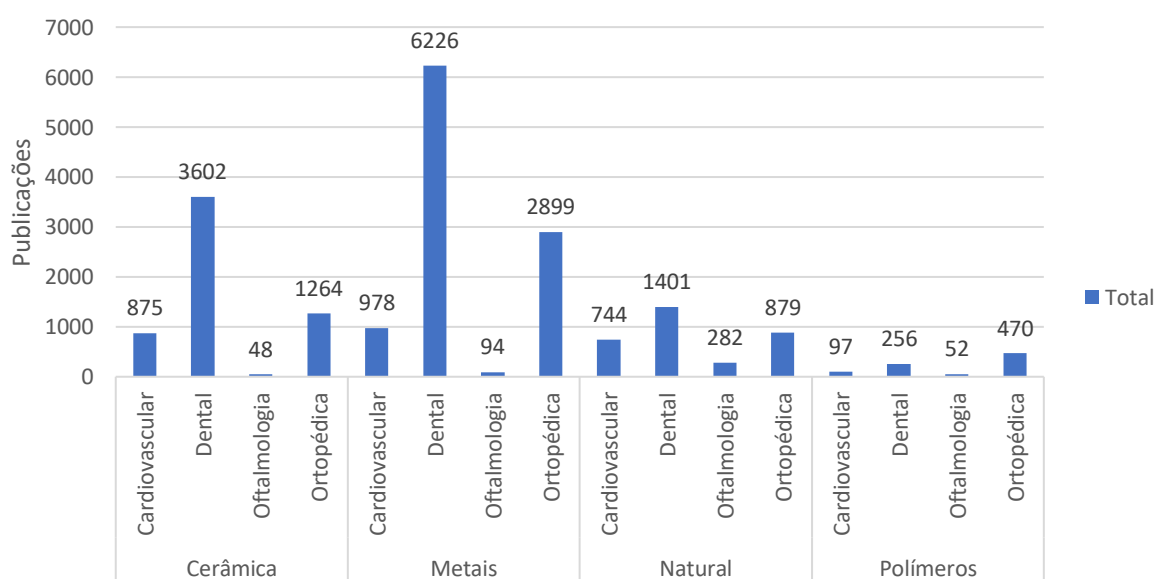
Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

Tabela 12: publicações por área de aplicação.

	Publicações	%
Cerâmica	5.789	28,71%
Cardiovascular	875	4,34%
Dental	3.602	17,86%
Oftalmologia	48	0,24%
Ortopédica	1.264	6,27%
Metais	10.197	50,56%
Cardiovascular	978	4,85%
Dental	6.226	30,87%
Oftalmologia	94	0,47%
Ortopédica	2.899	14,37%
Natural	3.306	16,39%
Cardiovascular	744	3,69%
Dental	1.401	6,95%
Oftalmologia	282	1,40%
Ortopédica	879	4,36%
Polímeros	875	4,34%
Cardiovascular	97	0,48%
Dental	256	1,27%
Oftalmologia	52	0,26%
Ortopédica	470	2,33%
Total Geral	20.167	100,00%

Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

Figura 6: publicações por área de aplicação.



Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

Tabela 13: publicações de artigos por grupo de biomateriais anual.

Grupo dos Materiais	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total Geral
Metais	1.218	1.312	1.408	1.455	1.611	1.599	1.594	10.197
Cerâmica	725	743	839	816	946	842	878	5.789
Natural	334	411	462	445	532	553	569	3.306
Polímeros	92	79	110	169	149	130	146	875
Total Geral	2.369	2.545	2.819	2.885	3.238	3.124	3.187	20.167

Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

Pode-se observar na tabela 13 que, do total de 20.167 publicações, o grupo dos metais representa 50,56% (10.197 artigos), seguido do grupo das cerâmicas com 28,71% (5.789 artigos). O grupo dos naturais cresceu 58,69% em 2018, comparado com 2012. Isto mostra que existem muitas investigações sendo feitas nessa área, com o objetivo de substituir materiais sintéticos por materiais naturais. No mesmo período de comparação, as publicações sobre metais cresceram 30,87%.

Tabela 14: publicações de artigos por área de aplicação anual.

Área de Aplicação	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total Geral
Dental	1.381	1.469	1.597	1.638	1.784	1.808	1.808	11.485
Ortopédica	629	677	779	745	942	862	878	5.512
Cardiovascular	309	340	367	417	446	382	433	2.694
Oftalmologia	50	59	76	85	66	72	68	476
Total Geral	2.369	2.545	2.819	2.885	3.238	3.124	3.187	20.167

Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

O resultado de 20.167 publicações mostra, conforme a área de aplicação, que a área dental, com 11.845 artigos publicados representa 56,95%, seguida da ortopédica, com 5.512 (27,33%), da cardiovascular, com 2.694 (13,36%), e da oftalmologia, com 476 (2,36%).

Tabela 15: publicações de artigos na área de aplicação Dental separado por grupo e por biomaterial, 2012 a 2018.

Área de Aplicação		Dental							
Publicações	Ano								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total Geral	
Metais	770	830	864	900	938	950	974	6.226	
Aço inoxidável	34	17	37	53	31	40	40	252	
Cromo Cobalto	10	9	12	23	34	12	16	116	
Ouro	52	61	63	57	54	49	47	383	
Platina	8	1	9	3	8	9	4	42	
Prata	103	73	88	86	121	157	177	805	
Titânio	563	669	655	678	690	683	690	4.628	
Cerâmica	455	467	503	508	587	545	537	3.602	
Carbono	33	26	48	36	54	40	38	275	
Fosfato de cálcio	102	99	99	89	122	128	113	752	
Óxido de alumínio & Alumina	41	23	37	43	37	23	29	233	
Sulfato de Cálcio	18	7	6	6	9	2	4	52	
Vidro	235	265	254	285	320	301	315	1.975	
Zircônio	26	47	59	49	45	51	38	315	
Natural	130	151	191	181	221	272	255	1.401	
Ácido hialurônico	4	2	6	5	20	12	17	66	
Alginato	24	22	19	21	19	21	25	151	
Celulose	7	8	12	9	8	17	5	66	
Colágeno e Gelatina	58	93	101	110	125	142	137	766	
Quitina	0	3	0	1	0	2	0	6	
Quitosana	37	23	53	35	49	78	71	346	
Polímeros	26	21	39	49	38	41	42	256	
Borracha de silicone	0	2	3	3	0	0	1	9	
Cloreto de Polivinila	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nylon	2	3	3	6	3	5	6	28	
Poliéster	1	0	0	7	1	1	4	14	
Polietileno	2	3	6	14	11	16	2	54	
Polimetilmetacrilato & PMMA	21	13	27	19	23	19	29	151	
Total Geral	1.381	1.469	1.597	1.638	1.784	1.808	1.808	11.485	

Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

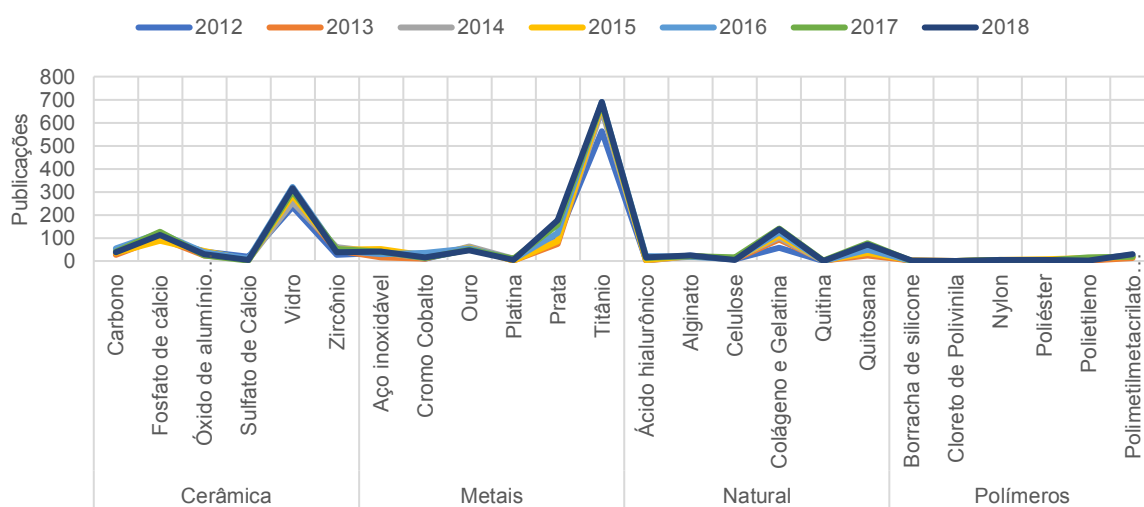
Analisando a distribuição na área dental, pode-se observar na tabela 15 que o grupo dos metais apresenta 6.226 artigos publicados, o correspondente a 54,21%. Verifica-se que o grupo das cerâmicas apresenta 3.602 artigos publicados (31,36%); o dos naturais, 1.401 (12,20%), e dos polímeros, 256 (2,23%).

Na área dental, registram-se 4.628 artigos publicados a respeito de titânio e suas ligas no período de 2012 a 2018, cerca de 40,30% do total na área. Isto significa que esses valores condizem com a realizada nacional e mundial, no que diz respeito

à utilização desse tipo de material em implantes e procedimentos, resultados esses mostrados na figura 7.

Ambas as bases de dados científicas demonstraram grande expressividade em comparação a outros tipos de materiais. Mostra-se também que o biomaterial vidro está crescendo na quantidade de estudos realizados. O crescimento médio desse material nos últimos anos foi de 5%.

Figura 7: demonstrativo das publicações dos biomateriais na área Dental.



Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

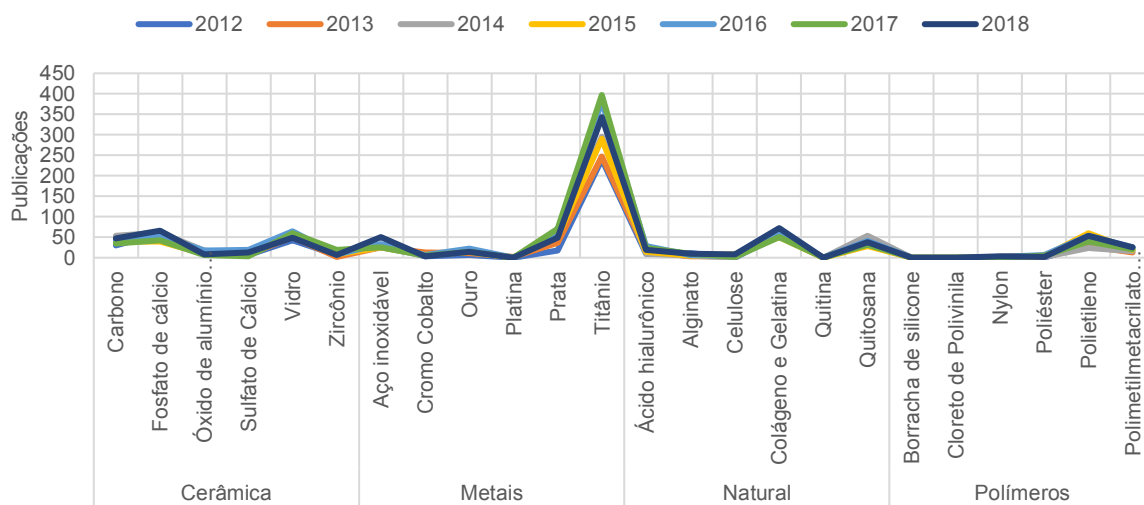
Tabela 16: publicações de artigos na área de aplicação Ortopédica separado por grupo e por biomaterial, 2012 a 2018.

Área de Aplicação		Ortopédica							
Publicações	Ano								Total Geral
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Metais		298	336	398	388	506	513	460	2.899
Aço inoxidável		31	26	25	26	33	26	51	218
Cromo Cobalto		3	13	5	6	7	5	4	43
Ouro		7	11	14	15	22	14	14	97
Platina		0	2	0	0	0	0	0	2
Prata		17	37	59	51	62	71	48	345
Titânio		240	247	295	290	382	397	343	2.194
Cerâmica		157	172	208	166	206	166	189	1.264
Carbono		30	46	53	39	42	35	47	292
Fosfato de cálcio		60	52	62	39	54	43	66	376
Óxido de alumínio & Alumina		12	14	18	10	18	7	8	87
Sulfato de Cálcio		7	8	8	15	19	3	13	73
Vidro		42	50	57	55	65	59	49	377
Zircônio		6	2	10	8	8	19	6	59
Natural		114	120	132	107	142	118	146	879
Ácido hialurônico		10	16	9	14	28	24	19	120
Alginato		12	3	5	5	7	10	9	51
Celulose		0	3	1	8	4	2	8	26
Colágeno e Gelatina		57	59	64	51	62	50	72	415
Quitina		0	0	0	0	0	1	0	1
Quitosana		35	39	53	29	41	31	38	266
Polímeros		60	49	41	84	88	65	83	470
Borracha de silicone		0	0	0	0	0	0	0	0
Cloreto de Polivinila		0	0	0	0	0	0	0	0
Nylon		2	2	0	2	2	0	3	11
Poliéster		1	5	2	3	7	5	2	25
Polietileno		32	29	23	60	53	39	53	289
Polimetilmetacrilato & PMMA		25	13	16	19	26	21	25	145
Total Geral		629	677	779	745	942	862	878	5.512

Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

Na área ortopédica, pode-se observar na tabela 16 que, acerca do grupo dos metais, publicaram-se 2.899 artigos, correspondentes a 52,59%. Verifica-se que o grupo das cerâmicas demonstra publicados 1.264 artigos (22,93%); os naturais, 879 (15,95%); e os polímeros, 470 (8,53%).

Figura 8: demonstrativo das publicações dos biomateriais na área Ortopédica.



Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

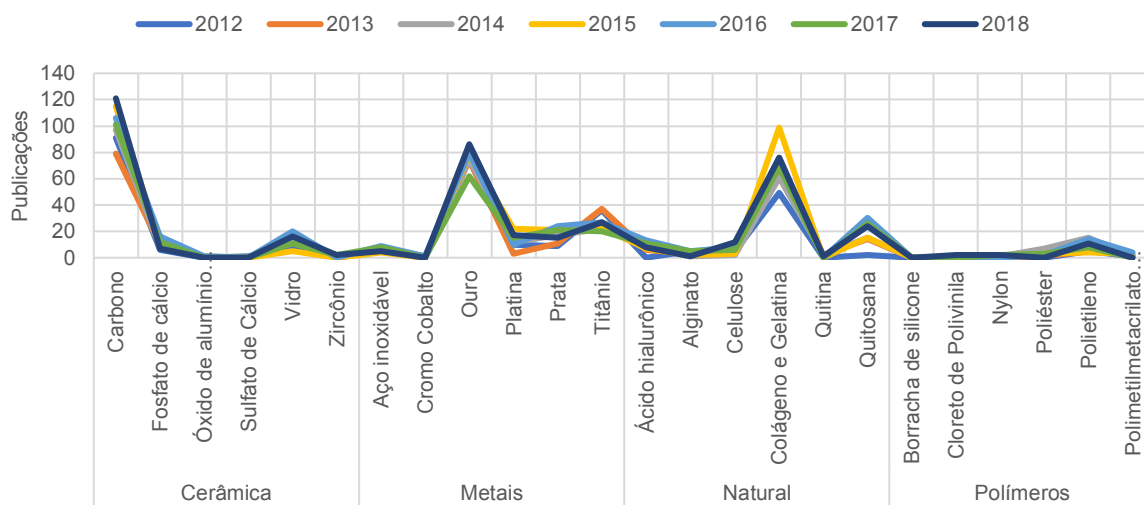
Tabela 17: publicações de artigos na área de aplicação cardiovascular separadas por grupo e por biomaterial, 2012 a 2018.

Área de Aplicação		Cardiovascular							
Publicações	Ano								Total Geral
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Metais		136	133	133	149	151	126	150	978
Aço inoxidável		6	7	7	4	9	8	5	46
Cromo Cobalto		0	1	0	0	1	0	0	2
Ouro		75	74	75	79	80	62	86	531
Platina		10	3	12	22	10	15	17	89
Prata		9	11	17	21	24	21	15	118
Titânio		36	37	22	23	27	20	27	192
Cerâmica		106	102	120	132	143	126	146	875
Carbono		91	79	97	115	106	101	121	710
Fosfato de cálcio		6	10	8	12	16	12	7	71
Óxido de alumínio & Alumina		0	0	1	0	1	0	0	2
Sulfato de Cálcio		1	0	0	0	0	0	0	1
Vidro		8	13	13	5	20	11	16	86
Zircônio		0	0	1	0	0	2	2	5
Natural		61	97	89	126	132	117	122	744
Ácido hialurônico		0	6	8	7	13	11	8	53
Alginato		5	3	1	2	5	5	1	22
Celulose		5	7	2	3	8	6	12	43
Colágeno e Gelatina		49	65	61	99	76	69	76	495
Quitina		0	2	2	0	0	0	1	5
Quitosana		2	14	15	15	30	26	24	126
Polímeros		6	8	25	10	20	13	15	97
Borracha de silicone		0	0	0	0	0	0	0	0
Cloreto de Polivinila		0	0	1	0	0	0	2	3
Nylon		0	0	1	0	0	2	2	5
Poliéster		0	1	7	3	2	3	0	16
Poliétileno		5	5	15	4	14	8	11	62
Polimetilmetacrilato & PMMA		1	2	1	3	4	0	0	11
Total Geral		309	340	367	417	446	382	433	2.694

Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

Destaca-se na tabela 17 os grupos dos metais foram 978 artigos publicados que corresponde à 36,30%. Mostra-se também que o grupo das cerâmicas tiveram publicados 875 (32,48%), muito próximos dos na área cardiovascular.

Figura 9: demonstrativo das publicações dos biomateriais na área cardiovascular.



Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

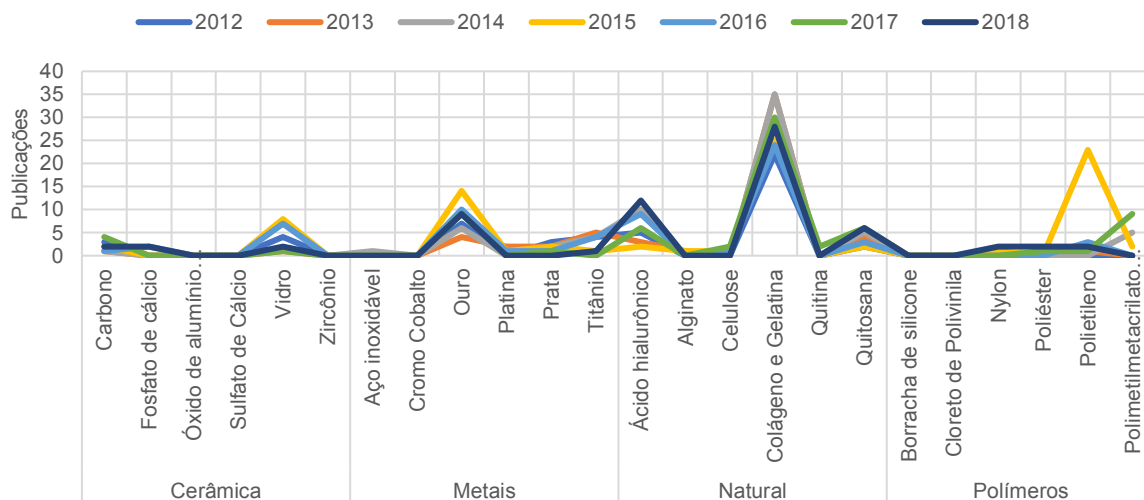
Tabela 18: publicações de artigos na área de aplicação oftalmologia separado por grupo e por biomaterial, 2012 a 2018.

Área de Aplicação		Oftalmologia							
Qtd. de Publicações Rótulos de Linha	Ano								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total Geral	
Natural	29	43	50	31	37	46	46	282	
Ácido hialurônico	5	3	10	2	9	6	12	47	
Alginato	0	1	0	1	0	0	0	2	
Celulose	0	0	0	1	1	2	0	4	
Colágeno e Gelatina	22	35	35	25	24	30	28	199	
Quitina	0	0	0	0	0	2	0	2	
Quitosana	2	4	5	2	3	6	6	28	
Metais	14	13	13	18	16	10	10	94	
Aço inoxidável	0	0	1	0	0	0	0	1	
Cromo Cobalto	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ouro	7	4	6	14	10	9	9	59	
Platina	0	2	0	1	1	0	0	4	
Prata	3	2	2	2	1	1	0	11	
Titânio	4	5	4	1	4	0	1	19	
Polímeros	0	1	5	26	3	11	6	52	
Borracha de silicone	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cloreto de Polivinila	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nylon	0	0	0	1	0	0	2	3	
Poliéster	0	0	0	0	0	1	2	3	
Poliétileno	0	1	0	23	3	1	2	30	
Polimetilmetacrilato & PMMA	0	0	5	2	0	9	0	16	
Cerâmica	7	2	8	10	10	5	6	48	
Carbono	3	1	1	2	1	4	2	14	
Fosfato de cálcio	0	0	0	0	2	0	2	4	
Óxido de alumínio & Alumina	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sulfato de Cálcio	0	0	0	0	0	0	0	0	
Vidro	4	1	7	8	7	1	2	30	
Zircônio	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total Geral	50	59	76	85	66	72	68	476	

Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

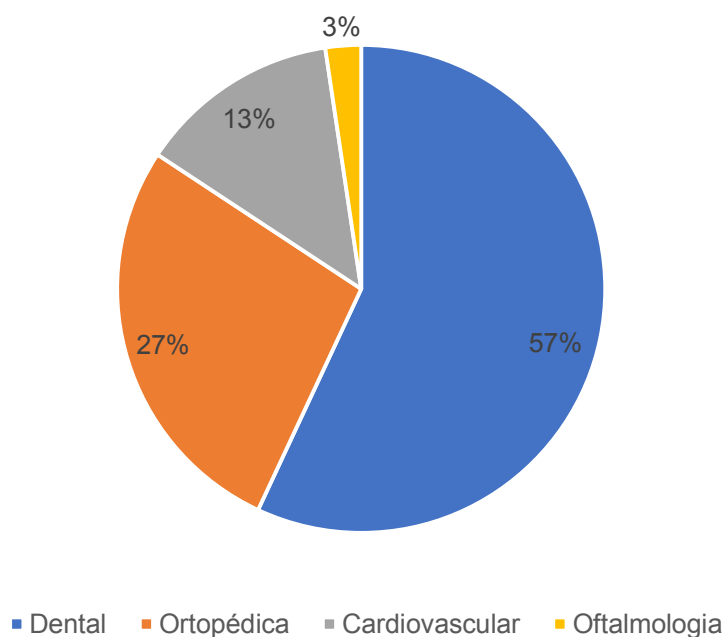
Na tabela 18, na área da Oftalmologia, pode-se observar que o grupo dos naturais apresentou 282 artigos publicados, o que corresponde à 59,24%. Verifica-se que os materiais cerâmicos apresentaram 48 artigos publicados (10,08%); os polímeros, 52 (10,92%), e os metais 94 (19,75%).

Figura 10: demonstrativo das publicações dos biomateriais na área Oftalmologia.



Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

Figura 11: percentual por área de aplicação no total de publicações no período de 2012 a 2018.



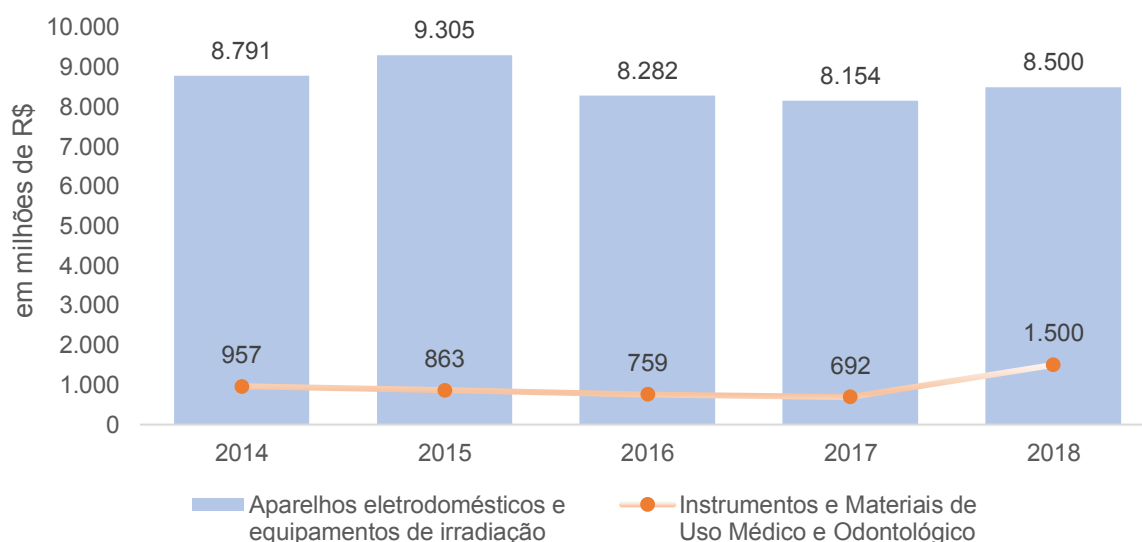
Fonte: (CAPES; ELSEVIER, 2019).

5.2 Segunda seção dos resultados (dados econômicos)

Nesta seção expõem-se os dados gerais que demonstram a movimentação dos mercados. A seção se encerra com uma avaliação da cadeia produtiva no mundo, na América Latina e no Brasil, demonstrando os valores de importação e exportação.

A análise mercadológica do setor de equipamentos médicos, hospitalares e odontológicos (EMHO) abrange uma diversidade de áreas com atributos e práticas diferentes entre si, com produtos de complexidade tecnológico e valor agregado.

Figura 12: produção nacional de instrumentos e materiais para uso na área da saúde, ABIMO.



Fonte: infográfico ABIMO; RAIS; CAGED/TEM

No Brasil, há uma prevalência de pequenas e médias empresas, quase 74%; destes, um faturamento em torno de 240 mil a 2,4 milhões de reais pertence às pequenas empresas, e um faturamento em torno de 2,4 a 6 milhões de reais pertence às médias empresas. Pode-se observar a tabela 19, segmentada pelo porte das empresas no mercado brasileiro.

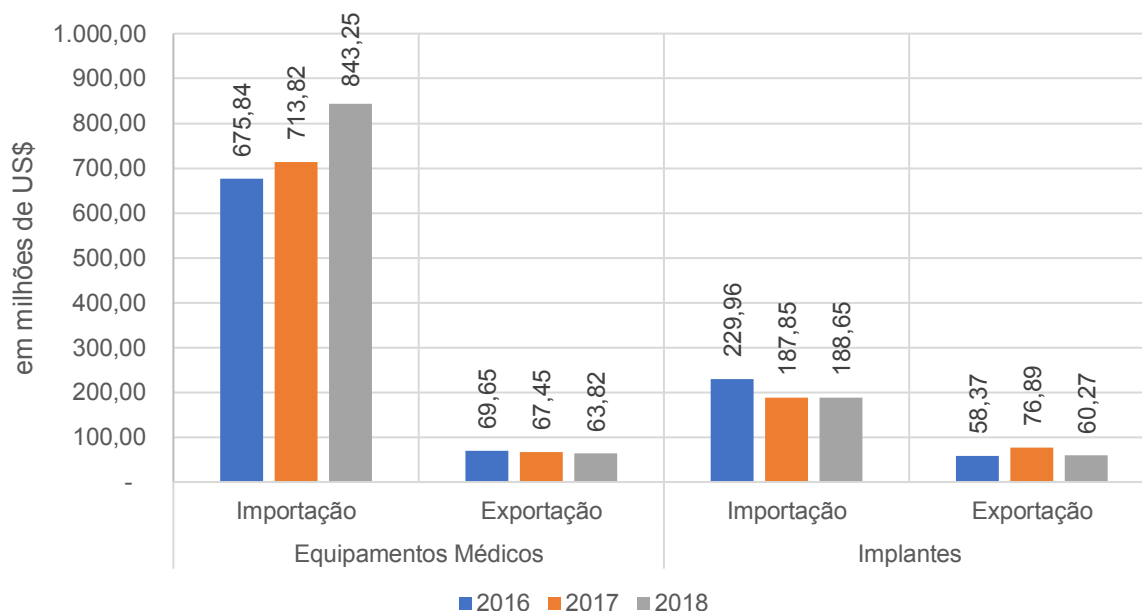
Segundo a ABIMO, o setor de EMHO é formado por cerca de 500 empresas que obtiveram um faturamento médio de 3,09 bilhões de reais nos últimos anos.

Tabela 19: porte das empresas brasileiras no setor da saúde, ABIMO.

Porte	Faturamento	%
GRANDE	acima de R\$ 50 milhões	10,70%
MÉDIA GRANDE	De R\$ 6 a 50 milhões	12,70%
MÉDIA	De R\$ 2,4 a 6 milhões	58,60%
PEQUENA	De R\$ 241 mil a 2,4 milhões	14,70%
MICRO	Até R\$ 240 mil	3,30%

Fonte: infográfico ABIMO; MDIC; PIA/IBGE; cálculos realizados por Fundação Getúlio Vargas (FGV), 2017.

Figura 13: exportação e importação dos segmentos de equipamentos médicos e implantes, ABIMO.



Fonte: Infográfico ABIMO. (Aliceweb/MDIC, 2018).

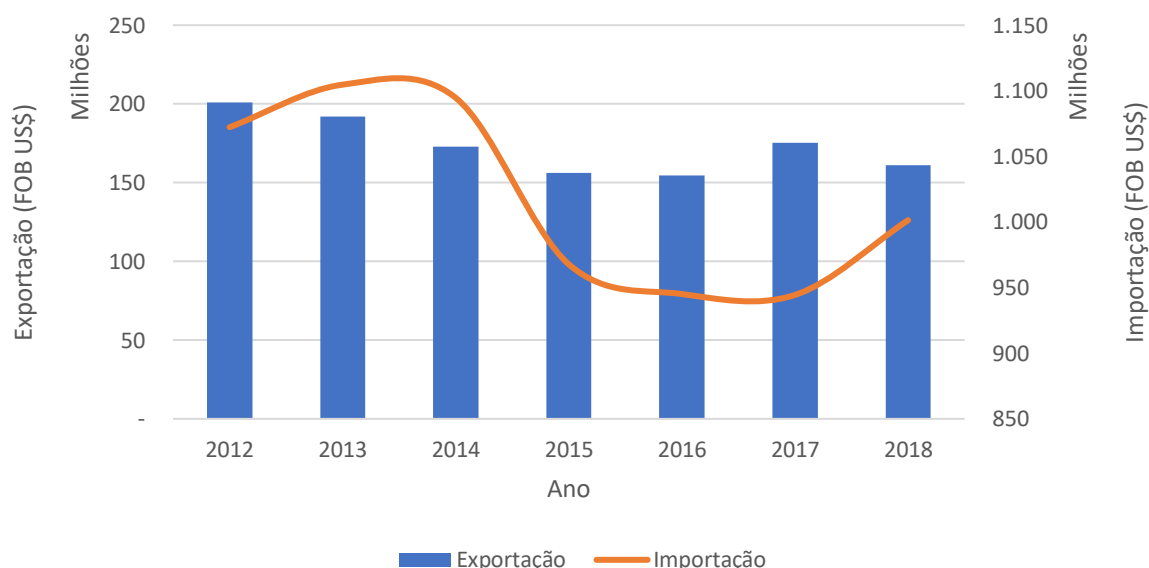
O Setor de EMHO compreende uma diversidade de produtos e tecnologias que vai desde os mais tradicionais, como seringas, até equipamentos sofisticados que incorporam tecnologias de informação, comunicação e nanotecnologia (ABDI & CGEE, 2008).

Tabela 20: total de exportação e importação, valores em FOB US\$¹

Ano	Exportação	Importação	Total Geral
2012	201.055.693	1.072.241.761	1.273.297.454
2013	191.923.883	1.104.675.425	1.296.599.308
2014	172.850.209	1.094.604.428	1.267.454.637
2015	156.077.217	967.736.655	1.123.813.872
2016	154.735.085	945.108.944	1.099.844.029
2017	175.287.079	944.442.035	1.119.729.114
2018	161.207.579	1.001.381.809	1.162.589.388
Total Geral	1.213.136.745	7.130.191.057	8.343.327.802

Fonte: (MDIC, 2019).

Figura 14: demonstrativo da oscilação das exportações e importações.



Fonte: (MDIC, 2019).

Os produtos e equipamentos são classificados em conformidade com a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM). Dessa forma, na tabela 21 demonstram-se os resultados de importação e exportação por NCM separados por produto.

¹ O FOB (*Free On Board* ou Livre a bordo) é uma das normas estabelecidas pelo *Incoterms* e está relacionado com a troca comercial de uma determinada mercadoria.

Incoterms, são termos internacionais de comércio são cláusulas contratuais aplicadas nas transações de compra e venda internacional, são basicamente deveres e obrigações do exportador e importador.

Tabela 21: resultados de exportação e importação por NCM, valores FOB em US\$.

Produto	Código NCM	Descrição do NCM	Exportação	Importação	Total Geral
Cateteres	90183921	Sondas, cateteres e cânulas, de borracha	448.564	64.319.515	64.768.079
	90183922	Cateteres de poli(cloreto de vinila), para embolectomia arterial	16.950	14.890.092	14.907.042
	90183923	Cateteres de poli(cloreto de vinila), para termodiluição	8	18.935.023	18.935.031
	90183924	Cateteres intravenosos periféricos, de poliuretano ou de copolímero de etileno-tetrafluoretileno (ETFE)	72.892.554	64.563.548	137.456.102
	90183929	Outras sondas, cateteres e cânulas	65.285.846	2.062.055.971	2.127.341.817
	90183999	Outros instrumentos semelhantes a seringas, agulhas, cateteres, etc	15.485.570	461.080.436	476.566.006
Stents	90219081	Implantes expansíveis (stents), mesmo montados sobre cateter do tipo balão	15.822.016	1.273.621.780	1.289.443.796
Próteses	90211091	Partes e acessórios de artigos/aparelhos de ortopedia/articulação	2.042.915	7.564.301	9.607.216
	90213110	Próteses articulares femurais	27.666.457	242.438.343	270.104.800
	90213120	Próteses articulares mioelétricas	55.154	2.545.665	2.600.819
	90213190	Outras próteses articulares	122.855.983	313.325.557	436.181.540
Marca passo cardíaco	90215000	Marca-passos cardíacos, exceto as partes e acessórios	3.482.795	425.416.601	428.899.396
	90219091	Partes e acessórios de marca-passos cardíacos	2.768.460	217.383.191	220.151.651
Válvulas do coração	90213911	Válvulas cardíacas mecânicas	1.048.022	40.657.523	41.705.545
	90213919	Outras válvulas cardíacas	501.283.926	67.852.109	569.136.035
Instrumentos	90185010	Microscópios binoculares, dos tipos utilizados em cirurgia oftalmológica	172.740	75.642.039	75.814.779
	90185090	Outros instrumentos e aparelhos de oftalmologia	5.055.674	419.497.522	424.553.196
Enxertos Vasculares	90213930	Próteses de artérias vasculares revestidas	15.985.396	416.506.538	432.491.934
Prótese Dentária	90184100	Aparelhos dentários de brocar, mesmo combinados numa base comum com outros equipamentos dentários	31.860.862	60.386.717	92.247.579
	90184991	Aparelhos para desenho e construção de peças cerâmicas para restaurações dentárias, computadorizados	123.184	128.020.944	128.144.128
	90212900	Outros artigos e aparelhos de prótese dentária	71.443.598	118.177.623	189.621.221
Aparelhos ortopédicos	90211010	Artigos e aparelhos ortopédicos	180.183.284	190.938.743	371.122.027

	90211091	Partes e acessórios de artigos/aparelhos de ortopedia/articulação	1.962.653	6.511.460	8.474.113
	90211099	Outras partes e acessórios de aparelhos de ortopedia/fraturas	6.638.073	18.958.394	25.596.467
	90211910	Artigos e aparelhos ortopédicos		195	195
Desfibriladores	90219011	Cardiodesfibriladores automáticos	4.721.171	306.307.812	311.028.983
Próteses Modulares	90213991	Partes de próteses modulares que substituem membros superiores ou inferiores	6.341.694	90.130.373	96.472.067
Dentes	90212110	Dentes artificiais de acrílico	56.860.924	22.343.721	79.204.645
	90212190	Dentes artificiais, exceto de acrílico	632.272	119.321	751.593
Total Geral			1.213.136.745	7.130.191.057	8.343.327.802

Fonte: (MDIC, 2019).

Tabela 22: resultados por área de aplicação de produtos exportados e importados, valores FOB em US\$.

Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total Geral	%
Exportação	201.055.693	191.923.883	172.850.209	156.077.217	154.735.085	175.287.079	161.207.579	1.213.136.745	14,54%
Cardiovascular	102.409.039	89.934.317	101.021.644	94.520.497	96.527.921	116.208.100	98.619.760	699.241.278	57,64%
Dental	27.291.265	23.065.200	28.224.827	23.959.831	22.720.734	18.000.756	17.658.227	160.920.840	13,26%
Ortopedia	70.522.541	78.373.568	42.538.407	37.289.008	35.125.013	40.363.847	43.533.829	347.746.213	28,67%
Oftalmologia	832.848	550.798	1.065.331	307.881	361.417	714.376	1.395.763	5.228.414	0,43%
Importação	1.072.241.761	1.104.675.425	1.094.604.428	967.736.655	945.108.944	944.442.035	1.001.381.809	7.130.191.057	85,46%
Cardiovascular	871.920.055	853.242.273	833.506.578	724.114.790	736.985.629	691.395.237	722.425.577	5.433.590.139	76,21%
Dental	34.219.268	40.655.173	46.019.377	43.978.276	33.549.851	60.152.898	70.473.483	329.048.326	4,61%
Ortopedia	99.660.783	132.709.867	143.222.867	114.513.444	113.658.942	124.263.590	144.383.538	872.413.031	12,24%
Oftalmologia	66.441.655	78.068.112	71.855.606	85.130.145	60.914.522	68.630.310	64.099.211	495.139.561	6,94%
Total Geral	1.273.297.454	1.296.599.308	1.267.454.637	1.123.813.872	1.099.844.029	1.119.729.114	1.162.589.388	8.343.327.802	100%

Fonte: (MDIC, 2019).

Na tabela 22, mostram-se os resultados de dados extraídos da base de dados Comex Stat, organizados de acordo com a área de aplicação. A área cardiovascular apresenta resultados acima do esperado, mas isso se deve à dificuldade de identificar a NCM para cada produto. A classificação da NCM que foi possível levantar é por demais geral.

Tabela 23: resultado por estado no Brasil.

Rótulos de Linha	Exportação	Importação	Total FOB (US\$)	%
São Paulo	364.540.379	4.987.080.618	5.351.620.997	64,14%
Minas Gerais	498.428.469	299.852.389	798.280.858	9,57%
Rio de Janeiro	132.392.032	595.056.154	727.448.186	8,72%
Paraná	103.635.937	277.070.218	380.706.155	4,56%
Goiás	4.953.217	316.087.894	321.041.111	3,85%
Santa Catarina	28.852.339	259.986.387	288.838.726	3,46%
Rio Grande do Sul	3.517.927	148.168.777	151.686.704	1,82%
Amazonas	330	93.629.019	93.629.349	1,12%
Pernambuco	7.254.562	36.871.659	44.126.221	0,53%
Bahia	8.826	38.218.360	38.227.186	0,46%
Zona Não Declarada	23.137.181	185.888	23.323.069	0,28%
Distrito Federal		23.242.724	23.242.724	0,28%
Mercadoria Nacionalizada	21.421.033		21.421.033	0,26%
Não declarada	18.650.741		18.650.741	0,22%
Espírito Santo	266.356	18.244.023	18.510.379	0,22%
Paraíba		12.576.677	12.576.677	0,15%
Ceará	2.866	9.935.468	9.938.334	0,12%
Reexportação	5.598.212		5.598.212	0,07%
Piauí	50.768	4.893.116	4.943.884	0,06%
Rondônia		4.711.174	4.711.174	0,06%
Pará		1.865.697	1.865.697	0,02%
Mato Grosso		700.920	700.920	0,01%
Maranhão		483.254	483.254	0,01%
Alagoas		439.824	439.824	0,01%
Roraima	387.086		387.086	0,00%
Sergipe		378.684	378.684	0,00%
Mato Grosso do Sul	35.600	303.272	338.872	0,00%
Rio Grande do Norte	2.884	174.132	177.016	0,00%
Tocantins		34.729	34.729	0,00%
Total Geral	1.213.136.745	7.130.191.057	8.343.327.802	100,00%

Fonte: (MDIC, 2019).

Figura 15: mapa geográfico por estado federativo com maior representatividade na balança comercial do Brasil.



Fonte: (MDIC, 2019).

Tabela 24: países que o Brasil mais importa e exporta (20 principais).

País	Exportação	Importação	Total FOB US\$	%
Estados Unidos	176.528.979	2.094.110.602	2.270.639.581	29,71%
Alemanha	57.563.018	1.450.808.442	1.508.371.460	19,73%
Irlanda	6.517.670	1.078.274.906	1.084.792.576	14,19%
Suíça	103.672.418	351.565.139	455.237.557	5,96%
França	21.352.266	319.161.150	340.513.416	4,45%
Bélgica	196.856.738	81.047.888	277.904.626	3,64%
China	1.970.584	224.734.138	226.704.722	2,97%
Itália	14.487.824	131.563.104	146.050.928	1,91%
Argentina	92.137.280	51.916.054	144.053.334	1,88%
Malásia	1.866.480	135.641.880	137.508.360	1,80%
Reino Unido	10.582.312	124.976.346	135.558.658	1,77%
Costa Rica	54.321.114	78.750.108	133.071.222	1,74%
Japão	27.635.384	104.563.975	132.199.359	1,73%
México	36.607.046	90.848.283	127.455.329	1,67%
Dinamarca	978.448	117.279.004	118.257.452	1,55%
Índia	8.574.117	100.424.176	108.998.293	1,43%
Polônia	5.773.260	75.862.990	81.636.250	1,07%
Porto Rico	141.146	78.874.248	79.015.394	1,03%
Espanha	31.330.354	41.083.468	72.413.822	0,95%
Cingapura	12.830.292	50.449.878	63.280.170	0,83%
Total Geral	861.726.730	6.781.935.779	7.643.662.509	100,00%

Fonte: (MDIC, 2019).

De acordo com a tabela 24, pode-se verificar que os Estados Unidos são o país que mais exporta para o Brasil. Já a Bélgica é o país que mais compra produtos do Brasil.

Tabela 25: resultados por bloco econômico.

Bloco Econômico	Exportação	Importação	Total FOB (US\$)	%
Europa	329.383.708	2.168.569.731	2.497.953.439	29,94%
América do Norte	219.255.044	2.194.608.571	2.413.863.615	28,93%
União Europeia - UE	212.299.791	1.777.355.761	1.989.655.552	23,85%
Ásia (Exclusive Oriente Médio)	74.347.874	587.037.538	661.385.412	7,93%
América Central e Caribe	78.210.525	169.622.832	247.833.357	2,97%
América do Sul	186.509.720	48.364.365	234.874.085	2,82%
ASEAN	17.040.654	106.550.242	123.590.896	1,48%
Mercado Comum do Sul - Mercosul	64.005.255	48.294.934	112.300.189	1,35%
Oriente Médio	12.411.974	18.235.558	30.647.532	0,37%
Oceania	11.240.640	8.761.816	20.002.456	0,24%
África	8.431.560	2.789.709	11.221.269	0,13%
Total Geral	1.213.136.745	7.130.191.057	8.343.327.802	100,00%

Fonte: (MDIC, 2019).

A tabela 25 demonstra que a Europa e a União Europeia são blocos importantes para o Brasil, principalmente por constituírem aproximadamente 53,79% do total de importação-exportação. A América do Norte vem em seguida com 28,93%, sendo os Estados Unidos o país que mais exporta.

6 DISCUSSÃO

A mensuração da produtividade dos pesquisadores e das instituições ocorre com base em métodos, indicadores de produção científica e bases de dados, nas quais os indicadores bibliométricos são ferramentas essenciais para medir a avaliação dos periódicos, trabalhos científicos e instituições de pesquisa (MONTEFUSCO, 2017).

Nesta pesquisa, utilizamos duas bases de dados. Dentre elas, a *Scopus* apresentou maior quantidade de documentos publicados, cerca de 58,49%, contra 51,51% da *Web of Science*. Em ambas as bases se utilizam termos em inglês para a pesquisa, o que requer do pesquisador um determinado conhecimento para obter com precisão a informação necessária.

Para ambas as bases foram utilizadas as mesmas estratégias de busca e a diferença na quantidade de artigos no total foi 40,88% maior para a *Scopus* no período de 2012 a 2018.

Com relação ao progresso da produção científica na área de biomateriais, podemos afirmar que os metais se revelaram a subárea da ciência dos materiais que aponta para um maior interesse dos pesquisadores no desenvolvimento de pesquisas que busquem novas técnicas e métodos para melhorar a qualidade de vida das pessoas. Foram 20.167 publicações realizadas no período, e 50,56% são do grupo dos metais.

Levando em consideração esse dado, a área dental publicou 56,95%, sendo que 30,87% dos artigos são do grupo dos metais. Isso porque uma parte da população está perdendo os dentes em função de doenças dentárias e do envelhecimento, e também porque os especialistas da área dental estão buscando tecnologias que permitam o desenvolvimento de implantes que facilitem uma recuperação mais rápida e procedimentos menos evasivos.

O que surpreendeu foi verificar o crescimento de 70,35% do número de publicações no grupo dos biomateriais naturais entre 2012 e 2018. Isso demonstra a evolução da medicina no sentido de buscar produtos naturais para substituir produtos artificiais.

A ABIIS emitiu, em 2015, um relatório sobre tecnologias ou dispositivos médicos que envolvem a utilização do conhecimento e do uso apropriado de aparelhos, métodos e tecnologias capazes de checar, prevenir e resolver problemas

de saúde e melhorar a qualidade de vida. O relatório engloba todo instrumento, máquina, implante, software ou material destinado a ser usado em combinação com seres humanos para um ou mais dos efeitos médicos de:

- diagnóstico, prevenção, controle ou tratamento de uma doença ou lesão;
- estudo ou substituição de um processo fisiológico;
- apoiar e sustentar a vida;
- desinfecção de dispositivos médicos;
- fornecimento de informações através de exames laboratoriais derivadas do corpo humano.

Quando, no entanto, olhamos para os resultados acerca de exportação e importação, a área cardiovascular chama a atenção. Considerando os totais, representa 57,64% das exportações e 76,21% das importações, e 13,35% das publicações. É importante frisar que os dados nas bases econômicas dos metais, por exemplo, não são tão atrativos quanto nas bases científicas. Isso porque há uma dificuldade em levantar a NCM de cada produto utilizado em cada área de aplicação. Se isso for possível de algum modo, poderemos encontrar resultados surpreendentes.

Nota-se, segundo a ABIMO (2015), que a produção de aparelhos eletrodomésticos e equipamentos de irrigação é maior que a de instrumentos e materiais de uso médico e odontológico, como mostrado na figura 12. Isso justifica a prevalência de pequenas e médias empresas, que representa quase 74% do mercado.

Também da perspectiva econômica, deve-se mencionar a proeminência do estado de São Paulo, com o maior PIB entre os estados do Brasil (R\$2.000.110 milhões), o estado mais rico da federação e um dos polos industriais mais importantes do continente americano. Pode-se ver, na tabela 22, que São Paulo representa 64,14% da receita do Brasil no que diz respeito às exportações e importações de produtos para a área da saúde.

Quanto ao quesito exportação-importação, nas exportações, a Europa é o bloco que econômico que mais recebe produtos do Brasil com 27,15% do total, seguida da América do Norte e União Europeia. Nas importações, a América do Norte é o bloco econômico que mais envia produtos para o Brasil com 30,78% do total, seguida da Europa e União Europeia. Os Estados Unidos é a economia mais importante para o Brasil no que se diz respeito a balança comercial, seguida da Alemanha e Irlanda.

7 CONCLUSÃO

O mercado de biomateriais constitui uma área estratégica no que se refere ao grande potencial econômico de todos os setores e áreas no Brasil, na América Latina e no mundo.

De acordo com o Centro de Gestão e Estudo Estratégicos (CGEE), quanto à distribuição das empresas por região, 75% das empresas concentram-se no estado de São Paulo (51,9% na capital, e 23,1% no interior). A região Sul concentra 12,5%, e os 12,5% restantes se dividem entre as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (ABDI; CGEE, 2008).

As receitas das empresas são cruciais para o desenvolvimento de pesquisas e aprimoramentos, seja para aprimorar técnicas, seja para criar novos produtos que atendam melhor as demandas da sociedade conforme o surgimento de novos materiais. Esse fato sugere que empresas, universidade e sociedade deveriam estar alinhadas nas necessidades e nas soluções.

Do ponto de vista estratégico, as empresas se instalam nas principais regiões do país, onde é possível encontrar parcerias e demandas para o desenvolvimento tecnológico.

O dinamismo e as tendências do mercado são influenciados pelos seguintes fatores:

- aumento de fundos e subsídios por órgãos governamentais;
- avanços tecnológicos;
- dispositivos implantáveis crescentes no mercado;
- casos crescentes para procedimentos de substituição quadril e joelho;
- alto crescimento da população geriátrica, juntamente com incidência crescente de doenças cardiovasculares;
- aumento da conscientização sobre medicina regenerativa.

Mesmo com todas essas informações, existe ainda um risco calculado, que está atrelado às limitações do biomaterial (cuja aplicação em certos produtos pode trazer resultados adversos aos pacientes), às regulamentações governamentais e reformas da saúde desfavoráveis ao Brasil e à América Latina.

Contudo, a partir dos dados históricos do mercado e de uma análise do impacto de suas tendências, é possível saber o tamanho do negócio, seja para investimento no desenvolvimento ou na fabricação de um material, seja para a criação de uma nova

técnica de aplicação ou procedimento que forneça ao paciente menor tempo de recuperação ou que possa fomentar pesquisa e gerar valor econômico em certa região.

Figura 16: infográfico da conclusão.



8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI, AGENCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Panorama setorial: equipamentos médicos, hospitalares e odontológicos. Brasília, ABDI, 2008. (Serie Cadernos da indústria ABDI, v. 7). Disponível em: <http://maxxidistribuidora.com.br/ebook/02.pdf>.

ABIMO. Análise da Estrutura Setorial de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios no Brasil. São Paulo: ABIMO, 2015. 48 p. (Relatório Técnico). Disponível em: http://superaparque.com.br/upload/20160613-030628-relatorio_datatus_2016.pdf.

BANCO MUNDIAL. THE WORLD BANK. O Banco Mundial no Brasil. 2019. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/country/brazil>. Acesso em: 12 jan. 2019.

BOBBIO, A. The first endosseous alloplastic implant in the history man. **Bulletin of the history of dentistry**, v. 20, n. 1, p. 1-6, 1972.

BONDE. [Internet]. Osteoporose atinge dez milhões de brasileiros. 2017. disponível em: <https://www.bonde.com.br/saude/corpo-e-mente/osteoporose-atinge-10-milhoes-de-brasileiros-438522.html>. Acesso em 01 de 2019.

BORELLI, V.; MEDEIROS, F.; MAIA, M.; MEDEIROS, R.; HIGA, O. Biocompatibilidade de Biomateriais: Estudo Exploratório Sobre a Aplicação da Norma ISO 10.993. In: COLAOB 2010: The 6th Latin American Congress of Artificial and Biomaterials. Gramado, Rio Grande do Sul, 17 a 20 de Agosto de 2010. p. 1-15. Disponível em: HYPERLINK "https://www.ipen.br/biblioteca/2010/eventos/16145.pdf" <https://www.ipen.br/biblioteca/2010/eventos/16145.pdf> .

BRESSIANI, A. H. A.; GALDINO, A. G. S.; MUNHOZ, A. L. J.; PURQUERIO, B. M.; FORTULAN, C. A. Biofabris - Instituto Nacional de C&T em Biofabricação. 2014. Acesso em: 18 de dez. 2018. Disponível em: <http://biofabris.com.br/pt/biomateriais/>.

CAPES. Portal de Periódicos. 2019. Web of Science. Base de Dados Coleção principal Clarivates Analytics. 2012-2018. Disponível em: http://apps-webofknowledge.ez87.periodicos.capes.gov.br/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=6D1XiObHKewsZznyaJR&preferencesSaved=. Acesso em: 07 fev. 2019.

CUI, C.; LIU, H.; LI, Y.; SUN, J. Fabrication and biocompatibility of nano-TiO₂/titanium alloys biomaterials. **Materials Letters**, v. 59, n. 24-25, p. 3144-3148, 2005.

DAGUANO, J.; SANTOS, C.; ROGERO, S. Avaliação da citotoxicidade de biocerâmicas desenvolvidas para uso em sistemas de implantes. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.12, n. 1, p. 134-139, 2007.

DAHIYA, M.; TOMER, V.; DUHAN, S. Bioactive glass/glass ceramics for dental applications. In: ASIRI, A. M. (Ed.). **Applications of Nanocomposite Materials in Dentistry**. Cambridge, MA: Woodhead Publishing; Elsevier, 2019. p.1-25.

ELSEVIER. 2019. CAPES. Portal de periódicos.SCOPUS (Elsevier Empowering Knowledge): Base de Dados, 2012-2018. Disponível em: <https://www-scopus.ez87.periodicos.capes.gov.br/search/form.uri?display=basic>. Acesso em: 7 fev. 2019.

FERENHOF, H.; FERNANDES, R. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SSF. **Revista ACB: Biblioteconomia em Santa Catarina**, v. 21, n. 3 p. 550-563, 2016.

GUASTALDI, A.; APARECIDA, A. Fosfatos de cálcio de interesse biológico: Importância como biomateriais, propriedades e métodos de obtenção de recobrimentos. **Química Nova**, v. 33, n. 6, p. 1352-1358, 2010.

HACKER, M.; KRIEGHOFF, J.; MIKOS, A. Synthetic Polymers. In: ATALA, A. et al. (Eds.). **Principles of Regenerative Medicine**. 3rd. ed. London, UK: Academic Press, 2019. p. 559-590.

HALLAB, N.; JACOBS, J. Orthopedic Applications. In: RATNER, B.; HOFFMAN, A.; SCHOEN, F.; LEMONS, J. (Eds.), **Biomaterials Science: An Introduction to Materials**. 3rd. ed. London, UK: Academic Press, 2013. p. 841-882. Disponível em: [doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087780-8.00073-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087780-8.00073-5).

HANAWA, T. Materials for metallic stents. **Journal of Artificial Organs**, v. 12, n. 2, p. 73-79, 2009.

HE, W.; BENSON, R. Polymeric biomaterials. IN: KUTZ, M. (Ed.). **Applied plastics engineering handbook: Processing, materials, and applications**. 2nd. ed. Delmar, N.Y.: William Andrew, 2017. p. 145-164.

HENCH, L.; POLAK, J. Third-generation biomedical materials. **Science**, v. 295, n. 5557, p. 1014-1017, 2002.

HUANG, Y.; MCGOWAN, T.; LEE, R.; IVANOVSKI, S. Dental Implants: Biomaterial Properties Influencing Osseointegration. **Comprehensive Biomaterials II**, v. 7, n. 2, p. 444-466, 2017.

HUTCHENS, S.; BENSON, R.; EVANS, B.; NEILL, H.; RAWN, C. Biomimetic synthesis of calcium-deficient hydroxyapatite in a natural hydrogel. **Biomaterials**, v. 27, p.4661-4670, 2006.

ISO10.993. Use of International Standard ISO 10993-1, "**Biological evaluation of medical devices - Part 1**: Evaluation and testing within a risk management process". Rockville, MD: U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration, 2016. 68 p.

JOHNSON, J.A.; SAYAH, F.; QIU, W.; REES, S.; CHIK, C.; CHUE, P.; FLORENCE, P.; JENNIFER JACQUIER, J. et al. Screening and Follow Up as Effective as a Collaborative Primary Care Model for Improving Health-Related Quality of Life in Patients with Depression and Diabetes: Results of a Controlled Trial. **Acta Orthop**. v. 37, p. 155-170, 1981.

KAWACHI, E.; BERTRAN, C.; REIS, R.; ALVES, O. Biocerâmicas: tendências e perspectivas de uma área interdisciplinar. **Química Nova**, v.23, n. 4, p. 518-522, 2000.

KHOR, E.; LIM, L. Implantable applications, of chitin and chitosan. **Biomaterials**, v. 24, n. 13, p. 2339-2349, 2003.

KUMAR, A.; MISRA, R. 3D-printed titanium alloys for orthopedic applicatios. In: FROES, F. H.; QIAN, Ma (Eds.). Titanium in medical and dental applicaations. Texas: Elsevier, 2018. p. 251-275.

LANDUCI, M. C. **Caracterização das propriedades mecânicas de biomateriais metálicos**. 2016. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, UNESP, 2016.

LEMONS, J.; MISCH, C. Dental implantation. In: RATNER, B. D.; HOFFIMAN, A. S.; SCHOEN, F. J.; LEMONS, J. E. (Eds.). **Biomaterials science**: an introduction to materials. 3rd. ed. Amsterdam: Elsevier, 2013. Chapter II.5.7, p. 882-888.

MARÍN JIMÉNEZ, A. **El mercado del vino en Brasil**. São Paulo: ICEX, 2016.

MARRONE, P. V. (Coord.). Saúde 4.0: propostas para impulsionar o ciclo das inovações em Dispositivos Médicos (DMAs) no Brasil. Aliança Brasileira da Indústria

Inovadora em Saúde. São Paulo: ABIIS, 2015. 232 p. Disponível em: <https://ses.sp.bvs.br/wp-content/uploads/2016/10/Livro-saude-4.0.pdf>.

MDIC. Comex Stat. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. In: MARÍN JIMÉNEZ, A. **El mercado del vino en Brasil**. São Paulo: ICEX, 2019.

MONTEFUSCO, A. **A influência de autores estrangeiros no aumento de citações em periódicos brasileiros de medicina: uma análise bibliométrica**. 2017. 76 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2017.

PIERONI, J.; REIS, C.; SOUZA, J. A indústria de equipamentos e materiais médicos, hospitalares e odontológicos: uma proposta de atuação do BNDES. Complexo Industrial da Saúde. **BNDES Setorial**, n. 31, p. 185-226, mar. 2010.

PIRES, A.; BIERHALZ, A.; MORAES, Â. Biomaterials: Types, Applications, and Market. **Química Nova**, v. 38, n. 7, p.957-971, 2015.

PRESTWICH, G. Hyaluronic acid-based clinical biomaterials derived for cell and molecule delivery in regenerative medicine. **Journal of Controlled Release**, v. 155, n. 2, p. 193-199, 2011.

RATNER, B.; HOFFMAN, A.; SCHOEN, F.; LEMONS, J. Introduction - Biomaterials Science: An Evolving, Multidisciplinary Endeavor. In: RATNER, B. D. et al. (Ed.). **Biomaterials Science: An Introduction to Materials**. 3rd. ed. London, UK: Academic Press, 2013.

RATNER, P. D.; HOFFMAN, S. S.; SCHOEN, P. J.; LEMONS, P. E. (Ed.). **Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine**. 2nd. ed. San Diego, California: Elsevier, 2004. v. 1.

ROEDEL, S.; MESQUITA-GUIMARÃES, J.; SOUZA, J.; SILVA, F.; FREDEL, M.; HENRIQUES, B. Production and characterization of zirconia structures with a porous surface. **Materials Science and Engineering C**, v. 101, p. 264-273, 2017.

SAID, S.; MIKHAIL, S.; RIAD, M. Recent progress in preparations and applications of meso-porous alumina. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 2, n. 2, p. 288-297, 2019.

SCHOEN, F. Introduction to Cardiovascular Medical Devices. In: RATNER, B. D. et al. (Ed.). **Biomaterials Science: An Introduction to Materials**. 3rd. ed. London, UK: Academic Press, 2013. p. 760-761.

SI, J.; YANG, Y.; XING, X.; YANG, F.; SHAN, P. Controlled degradable chitosan/collagen composite scaffolds for application in nerve tissue regeneration. **Polymer Degradation and Stability**, v. 166, p. 73-85, 2019.

SIMON, M.; BOROVETZ, H.; WAGNER, W. Implantable Cardiac Assist Devices and IABPs. *In*: RATNER, B. D. et al. (Ed.). **Biomaterials Science: An Introduction to Materials**. 3rd. ed. London, UK: Academic Press, 2013. p. 799-811.

SINHORETI, M.; VITTI, R.; MESTRE, L.-S. Biomateriais na Odontologia: panorama atual e perspectivas futuras Biomaterials in Dentistry: current view and future perspectives. **Revista da Associação Paulista de Cirurgiões Dentistas**, v. 67, 178-186, 2013.

STEINERT, R.; JAIN, R. Ophthalmologic Applications: Introduction. *In*: RATNER, B.D.; HOFFMAN, A.S.; SCHOEN, F.J.; LEMONS, J. E. (Eds.), **Biomaterials Science: An Introduction to Materials**. 3rd. ed., London, UK: Academic Press, 2013. p. 905-909.