

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE BIBLIOTECONOMIA E COMUNICAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMUNICAÇÃO E INFORMAÇÃO

Gonzalo Rubén Alvarez

**PRODUÇÃO CIENTÍFICA, COLABORAÇÃO E IMPACTO DA FÍSICA DE ALTAS
ENERGIAS BRASILEIRA INDEXADA NA *WEB OF SCIENCE* (1983-2013)**

Porto Alegre

2015

Gonzalo Rubén Alvarez

**PRODUÇÃO CIENTÍFICA, COLABORAÇÃO E IMPACTO DA FÍSICA DE ALTAS
ENERGIAS BRASILEIRA INDEXADA NA *WEB OF SCIENCE* (1983-2013)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Comunicação e Informação da Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Comunicação e Informação.

Orientadora: Profa. Dra. Samile Andréa de Souza Vanz

Porto Alegre

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Dr. Carlos Alexandre Netto

Vice-reitor: Prof. Dr. Rui Vicente Oppermann

FACULDADE DE BIBLIOTECONOMIA E COMUNICAÇÃO

Diretora: Profa. Dra. Ana Maria Mielniczuk de Moura

Vice-diretor: Prof. Dr. André Iribure Rodrigues

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMUNICAÇÃO E INFORMAÇÃO

Coordenadora: Profa. Dra. Nísia Martins do Rosário

Coordenador substituto: Prof. Dr. Alexandre Rocha da Silva

CIP - Catalogação na Publicação

Alvarez, Gonzalo Rubén

Produção científica, colaboração e impacto da Física de Altas Energias brasileira indexada na Web of Science (1983-2013) / Gonzalo Rubén Alvarez. -- 2015. 175 f.

Orientadora: Samile Andréa de Souza Vanz.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação, Programa de Pós-Graduação em Comunicação e Informação, Porto Alegre, BR-RS, 2015.

1. Produção científica. 2. Colaboração científica. 3. Análise de citação. 4. Bibliometria. 5. Física de Altas Energias brasileira. I. Vanz, Samile Andréa de Souza, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

PPGCOM/UFRGS

Rua: Ramiro Barcelos 2705

CEP: 90.035-007 - Porto Alegre, RS

Telefone: (51) 3308-5116

E-mail: fabico@ufrgs.br

Gonzalo Rubén Alvarez

**PRODUÇÃO CIENTÍFICA, COLABORAÇÃO E IMPACTO DA FÍSICA DE ALTAS
ENERGIAS BRASILEIRA INDEXADA NA *WEB OF SCIENCE* (1983-2013)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Comunicação e Informação da Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Comunicação e Informação.

Orientadora: Profa. Dra. Samile Andréa de Souza Vanz

Aprovada em: 23 de novembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Marcia Cristina Bernardes Barbosa
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Ana Maria Mielniczuk de Moura
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Sônia Elisa Caregnato
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Moisés Rockembach (Suplente)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

DEDICATÓRIA

À memória de minha avó Maria Julia.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos na área da Ciência da Informação.

À minha orientadora Profa. Dra. Samile Andréa de Souza Vanz, pelos pareceres e sugestões e especialmente, pela parceria e amizade.

Ao Prof. Dr. Magno Valério Trindade Machado, pelos ensinamentos sobre a Física de Altas Energias.

À Profa. Dra. Marcia Cristina Bernardes Barbosa, pelas apreciações na defesa da dissertação.

Às professoras Ana Maria Mielniczuk de Moura e Sônia Elisa Caregnato, pelas contribuições na qualificação do projeto de pesquisa.

À Profa. Dra. Ida Regina Chittó Stumpf, pelo apoio e incentivo à minha carreira acadêmica.

À Profa. Dra. Jandyra Maria Guimarães Fachel e equipe, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao professor Olle Persson, pela ajuda com o Bibexcel.

Ao professor Ronald Rousseau, pelos esclarecimentos sobre produtividade e distribuição de Lotka.

À bibliotecária do ICBS/UFRGS e colega do PPGCOM Dirce Maria Santin, pelas explicações sobre diferentes *softwares* utilizados nas análises descritivas.

À bibliotecária do IBGE Sônia Regina Zanotto, pela cordialidade e paciência para elucidar dúvidas acerca da Bibliometria.

Aos meus amigos de Buenos Aires, José Luis Morgade e José Luis Bonda, pela lembrança e consideração.

Aos colegas do PPGCOM, pela disponibilidade e assistência permanente.

À minha esposa Tania Maria (Nena), pela paciência e companheirismo.

As redes são apenas a estrutura da complexidade, as vias dos diversos processos que fazem nosso mundo vibrar.
Albert-László Barabási

RESUMO

Com base em indicadores bibliométricos de produção, colaboração e impacto, este trabalho investiga os artigos científicos brasileiros da Física de Altas Energias (FAE) indexados pelo *Science Citation Index* (SCI) da *Web of Science* (WoS) no período de 1983-2013. Fizeram parte do estudo todas as publicações em periódicos abrangidos na categoria de assunto *Physics, Particles & Fields*. Os dados foram organizados e analisados com auxílio dos *softwares* Bibexcel, UCINET, Gephi, Philcarto, SPSS, R e Excel 2007. Os 6.350 artigos sugerem que o crescimento anual da produção pode ter sido consequência da ampliação dos Programas de Pós-Graduação (PPGs) com linhas de pesquisa FAE e grupos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da participação do Brasil nas colaborações internacionais e da instituição da Rede Nacional de Física de Altas Energias (RENAFAE). A distribuição das artigos por *Web of Science Category* (WC) demonstrou que a área centraliza a publicação em um número reduzido de periódicos estrangeiros de língua inglesa, com destaque para *Physical Review D* (PRD). A Astronomia & Astrofísica com 45,63% e a Física Nuclear com 18,66% de participação foram as categorias predominantes. Os cientistas nacionais mais produtivos são da subárea experimental e filiados a instituições públicas do eixo Rio de Janeiro-São Paulo. As universidades foram responsáveis por 80,92% da produção. A coautoria entre indivíduos cresceu ao longo do período, registrando média de 155,89 autores por artigo. O estudo por amostragem provou que a parcela de publicações de autoria única (11,39%) está vinculada à Física Teórica. Tanto o crescimento do número de artigos quanto o de colaborações se ajustam ao modelo de regressão linear. O decréscimo da média de instituições por artigo quando consideradas somente as nacionais, denota a preferência pela colaboração internacional em razão do custo e complexidade das investigações. As análises de MDS e *clusters* confirmam a existência de grupos regionais. A média de países por artigo é de 4,87. A proporção de coautorias internacionais da FAE (49,07%) é superior aos índices verificados na produção científica brasileira em anos recentes. O predomínio de pesquisadores estrangeiros na rede de colaboração confirma a internacionalização da atividade e a presença do Brasil nos experimentos multinacionais. Os indicadores absolutos expressam que EUA, Rússia e França são os principais parceiros. Os indicadores relativos expõem um processo de desconcentração e diversificação das colaborações nacionais, com presença relevante da Colômbia e países do leste europeu. O impacto da pesquisa em FAE aponta que os artigos brasileiros receberam 78.812 citações provenientes de 41.152 documentos. Os dados mostram que 87,65% das publicações foram citadas uma ou mais vezes no período. As características gerais dos citantes revelam a prevalência do artigo publicado em periódico estrangeiro na língua inglesa. A Física de Partículas e Campos com 36,24% e a Astronomia & Astrofísica com 21,17% de participação foram as categorias citantes salientes. Os documentos internacionais representam 88,15% das citações, com distinção para as publicações dos EUA, Alemanha e Itália. O *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* (INFN) se destaca entre as instituições de filiação dos autores citantes. Conclui que a FAE detém reconhecimento internacional, entretanto, o incremento da participação nas colaborações multinacionais e a intensificação da atividade científica na subárea experimental pode conceder ao Brasil o *status* dos países desenvolvidos.

Palavras-chave: Produção científica. Colaboração científica. Análise de citação. Bibliometria. Física de Altas Energias brasileira.

ABSTRACT

Based on bibliometric indicators of production, collaboration and impact, this study investigates the Brazilian scientific papers on High Energy Physics (HEP) indexed by the Science Citation Index (SCI) in the Web of Science (WoS) from 1983 to 2013. All publications in journals embraced by the subject category Physics, Particles & Fields were part of this research. Data were organized and analyzed using the software Bibexcel, UCINET, Gephi, Philcarto, SPSS, R and Excel 2007. The 6.350 papers recovered suggest that the annual growth in production may have been caused by the expansion of Graduate Programs on lines of research related to HEP and by the expansion of groups of the same line in the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), as well as by Brazil's participation in international collaborations and by the institution of the National Network of High Energy Physics (RENAFAE). The distribution of papers by Web of Science Category (WC) showed that the area centers its publication in a small number of journals in English, especially the Physical Review D (PRD). The predominant categories were Astronomy & Astrophysics, with 45,63% of the publications, and Nuclear Physics, with 18,66%. The most productive Brazilian scientists are from the experimental subarea and affiliated to public institutions in Rio de Janeiro and São Paulo. Universities were responsible for 80,92% of the output. The numbers related to coauthorship grew in the researched period, registering an average of 155,89 authors per article. The study sample proved that the share of single authorship publications (11,39%) is tied to Theoretical Physics. The growth in both the number of articles and the number of collaborations is coherent with the linear regression model. The decrease in the average of institutions per article when considering only the Brazilian institutions indicates the preference for international collaborations due to the cost and complexity of the researches. MDS and clusters analyzes confirm the existence of regional groups. The average of countries per article is of 4,87. HEP's proportion of international coauthorship (49,07%) is higher than the rates found in the Brazilian scientific output in recent years. The predominance of foreign researchers in the collaboration network confirms the internationalization of the activity and the presence of Brazil in multinational experiments. Absolute indicators show that the U.S.A., Russia and France are Brazil's main partners in coauthored publications. Relative indicators display a process of decentralization and diversification of Brazilian collaborations, with a significant presence of Colombia and Eastern Europe in the coauthorships. Impact indicators show that Brazilian papers received 78.812 citations to 41.152 documents. The data show that 87,65% of the publications were mentioned one or more times during the period. The general characteristics of the articles that cited Brazilian works revealed a predominance of publications in foreign journals and in English. Field and Particle Physics, with 36,24%, and Astronomy & Astrophysics, with 21,17%, were the two categories that most cited Brazilian works in the area. International documents represent 88,15% of the citations, especially the publications by the U.S.A., Germany and Italy. The *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* (INFN) stands out among the institutions which the citing authors are affiliated to. The study concludes that HEP has international recognition; however, the increase in Brazil's participation in multinational collaborations and the intensification of scientific activity in the experimental subarea can give Brazil the same status granted to developed countries.

Keywords: Scientific output. Scientific collaboration. Citation analysis. Bibliometrics. Brazilian High Energy Physics.

RESUMEN

Con base en indicadores bibliométricos de producción, colaboración e impacto, este trabajo investiga los artículos científicos brasileños de Física de Altas Energías (FAE) indexados por el *Science Citation Index* (SCI) de la *Web of Science* (WoS) en el período de 1983-2013. Hicieron parte del estudio todas las publicaciones en revistas incluidas en la categoría de materias *Physics, Particles & Fields*. Los datos fueron organizados y analizados con ayuda de los *softwares* Bibexcel, UCINET, Gephi, Philcarto, SPSS, R y Excel 2007. Los 6.350 artículos sugieren que el crecimiento de la producción anual puede haber sido consecuencia de la expansión de los Programas de Postgrado con líneas de investigación FAE y grupos del *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq), de la participación de Brasil en las colaboraciones internacionales y de la institución de la *Rede Nacional de Física de Altas Energías* (RENAFAE). La distribución de los artículos por *Web of Science Category* (WC) demostró que la área centraliza la publicación en un número reducido de periódicos extranjeros de lengua inglesa, con realce para *Physical Review D* (PRD). Astronomía & Astrofísica con 45,63% y Física Nuclear con 18,66% de participación fueron las categorías predominantes. Los científicos brasileños más productivos son de la subárea experimental y pertenecen a instituciones públicas del eje Rio de Janeiro-São Paulo. Las universidades fueron responsables por 80,92% de la producción. La co-autoría entre individuos creció durante el período, registrando media de 155,89 autores por artículo. El estudio por muestreo demostró que la fracción de publicaciones de autoría única (11,39%) está vinculada a la Física Teórica. Tanto el crecimiento del número de artículos como el de colaboraciones se ajustan al modelo de regresión lineal. La disminución de la media de las instituciones por artículo cuando consideradas solamente las nacionales, denota a preferencia por la colaboración internacional debido a los costos y complejidad de las investigaciones. Los análisis de MDS y *clusters* confirman la existencia de grupos regionales. La media de países por artículo es de 4,87. La proporción de co-autorías internacionales de la FAE (49,07%) es superior a las tasas verificadas en la producción científica brasileña en los últimos años. El predominio de investigadores extranjeros en la red de colaboración confirma la internacionalización de la actividad y la presencia de Brasil en los experimentos multinacionales. Los indicadores absolutos muestran que los EE.UU., Rusia y Francia son los principales socios. Los indicadores relativos exponen un proceso de descentralización y diversificación de las colaboraciones nacionales, con presencia relevante de Colombia y países del este europeo. El impacto de la investigación en FAE señala que los artículos brasileños recibieron 78.812 citas provenientes de 41,152 documentos. Los datos muestran que 87,65% de las publicaciones fueron citadas una o más veces en el período. Las características generales de los citandos revelan el predominio del artículo publicado en revista extranjera en lengua inglesa. La Física de Partículas y Campos con 36,24% y la Astronomía & Astrofísica con 21,17% de participación fueron las categorías citandas salientes. Los documentos internacionales representan 88,15% de las citas, con distinción para las publicaciones de Estados Unidos, Alemania e Italia. El *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* (INFN) se destaca entre las instituciones de los autores citandos. Concluye que la FAE tiene reconocimiento internacional, sin embargo, el aumento de la participación en las colaboraciones multinacionales y la intensificación de la actividad científica en la subárea experimental pueden darle al Brasil el *status* de los países desarrollados.

Palabras clave: Producción científica. Colaboración científica. Análisis de citas. Bibliometría. Física de Altas Energías brasileña.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dinâmica de crescimento das publicações anuais, grupos CNPq e PPGs da FAE brasileira (1983-2013)	74
Figura 2 - <i>Clusters</i> de WCs presentes na produção científica da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)	80
Figura 3 - Distribuição geográfica da produção científica da FAE brasileira indexada na WoS conforme país editor dos artigos (1983-2013).....	82
Figura 4 - Modelo de distribuição de Lotka aplicado à produção científica da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)	91
Figura 5 - Correlação entre produtividade e colaboração da FAE brasileira (1983-2013)	102
Figura 6 - Rede de colaboração dos 50 pesquisadores nacionais e coautores internacionais mais produtivos da FAE (1983-2013)	104
Figura 7 - Coautoria institucional distribuída por períodos da FAE brasileira (1983-2013) .	110
Figura 8 - Rede de colaboração das 50 instituições nacionais e coautoras internacionais mais produtivas da FAE (1983-2013)	112
Figura 9 - Rede de colaboração das 50 instituições nacionais mais produtivas da FAE (1983-2013).....	118
Figura 10 - Rede de colaboração dos países com maior volume de artigos em coautoria da FAE brasileira (1983-2013).....	129

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número de artigos da FAE brasileira por série temporal e taxa de crescimento (1983-2013).....	70
Gráfico 2 - Dinâmica de crescimento da produção científica da FAE brasileira por períodos	71
Gráfico 3 - Distribuição de frequência das categorias de assunto WC por área de conhecimento conforme classificação de Glänzel e Schubert (2003).....	78
Gráfico 4 - Proporção de artigos em colaboração nacional, internacional e com autoria institucional única da FAE brasileira (1983-2013).....	111
Gráfico 5 - Mapa MDS das 15 instituições mais produtivas da rede de colaboração nacional da FAE (1983-2013).....	121
Gráfico 6 - Dendrograma da colaboração institucional em nível nacional da FAE (1983-2013)	122
Gráfico 7 - Número de países nos artigos em coautoria internacional da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)	128
Gráfico 8 - Procedência dos documentos citantes dos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)	148
Gráfico 9 - Continentes dos documentos citantes da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013).....	151

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – PPGs brasileiros em Física e Astronomia com linhas de pesquisa FAE.....	30
Quadro 2 - Funções das técnicas de comunicação da FAE.....	33
Quadro 3 - Estudos bibliométricos na FAE.....	59
Quadro 4 - Terminologia empregada no discurso científico da FAE.....	60
Quadro 5 - Variáveis dos indicadores gerais e específicos da pesquisa.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção científica da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013).....	68
Tabela 2 - Distribuição dos grupos de pesquisa CNPq da FAE brasileira por área	72
Tabela 3 - Distribuição dos artigos da FAE brasileira por categoria de assunto da WoS (1983-2013).....	76
Tabela 4 - Periódicos de publicação dos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013).....	85
Tabela 5 - Estatística descritiva da produtividade dos autores nacionais e coautores internacionais da FAE (1983-2013)	89
Tabela 6 - Autores brasileiros com maior número de contribuições na FAE (1983-2013).....	90
Tabela 7 - Estatística descritiva da produtividade das instituições nacionais e coautoras internacionais da FAE (1983-2013)	92
Tabela 8 - Unidades federativas brasileiras e número de artigos da FAE indexados na WoS (1983-2013)	94
Tabela 9 - Instituições brasileiras com maior número de contribuições na FAE (1983-2013)	95
Tabela 10 - Distribuição de autores por artigo da FAE brasileira indexado na WoS (1983-2013).....	97
Tabela 11 - Número de autores vinculados aos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)	100
Tabela 12 - Distribuição de instituições por artigo da FAE brasileira indexado na WoS (1983-2013).....	106
Tabela 13 - Número de instituições vinculadas aos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)	108
Tabela 14 - Distribuição das instituições nacionais por artigo da FAE brasileira indexado na WoS (1983-2013)	114
Tabela 15 - Número de instituições nacionais vinculadas aos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)	116

Tabela 16 - Distribuição dos países por artigo da FAE brasileira indexado na WoS (1983-2013).....	123
Tabela 17 - Número de países vinculados aos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013).....	125
Tabela 18 - Países com maior volume de publicações em colaboração da FAE brasileira (1983-2013).....	131
Tabela 19 - Países com maior força de colaboração da FAE brasileira (1983-2013).....	132
Tabela 20 - Distribuição das citações nacionais e internacionais por artigo da FAE brasileira indexado na WoS (1983-2013).....	134
Tabela 21 - Número de citações nacionais e internacionais vinculadas aos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013).....	136
Tabela 22 - Impacto da produção científica da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013).....	137
Tabela 23 - Distribuição dos documentos citantes da produção científica da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013).....	139
Tabela 24 - Categorias de assunto dos documentos citantes da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013).....	142
Tabela 25 - Principais periódicos de publicação dos documentos citantes da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013).....	145
Tabela 26 - Principais países dos documentos citantes da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013).....	149
Tabela 27 - Principais instituições dos documentos citantes da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013).....	152

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACT	Atividades Científicas e Tecnológicas
AHCI	Arts and Humanities Citation Index
AIP	American Institute of Physics
ARS	Análise de Redes Sociais
BCI	Book Citation Index
BNDE	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico
BNL	Brookhaven National Laboratory
BRICK	Brasil, Rússia, Índia, China, Coreia do Sul
BRICS	Brasil, Rússia, Índia, China, África do Sul
C&T	Ciência e Tecnologia
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBPF	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
CEPAL	Comissão Econômica para América Latina e Caribe
CERN	European Organization for Nuclear Research
CINVESTAV	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
CMS	Compact Muon Solenoid
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPCI-S	Conference Proceedings Citation Index Science
CPCI-SSH	Conference Proceedings Citation Index Social Science & Humanities
CTA	Centro Técnico Aeroespacial
DESY	Deutsches Elektronen Síncrotron
DGP/CNPq	Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq
DOE	Department of Energy
EBBC	Encontro Brasileiro de Bibliometria e Cientometria
EPJC	European Physical Journal C
ESI	Essential Science Indicators
FACEPE	Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco
FAE	Física de Altas Energias
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FAPERGS	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul

FAPERJ	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FERMILAB	Fermi National Accelerator Laboratory
FFCL/USP	Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras
FI	Fator de Impacto
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FMPE	Física de Partículas Elementares mexicana
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
INFN	Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPN	Instituto Politécnico Nacional
ISI	Institute for Scientific Information
JCR	Journal Citation Reports
JHEP	Journal of High Energy Physics
LANL	Los Alamos National Laboratory
LBL	Lawrence Berkeley National Laboratory
LLNL	Lawrence Livermore National Laboratory
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MEC	Ministério de Educação
ON	Observatório Nacional
PRD	Physical Review D
PPGs	Programas de Pós-Graduação
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RENAFAE	Rede Nacional de Física de Altas Energias
SBF	Sociedade Brasileira de Física
SC	Office of Science
SCI	Science Citation Index
SCOAP3	Sponsoring Consortium for Open Access Publishing in Particle Physics
SLAC	Stanford Linear Accelerator Center
SNPG	Sistema Nacional de Pós-graduação
SPIRES	Stanford Public Information Retrieval System

SSCI	Social Sciences Citation Index
UnB	Universidade de Brasília
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFABC	Universidade Federal do ABC
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFPel	Universidade Federal de Pelotas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSJ	Universidade Federal de São João del-Rei
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNESP	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
USP	Universidade de São Paulo
WoS	Web of Science
WC	Web of Science Category

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	JUSTIFICATIVA	21
1.2	OBJETIVOS	24
1.2.1	Objetivo geral	24
1.2.2	Objetivos específicos	24
2	REVISÃO DA LITERATURA	26
2.1	FAE BRASILEIRA: EVOLUÇÃO HISTÓRICA E CENÁRIO ATUAL	26
2.2	A PESQUISA E A COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA NA FAE	33
2.3	A AVALIAÇÃO CIENTÍFICA POR INDICADORES DE C&T	40
2.4	ESTUDOS BIBLIOMÉTRICOS NA FAE	48
3	METODOLOGIA	56
3.1	FONTES DE COLETA DE DADOS	56
3.2	ESTRATÉGIA DE BUSCA E <i>CORPUS</i>	58
3.3	COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	62
3.4	INDICADORES BIBLIOMÉTRICOS	64
3.5	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	65
4	ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	67
4.1	INDICADORES DE PRODUÇÃO	67
4.1.1	Ano de publicação e crescimento da FAE brasileira (1983-2013)	67
4.1.2	Idiomas das publicações da FAE brasileira (1983-2013)	74
4.1.3	Áreas temáticas da produção científica da FAE brasileira (1983-2013)	75
4.1.4	Periódicos da produção científica da FAE brasileira (1983-2013)	81
4.1.5	Produtividade dos autores da FAE brasileira (1983-2013)	88
4.1.6	Produtividade das instituições da FAE brasileira (1983-2013)	92
4.2	INDICADORES DE COLABORAÇÃO	97
4.2.1	Coautoria entre autores da FAE brasileira (1983-2013)	97
4.2.2	Coautoria entre instituições da FAE brasileira (1983-2013)	106
4.2.3	Coautoria entre países da FAE brasileira (1983-2013)	122
4.3	INDICADORES DE IMPACTO	134
4.3.1	Distribuição das citações por artigo da FAE brasileira (1983-2013)	134
4.3.2	Ano de publicação dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)	139
4.3.3	Idiomas dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)	141

4.3.4	Tipologia dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013).....	141
4.3.5	Áreas temáticas dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013).....	142
4.3.6	Periódicos dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)	143
4.3.7	Procedência dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)	147
4.3.8	Países dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013).....	148
4.3.9	Instituições dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013).....	152
5	CONCLUSÃO.....	155
	REFERÊNCIAS	159
	APÊNDICE A – Grupos de pesquisa CNPq para Física de Altas Energias	169
	APÊNDICE B – Grupos de pesquisa CNPq para Física de Partículas e Campos	170
	APÊNDICE C – Países colaboradores da FAE brasileira (1983-2013).....	171
	APÊNDICE D – Países coautores da FAE brasileira e força da colaboração medida pelo Cosseno de Salton (1983-2013).....	172
	APÊNDICE E – Países citantes da FAE brasileira (1983-2013)	174

1 INTRODUÇÃO

A ciência é o fenômeno social mais importante dos últimos séculos. Desde sua institucionalização, a avaliação da atividade científica fez-se necessária já que possibilita a obtenção de informações referentes à estrutura e à dinâmica de crescimento dos campos por meio de análise da produção científica, colaboração e impacto. Com relação à sociedade, tais avaliações definem políticas e investimentos em diferentes âmbitos como a educação, o sistema nacional de pós-graduação, a pesquisa e a inovação tecnológica. Para medir quantitativamente a ciência, o emprego de indicadores se torna essencial. A técnica mais utilizada pelos pesquisadores na análise estatística dos dados é a bibliometria ou cientometria.

A medição analítica dos resultados científicos de uma área através de indicadores bibliométricos ou cientométricos é uma das premissas básicas para a construção do conhecimento. A partir do mapeamento das publicações de um campo, é possível identificar o nível de desenvolvimento da pesquisa no âmbito local, realizar análises comparativas entre países e instituições, observar a interação entre os cientistas por meio do trabalho em colaboração, analisar a interdisciplinaridade entre áreas temáticas e examinar a visibilidade das investigações indexadas em bases de dados internacionais através das citações recebidas.

Desde tempos passados, o ato de comunicar as decorrências originadas pela atividade científica se tornou um fator fundamental para a construção de novo conhecimento. A produção, a disseminação e o uso de informação são necessários para o desenvolvimento das comunidades científicas. O exercício metodológico e a publicação são estágios indissociáveis para a avaliação da ciência. Os avanços científicos ocorrem a partir da troca de informação entre os pesquisadores através dos veículos de comunicação legitimados pelas diferentes áreas e disciplinas. Deste modo, os canais informais e formais se apresentam como destacados sistemas de difusão de ideias, pensamentos e resultados científicos. Na atualidade, o artigo de periódico é o canal de comunicação formal mais utilizado para registro, publicação e avaliação quantitativa das atividades de investigações científicas.

No Brasil, uma área que ganhou reconhecimento internacional e que colabora para o desenvolvimento nacional através da geração de conhecimento científico e tecnológico é a Física. A sua consolidação começou na década de 1930 com a chegada de pesquisadores estrangeiros e a fundação das primeiras universidades públicas em São Paulo e Rio de Janeiro (VIEIRA; VIDEIRA, 2007). Em estudo realizado no Reino Unido, o *Institute of Physics* (2012) comparou a produção científica (número de publicações) em Física indexada na *Web of Science* (WoS) no período de 2001-2010 entre países com reconhecida importância política

e econômica (G7) e países com potencial de crescimento (BRICK). Em 2010, o conjunto de artigos brasileiros representou 2% da produção mundial. Com relação ao impacto da pesquisa, o País situou-se diante de nações como Japão, Rússia, Índia, China e Coreia do Sul. Em comparação com 2009, o índice de citação registrou um aumento de 26,4%.

Um dos subcampos da área citada que contribui notoriamente para o avanço da ciência em termos de descobertas científicas é a Física de Altas Energias (FAE) ou Física de Partículas e Campos¹. Por meio de aceleradores, a FAE estuda as quatro interações básicas da natureza (Gravitacional, Eletromagnética, Fraca e Forte) e seus elementos fundamentais, as partículas elementares (SANTORO; NOVAES, 2003). Os estudos da área consistem essencialmente na observação dos resultados das colisões entre partículas. Na realização dos experimentos, são utilizados aceleradores que produzem feixes de partículas de alta energia. Descobertas recentes serviram de fundamento teórico na busca pela compreensão da origem do universo (SBF, 1987).

Com o objetivo de ampliar o conhecimento que se tem da FAE brasileira e com auxílio de indicadores bibliométricos, este estudo analisou as características da produção científica, colaboração e impacto desse campo a partir dos artigos publicados em revistas indexadas pela WoS no período de 1983-2013. A seguir, apresentam-se a justificativa, o problema, os objetivos, a revisão da literatura, a metodologia empregada, a análise e interpretação dos resultados e a conclusão da pesquisa.

1.1 JUSTIFICATIVA

A Física brasileira é uma área valorizada internacionalmente visto que uma quantidade considerável de seus artigos e citações é encontrada em revistas de alto impacto. Nota-se que, para alcançar um maior nível de produtividade e visibilidade, as pesquisas na ciência moderna são realizadas em redes de colaboração. Nesse contexto, o aumento da participação dos pesquisadores nacionais nas colaborações internacionais e a intensificação das atividades científicas tornaram-se pontos marcantes para o desenvolvimento da área (CAPES, 2013a).

Sob essa perspectiva, pode-se assegurar que o crescimento de uma área ocorre a partir do trabalho em colaboração e da interação entre os cientistas. A colaboração como processo social envolve o relacionamento entre parceiros na busca de um mesmo objetivo. A

¹ Na literatura existente, a área estudada pode ser identificada sob as duas denominações. Neste trabalho os dois termos serão considerados sinônimos. Todavia, a variabilidade terminológica possibilita a inclusão de outras designações como, por exemplo, Física de Partículas de Altas Energias.

colaboração é um assunto complexo porque abrange princípios, crenças, interesses e motivações e, ao mesmo tempo, essencial já que possibilita a partilha de conhecimentos, técnicas, habilidades e infraestrutura. A subárea da Física que é referência no mundo em termos de colaboração é a de Altas Energias.

Em relação aos benefícios para a sociedade, a FAE experimental contribui ativamente em áreas como a Medicina, no desenvolvimento de tomógrafos e terapia de radiação para diagnóstico e tratamento do câncer baseada no uso de partículas subatômicas (prótons) e íons (átomos com carga positiva ou negativa); a Tecnologia da Informação & Comunicação, na criação da *World Wide Web* como um sistema de processamento, transmissão e armazenamento de dados a partir do grande volume gerado pelos experimentos realizados com o acelerador de partículas *Large Hadron Collider* (LHC) da *European Organization for Nuclear Research* (CERN); o Meio Ambiente e Energia, na produção de energia renovável ou “limpa” a partir do aproveitamento da grande quantidade de energia liberada pelas antipartículas e antimatéria nas suas interações; os Processos Industriais, no melhoramento da qualidade do isolamento térmico em equipamentos elétricos como geladeiras e fornos através de tecnologia baseada em uma película absorvente utilizada em aceleradores de partículas para remover pequenas quantidades de gás do interior do sistema de vácuo (SANTORO; NOVAES, 2003; LEFEVRE, 2007).

Em 2008, o Brasil começou a gestão no CERN para se tornar, sob uma nova modalidade de participação, um Membro Associado. Apesar de não possuir um vínculo formal com o CERN, a colaboração da FAE brasileira é antiga e intensa. Em número de pesquisadores, alunos e engenheiros, o Brasil está em segundo lugar, enquanto país não-membro com maior participação, atrás apenas do Canadá. Por outro lado, a condição de país Membro Associado pode outorgar às instituições brasileiras maiores benefícios em termos de: participação nas pesquisas, conhecimento científico e tecnológico, publicação de trabalhos em coautoria e visibilidade internacional. Entretanto, a associação ao CERN não é suficiente para que haja um salto de qualidade na pesquisa da FAE, sendo necessário um investimento significativo na infraestrutura, na criação de novos laboratórios e na formação de recursos humanos (LÉPINE-SZILY et al., 2011). Ao mesmo tempo, pesquisadores brasileiros da área participam dos grandes projetos internacionais envolvendo colaborações com Laboratórios Nacionais como o *Fermi National Accelerator Laboratory* (FERMILAB) e *Brookhaven National Laboratory* (BNL) nos Estados Unidos e Pierre Auger na Argentina (CAPES, 2013a).

Um estudo sobre a produção científica, colaboração e impacto da FAE brasileira, a partir da análise das publicações indexadas na WoS, permitirá conhecer as particularidades da pesquisa na área, a coparticipação no âmbito nacional e internacional e a visibilidade das investigações por meio das citações. Além disso, a referida pesquisa poderá se tornar uma fonte de consulta no momento da tomada de decisão relacionada à concessão de novos financiamentos e bolsas de pós-graduação. Ao mesmo tempo, a avaliação da produção científica faz-se indispensável já que permite observar o progresso temporal de um campo e realizar comparações entre análises bibliométricas.

A escolha da FAE justifica-se por ser uma área na qual os cientistas trabalham em grandes grupos (*teamworks*) como decorrência do alto custo da pesquisa e complexidade dos experimentos. Newman (2004a) explica que, em termos de descobertas, o trabalho em rede contribui notoriamente para o crescimento e avanço da ciência ao invés da pesquisa que é realizada em isolamento. Ao mesmo tempo, a colaboração oferece aos pesquisadores aumento da produtividade, maior visibilidade dos resultados das investigações e incremento do número de citações.

É importante salientar que este trabalho se insere dentro da área do conhecimento Ciências Sociais Aplicadas/Ciência da Informação e faz parte das linhas temáticas de investigação: Produção Científica e Estudos de Colaboração e Citação do Grupo de Pesquisa registrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq): Comunicação Científica da Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A pesquisa procura reunir informações e apresentar o panorama de um campo específico da ciência brasileira: a FAE ou Física de Partículas e Campos.

A realização das disciplinas Comunicação Científica nas Ciências da Informação e Bibliometria, ministradas pelas Prof. Dra. Ida Regina Chittó Stumpf e Prof. Dra. Samile Andréa de Souza Vanz respectivamente durante o curso de graduação em Biblioteconomia provocou interesse pela avaliação quantitativa da ciência e mapeamento da produção científica de áreas do conhecimento por meio de indicadores bibliométricos. A leitura de trabalhos sobre análise de redes de colaboração científica de alguns especialistas como A. L. Barabási e M. E. J. Newman despertou curiosidade pelo tema e serviu como base para poder compreender como se estruturam as redes e quais as motivações que levam os pesquisadores a trabalharem em colaboração e a publicarem em coautoria.

Ainda, é imprescindível ressaltar que dentre a literatura existente, não foi encontrado um estudo bibliométrico específico sobre produção científica, colaboração e impacto na área

da FAE brasileira. Dessa forma, o estudo proposto apresenta-se como uma contribuição relevante para a caracterização da especialidade observada.

Por conseguinte, os pressupostos que delimitaram o objeto e auxiliaram na estrutura do problema de pesquisa são especificados a continuação:

a) a FAE é uma área destacada pelo trabalho em colaboração devido à complexidade das pesquisas e aos custos dos experimentos. A publicação em coautoria aumenta a produtividade e o impacto de citação do campo;

b) a interdisciplinaridade é um processo que encoraja o trabalho em colaboração já que os avanços científicos na FAE estão acontecendo a partir da relação com outros campos como, por exemplo, Engenharia e Ciência da Computação;

c) a avaliação quantitativa por indicadores bibliométricos permite conhecer o desenvolvimento da FAE em um período determinado. Os resultados servem como diretriz aos órgãos de fomento ao concederem financiamento para ampliação das pesquisas;

e) a WoS é uma base de dados multidisciplinar reconhecida que indexa os principais periódicos científicos internacionais da FAE e é frequentemente utilizada em avaliações métricas da ciência;

Portanto, apresenta-se como problema de pesquisa a seguinte questão:

Quais são as características da produção científica, colaboração e impacto da FAE brasileira indexada na WoS no período de 1983-2013?

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo foram divididos em: objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a produção científica, colaboração e impacto da FAE brasileira indexada na WoS no período de 1983-2013.

1.2.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos:

- a) identificar a produção científica da FAE brasileira com relação:
 - ao idioma,

- ao ano de publicação,
- à área de conhecimento,
- aos periódicos,
- aos autores e instituições de filiação;

b) analisar a coautoria nacional e internacional com relação à sua distribuição geográfica e institucional;

c) analisar a relação entre produtividade e colaboração;

d) examinar o impacto da produção científica por meio das citações recebidas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta o embasamento teórico que dá suporte à metodologia e às análises bibliométricas resultantes da investigação.

2.1 FAE BRASILEIRA: EVOLUÇÃO HISTÓRICA E CENÁRIO ATUAL

O desenvolvimento da Física no Brasil começou tardiamente devido à política colonial imposta por Portugal e a que este último não era um país de vanguarda em termos científicos e culturais na Europa. No entanto, a vinda de D. João VI produziu importantes modificações na região: abertura dos portos à navegação e ao comércio exterior, inauguração da primeira biblioteca pública, criação de academias e escolas médicas. Alguns acontecimentos como a concepção em 1893 da Escola Politécnica de São Paulo e da Academia Brasileira de Ciências em 1916 foram marcantes para a Física. A estas iniciativas de atividade científica juntou-se o impulso vigoroso das correntes de imigração e o crescimento industrial decorrente da Primeira Guerra Mundial (SBF, 1987).

No início da década de 1930, a física internacional atravessava uma fase contraditória em termos de descobertas, como que refletindo a instabilidade social do mundo todo, assolado pela crise econômica e política (MOTOYAMA, 2004). No entanto, a consolidação das pesquisas na área no Brasil e a colaboração entre cientistas ocorreram de forma sistematizada nesse período, principalmente com a fundação das primeiras universidades e com a chegada de pesquisadores estrangeiros. Em 1934, em São Paulo, o cientista italiano Gleb Wataghin implantou o Departamento de Física na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (FFCL) da Universidade de São Paulo (USP). Wataghin era por natureza um físico teórico, no entanto, montou um laboratório experimental e começou a estudar os raios cósmicos, a alta energia. Em 1938, a chegada de novos físicos estrangeiros à USP possibilitou o trabalho em colaboração e a realização de novas experiências com raios cósmicos. Eles introduziram no Brasil a tradição de física experimental que vinha sendo desenvolvida por outros países (SCHWARTZMAN, 2001; MOTOYAMA, 2004). Chaves et al. (2002) reforçam a ideia de que a Física em São Paulo nasceu de fato com a FAE, experimentalmente com os estudos sobre raios cósmicos e teoricamente com modelos sobre produção de partículas e teoria de campos.

Em menor escala, no Rio de Janeiro, o físico e engenheiro alemão Bernard Gross deu início às investigações na área da Física dos Sólidos no Instituto Nacional de Tecnologia

(INT) (SBF, 1987; VIEIRA; VIDEIRA, 2007). Ainda, “Nesse mesmo período, Wataghin publica seu primeiro artigo no Brasil, nos Anais da Academia Brasileira de Ciências, sobre propriedades de partículas elementares.” (VIEIRA; VIDEIRA, 2007, p. 14).

Na década de 1940, com a consolidação do projeto universitário, os primários grupos experimentais em Física Nuclear da USP constroem os primeiros aceleradores de partículas. “As linhas de pesquisa iniciadas no Brasil desde então e ao longo dos anos conseguiram se desenvolver e estabelecer parcerias com centros de pesquisa do exterior.” (SBF, 2012, p. 39). Em sociedade com a Fundação Rockefeller, o Departamento de Física pôde adquirir um acelerador de partículas nos Estados Unidos (SCHWARTZMAN, 2001). Enquanto isso, no Rio de Janeiro, na Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil, Joaquim Costa Ribeiro continua os trabalhos iniciados por Gross no INT. Depois da II Guerra Mundial, muitos alunos de Wataghin que estavam trabalhando em laboratórios da Europa e dos Estados Unidos, regressam para o Brasil em busca de novos desafios. Eles provocam a volta de César Lattes, que tinha acabado de participar em Bristol (Inglaterra) e em Berkeley (Estados Unidos) da descoberta do *méson pi*, partícula muito importante na descrição das forças nucleares. Em 1949, Joaquim Costa Ribeiro e outros professores da Faculdade Nacional de Filosofia fundam o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) como uma unidade autônoma e privada de investigação, com o propósito de conduzir o País no caminho da pesquisa atômica (GOLDEMBERG, 1973; SBF, 1987; SCHWARTZMAN, 2001; VIEIRA; VIDEIRA, 2007). Motoyama (2004) destaca que o trabalho sobre a descoberta do *méson pi* foi recompensado com o prêmio Nobel, em 1950. Entretanto, o autor explica que o nome de Lattes não apareceu entre os ganhadores, talvez porque vinha de um país de pouca tradição científica, embora ele e outros pesquisadores tivessem trabalhado com o físico britânico Powell, vencedor do prêmio.

Na década de 1950, a era da industrialização recebeu destaque porque as ‘grandes máquinas’ outorgavam a oportunidade, principalmente em laboratórios norte-americanos²: *Los Alamos National Laboratory* (LANL), *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBL),

² Criados entre as décadas de 1930 e 1950 para atender às necessidades de segurança, os centros de pesquisa relacionados fazem parte do sistema de laboratórios nacionais financiado pela *Office of Science* (SC) do *Department of Energy* (DOE) dos EUA. Juntos, proporcionam suporte científico e tecnológico nas missões dos programas de ciência SC: Pesquisa Avançada de Computação Científica, Ciências básicas da Energia, Investigação Biológica e Ambiental, Fusão de Ciências da Energia, Física de Altas Energias, Física Nuclear (DOE, 2015, documento *on-line*).

BNL, *Lawrence Livermore National Laboratory* (LLNL) e europeus: CERN³, de novas investigações no campo da física de partículas. Todavia, Shellard (2011) expressa que nesse período existia um número insuficiente de pesquisadores e cientistas na área. O autor cita também a falta de ambiente de pesquisa nas universidades, a carência de especialistas na indústria e a ausência de cultura de inovação nas empresas. Embora o Brasil contasse com o apoio político do governo, não dispunha dos recursos financeiros e tecnológicos dos países desenvolvidos (VIEIRA; VIDEIRA, 2007). Entretanto, o País teve singular participação na resolução de problemas teóricos e nas descobertas experimentais em nível internacional. Por causa da visão e do prestígio do Almirante Álvaro Alberto e de físicos como Leite Lopes, César Lattes e Tiomno, a criação do CNPq em 1951, estimulou o desenvolvimento da ciência brasileira e da Física em particular. No mesmo ano, foi criada a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), adquirindo importância na formação de pessoal de pós-graduação no Brasil e no Exterior (SBF, 1987).

A partir da década de 1960, as investigações na área da Física passaram a se expandir para além do eixo Rio de Janeiro-São Paulo. No campo experimental, houve uma queda da atividade depois do golpe de 1964. Com a Reforma Universitária em 1968, pesquisadores da primeira geração formaram grupos em outras capitais e estados brasileiros. Novos grupos foram criados nos estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte, Paraná, Paraíba, Ceará, Bahia, Pernambuco, no Distrito Federal; na cidade de São Carlos (SP); e nas instituições de ensino Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em São Paulo e Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio) no Rio de Janeiro. O advento da criação de universidades federais e estaduais nesta década (e mais intensamente nas décadas posteriores) instituiu inicialmente uma demanda por físicos e, uma vez estabelecidos os grupos de trabalho, ajudou a impulsionar a formação de novos recursos humanos nessa área, destacando que, a partir da segunda metade da década de 1960, foi estruturado um sistema com novos programas de pós-graduação no país (SBF, 1987; SCHWARTZMAN, 2001; VIEIRA; VIDEIRA, 2007; SHELLARD, 2011). De acordo com Goldemberg (1973), a partir de 1965, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE) passou a subvencionar fortemente cursos de pós-graduação e atividades de pesquisa, incluindo a compra de dois novos

³ Fundado em 1954 e localizado na Suíça, o centro experimental é o maior laboratório da área do mundo. Tornou-se uma referência em termos de colaboração internacional uma vez que mais de 113 países, dentre eles o Brasil, o utilizam e compartilham os equipamentos disponíveis para as investigações. Possui o acelerador de partículas mais importante da FAE, o *Large Hadron Collider* (LHC). Para a sua construção foi necessário o trabalho em colaboração de cientistas e engenheiros de mais de 80 países (AYMAR, 2009; LEFEVRE, 2010; LÉPINE-SZILY et al., 2011). O CERN é uma iniciativa que busca a construção de ligações mais fortes entre as nações (KATZ; MARTIN, 1997).

aceleradores nucleares para São Paulo, superando amplamente o investimento realizado pelo CNPq. Outro acontecimento importante no início da década foi a institucionalização da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). “[...] a FAPESP tornou-se a principal alternativa de financiamento à pesquisa no País, ao lado das agências federais estabelecidas com finalidades semelhantes nos anos 50 e 60.” (SCHWARTZMAN, 2001, p. 259).

Na década de 1970, a criação do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), contribuiu significativamente para o crescimento da Física no Brasil. A Física Experimental recuperou terreno a partir da maior participação em colaborações internacionais. Todavia, os anos seguintes foram marcados pela diminuição dos recursos financeiros destinados à Ciência e Tecnologia (C&T). A concepção, em 1985, do Ministério de Ciência & Tecnologia trouxe esperanças para a comunidade científica. Porém, a instabilidade econômica no início da década de 1990 foi um obstáculo para o avanço da área (SBF, 1987; SHELLARD, 2011).

No início da década de 2000, iniciou-se o período de recuperação do FNDCT; estruturaram-se novas redes de pesquisadores; consolidaram-se as atividades das entidades estaduais de apoio à pesquisa como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS); constituiu-se o Portal de Periódicos da CAPES. Em 2008, o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) instituiu a Rede Nacional de Física de Altas Energias (RENAFAE). A organização conta com um Conselho Técnico-Científico composto por membros de diversas instituições de ensino e pesquisa do país e que atuam na área e tem como objetivos promover as investigações das propriedades das partículas e suas interações, coordenar as atividades relacionadas às grandes colaborações internacionais, desenvolver um programa para o desenvolvimento de instrumentação e *software*. A RENAFEA é coordenada pelo CBPF (CBPF, 2011; SHELLARD, 2011). Além dessa designação, o CBPF está negociando junto ao CERN o ingresso do Brasil à organização internacional em caráter de membro associado. Também em Altas Energias, se tornou um Centro Regional de Operação da grade internacional de computadores do maior laboratório para pesquisas do mundo (CBPF, 2011). Vinculada ao CBPF, a RENAFEA se estabelece como um dos princípios do Programa de Cooperação Internacional criado pelo MCT.

Chaves et al. (2007) consideram que a maturidade e a qualidade alcançada pela FAE brasileira refletem no número de colaborações internacionais e publicações em coautoria. Entretanto, existe pouca interação entre os profissionais da área e as indústrias, o que dificulta os avanços tecnológicos e freia o ritmo inovador do País. Os autores explicam também que existe uma deficiência de físicos experimentais em nível nacional, podendo ser sanado a partir da adoção de um conjunto de medidas que incluam o melhoramento dos laboratórios de pesquisa, a criação de novos cursos de pós-graduação e a extensão do prazo de formação. No início da década, Chaves et al. (2002) comprovaram que a quantidade de físicos brasileiros experimentais de todas as áreas de pesquisa (46%) se encontrava abaixo da fração dos países industrializados (75%). A Física de Partículas e Campos representava 13% do total de físicos, correspondendo 3% somente à subárea Experimental.

Segundo a Avaliação Trienal 2013⁴ da CAPES, no Brasil existem 58 programas de pós-graduação na área da Física e Astronomia. A distribuição por regiões revela que o Sudeste tem 28, o Nordeste 13, o Sul 11, o Centro-Oeste e o Norte 3 cada um (CAPES, 2013a). O sistema de avaliação implantado pela CAPES compreende o acompanhamento anual de desempenho de todos os programas e cursos que integram o Sistema Nacional de Pós-graduação (SNPG) e proporciona dados quantitativos referentes à produção científica, colaboração e impacto da ciência brasileira. Além disso, o SNPG identifica as áreas de concentração e linhas de pesquisa por disciplina científica. No Quadro 1, relacionam-se aqueles programas de pós-graduação em Física e Astronomia cujos campos de investigação estão vinculados à FAE brasileira.

Quadro 1 – PPGs brasileiros em Física e Astronomia com linhas de pesquisa FAE*

Instituição	Programa	Linha de pesquisa FAE	Ano de início [2]		Avaliação Trienal 2013	Docentes permanentes 2010-12 [3]
			M	D		
CBPF	Física	Altas Energias; Teoria de Campos	1962	1962	7	48
CBPF	Física [1]	Detecção de Partículas	1999	..	4	20
FURG	Física	Partículas, Campos e Astrofísica	2010	..	3	14
IFT/UNESP	Física	Exp. de Altas Energias; Partículas	1971	1971	7	21
INPE	Astrofísica	Astrofísica de Altas Energias	1994	1994	4	13
PUC-Rio	Física	Fenomenologia de Partículas	1965	1968	6	17

⁴ Triênio avaliado: 2010-2012.

UEL	Física	Partículas e Campos	1996	2009	4	12
UERJ	Física	Exp. de Altas Energias; Teoria de Campos	1997	2003	5	26
UFABC	Física	Partículas e Campos	2007	2009	5	35
UFAL	Física da Matéria Condensada	Partículas e Campos	1992	1999	5	18
UFMG	Física	Partículas, Cosmologia e Gravitação	2007	..	3	17
UFES	Física	Interações Fundamentais	1992	2003	4	15
UFF	Física	Exp. de Altas Energias	1977	1985	6	54
UFG	Física	Partículas e Campos	1992	2008	4	22
UFJF	Física	Teoria de Campos	1999	..	4	17
UFMA	Física	Teoria de Campos e Gravitação	2005	2011	4	12
UFMG	Física	Teoria de Campos	1968	1974	7	61
UFPB/JP	Física	Partículas Elementares e Teoria de Campos	1973	1980	5	18
UFPE	Física	Teoria de Campos	1973	1975	6	37
UFPEL	Física	Física de Partículas e Hádrons	2008	..	4	11
UFRGS	Física	Fenomenologia de Partículas	1964	1968	7	54
UFRJ	Astronomia	Astrofísica de Altas Energias, Extragaláctica e Cosmologia	2003	2010	4	20
UFRJ	Física	Partículas Elementares	1972	1979	7	61
UFSC	Física	Teoria de Campos	1988	1996	5	31
UNESP/GUAR.	Física	Teoria de Campos	1990	1990	4	13
UNICAMP	Física	Astrofísica de Neutrinos; Fenomenologia de Partículas; Raios Cósmicos	1969	1969	7	80
UNIFAL	Física	Exp. de Altas Energias; Fenomenologia de Partículas	2012	..	3	17
UNIFEI	Física e Matemática Aplicada	Teoria de Campos; Gravitação e Cosmologia	2006	..	3	20
USP	Física	Partículas Elementares e Campos	1970	1970	7	128
USP/SC	Física	Teoria de Campos; Astrofísica de Partículas	1975	1975	7	71
UFBA	Física	Teoria de Campos; Gravitação e Cosmologia	1975	2007	3	38
UFPA	Física	Partículas e Campos	2002	2010	4	17

Fonte: SNPG (2015)

Nota: * Dados coletados em 26/02/2015. .. Não se aplica dado numérico.

Legenda: [1] Mestrado profissionalizante. [2] Modalidade: M=mestrado; D=doutorado; [3] média anual (docentes/ano) do programa.

No estudo dos 32 programas de pós-graduação em Física e Astronomia com linhas de pesquisa FAE foi comprovado que quase a totalidade das instituições responsáveis pela atividade científica na área são universidades, exceto o CBPF e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Por outro lado, todas as instituições pertencem ao setor público, com exceção da PUC-Rio. A distribuição por regiões mostrou que o Sudeste tem 19, o Nordeste 6, o Sul 5, o Centro-Oeste e o Norte 1 cada um. Conforme observado, no desenvolvimento da pesquisa da FAE brasileira destaca-se a região Sudeste, com protagonismo principal dos estados de Rio de Janeiro e São Paulo, já que ambos apreendem 14 programas de pós-graduação, pouco menos da metade do total. O resultado da avaliação trienal 2013 determinou que 11 (8 com nota 7 e 3 com nota 6) programas de pós-graduação com linhas de pesquisa FAE possam ser considerados com perfil internacional e de excelência. Existem 5 com conceito 5 (nota máxima para programas com apenas mestrado) e 11 com nota 4, constituídos majoritariamente por aqueles que iniciaram seus cursos de doutorado nos últimos anos. Dos 5 programas com nota 3, 4 são caracterizados pela recente abertura dos cursos de mestrado.

Na percepção de Chaves et al. (2007), embora o sistema de pós-graduação em Física tenha alcançado um nível aceitável, ainda não é capaz de formar pesquisadores experimentais na quantidade e qualidade suficiente devido à falta de infraestrutura e de laboratórios mais modernos. Formam-se doutores na área sem que eles tenham contato com os instrumentos utilizados nos laboratórios internacionais. O autor entende que essa deficiência é minimizada por estágios no exterior com bolsas sanduíche.

Com relação ao corpo docente, a comunidade brasileira da FAE ou Física de Partículas e Campos contava em 2012 com 532 professores, sendo que as subáreas de atuação se dividiam em: Teoria de Campos (37,5%), Cosmologia e Gravitação (17,8%), Fenomenologia (17,2%), Experimental de Altas Energias (13,1%) e o restante dividido entre Astronomia, Nuclear e outros (SBF, 2012). Na pesquisa realizada pela Sociedade Brasileira de Física (SBF)⁵ notou-se a existência de uma quantidade pequena de físicos experimentais. Apesar da comunidade experimental se organizar por meio da RENAFAE, que também conta com a participação dos físicos teóricos, falta ainda uma maior conscientização sobre o desenvolvimento de instrumentação especializada e laboratórios nacionais que possibilitem a

⁵A instituição promove o desenvolvimento e o ensino da Física no País e trabalha em colaboração com outras sociedades científicas do mundo. Propicia encontros nacionais nas subáreas, entre elas a Física de Partículas e Campos e organiza o Simpósio Nacional de Ensino de Física e as Olimpíadas de Física para estudantes do Ensino Médio. Publica quatro periódicos: o *Brazilian Journal of Physics*, indexado pela Thomson Reuters, a Revista de Física Aplicada e Instrumentação, a Revista Brasileira de Ensino de Física e Física na Escola, esta última destinada principalmente a professores do ensino médio (CHAVES et al., 2007).

ampliação do ensino e da pesquisa (SBF, 2012). Ainda com as dificuldades apresentadas, a participação do Brasil nas colaborações internacionais da FAE aumentou significativamente e contribuiu para o aumento do número de publicações e citações da área nas bases de dados (SANTORO; NOVAES, 2003). Outro fator relacionado com o desenvolvimento do campo e que precisa ser compreendido é o processo de comunicação adotado pelos cientistas, tema que é explorado na seção a seguir.

2.2 A PESQUISA E A COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA NA FAE

Em qualquer área do conhecimento, a realização de pesquisas e a comunicação de seus resultados são atividades inseparáveis (MEADOWS, 1999). No caso da FAE, desde a realização dos primeiros experimentos, os cientistas tiveram a necessidade de transmitir os resultados para a sociedade da qual faziam parte. O diálogo é primordial para o desenvolvimento dessa área destacada pelo trabalho em colaboração. Segundo O'Connell (2000), a FAE sempre teve uma forte cultura de comunicação.

No Quadro 2, podem ser observadas as técnicas de comunicação da FAE e funções propostas por Goldschmidt-Clermont (2002).

Quadro 2 - Funções das técnicas de comunicação da FAE

Técnica de comunicação	Função
Oral	Trocar informações entre um número limitado de cientistas.
Cartas	Originar comunicações privadas, relatórios internos, anotações técnicas, <i>preprints</i> , palestras, resumos submetidos para conferências etc.
Periódicos científicos	Publicar os resultados de investigações oficiais para a comunidade científica.
Cartas para o editor	Reduzir o prazo de publicação com a antecipação dos resultados parciais das pesquisas.
Relatórios técnicos e científicos	Transmitir informações específicas de uma pesquisa ou experimento.
Resumos de trabalhos aceitos em periódico científico	Informar os físicos sobre os resultados das futuras publicações.
Traduções e anotações de eventos	Registrar informações de congressos, encontros, seminários, palestras, revisão de um assunto etc.
Relatórios internos	Transmitir informações das pesquisas em andamento.

<i>Preprints</i>	Preencher com informações a lacuna de tempo criada por atraso das publicações.
Conferências	Promover a interação entre cientistas através da comunicação oral das pesquisas.
Resumos de trabalhos apresentados em conferências	Orientar os participantes de um evento, congresso, conferência etc.
Anais de congresso	Registrar os trabalhos apresentados em congressos, encontros, conferências etc.

Fonte: Adaptado de Goldschmidt-Clermont (2002)

Basicamente, a divulgação das pesquisas e os canais formais e informais de comunicação tornaram-se fatores essenciais na troca de ideias e métodos científicos. A escolha dos canais de comunicação varia segundo a área de conhecimento. Para o avanço da ciência, a submissão de artigos em periódicos científicos com avaliação dos pares ou “*peer review*” torna-se fundamental (MUELLER, 2000). Geralmente, a avaliação de instituições de pesquisa e jovens pesquisadores é realizada com base nas publicações em prestigiosos jornais *peer-review*. O principal papel das revistas da FAE é ser o “guardião dos registros” (AYMAR, 2009). Entretanto, o surgimento do *World Wide Web* e a criação de bancos de dados específicos de pré-publicações em áreas como a FAE modificaram o comportamento dos cientistas, passando-se para uma “cultura de *preprints*” (MEADOWS, 1999; HURD, 2000; KLING; McKIM, 2000; AYMAR, 2009). Segundo Søndergaard, Andersen e Hjørland (2003, p. 295): “Apesar de muitas vezes passarem por algum processo de revisão, os *preprints* são documentos distribuídos antes da sua publicação formal e talvez antes da conclusão do processo de avaliação por pares.” Na concepção de Aman (2013), os *preprints* são documentos digitais que foram submetidos a um repositório sem uma revisão prévia por pares. Para Goldschmidt-Clermont (2002), os *preprints* são cópias disseminadas de artigos submetidos para publicação em revistas científicas. Segundo a autora, os *preprints* são documentos temporários que compensam o atraso das publicações e estimulam novas abordagens científicas. Eles são distribuídos para os cientistas que participam em um mesmo campo. Como são temporários, os *preprints* não são amplamente disponibilizados nas bases de dados da área como a *Nuclear Science Abstracts*. Assim que o artigo for publicado, o *preprint* pode e deve ser destruído, referenciando-se apenas a publicação (GOLDSCHMIDT-CLERMONT, 2002).

Na década de 1960, os físicos já submetiam seus relatórios impressos nas *clearinghouses*⁶, delineando-se que, as versões eletrônicas, como os servidores de *preprints* dos laboratórios LANL e CERN, são mera e exclusivamente extensões desses serviços (KLING; McKIM, 2000). Com relação à comunicação, Mueller (1994) complementa que os *preprints* se popularizaram como um veículo semiformal naquele período e que em comparação com os canais formais, eles ofereciam maior rapidez e flexibilidade, permitindo inclusive a inclusão de comentários. Meadows (1999) certifica que nas pré-publicações impressas, a iniciativa competia ao autor, no caso das pré-publicações eletrônicas, ao leitor. Em termos de inovação, o advento do *fax* acelerou a distribuição desses documentos, mas não foi capaz de diminuir a lentidão na comunicação. Todavia, anos mais tarde, a *Internet* se apresentaria como uma opção eficiente para contornar o atraso entre a divulgação de um trabalho e a sua publicação em um periódico (AMAN, 2013). Hurd (2000) comenta que já em 1945, Vannevar Bush, na sua obra *As we may think*, teve a visão de um sistema mais eficaz para o armazenamento e recuperação científica de informações por meio de computadores. A ideia de Bush (1945) era a de inspirar os cientistas das diferentes áreas a se envolver em um esforço após a Segunda Guerra Mundial para organizar e disponibilizar a quantidade cada vez maior de informações científicas e técnicas através da tecnologia. Bush viu aparentemente o potencial dos computadores e dispositivos de armazenamento que podem ser ligados a sistemas inovadores de indexação para melhor servir informações à comunidade científica (HURD, 2000). Os físicos podem ter se inspirado nas ideias de Bush e optado pela criação de servidores de *preprints* para acelerar o processo de comunicação das pesquisas entre os membros da comunidade.

A mesma Hurd (2000) traz a ideia de que a cultura de *preprints* valoriza a rápida disseminação de resultados preliminares, acelera o processo de comunicação entre os pesquisadores, proporciona a participação ativa dos colégios invisíveis⁷, prevalece as colaborações em grande escala, a dispersão geográfica dos grupos de pesquisa e o acesso à informação por parte das outras áreas que participam nos projetos. A velocidade de transformação na comunicação científica dependerá da aceitação do veículo de cada disciplina.

De acordo com Søndergaard, Andersen e Hjørland (2003), o crescente uso e impacto dos canais baseados na *Internet* mudou o fluxo da comunicação científica. Na FAE, o

⁶ Instituições envolvidas com a obtenção, armazenamento e disseminação de documentos não publicados de uma área (SØNDERGAARD; ANDERSEN; HJØRLAND, 2003).

⁷ “[...] grupo de pesquisadores que está, em um dado momento, trabalhando em torno de um mesmo problema ou área de pesquisa e se comunica sobre o andamento das pesquisas.” (MUELLER, 1994, p. 310).

desenvolvimento de banco de dados de *preprints* como nova via de conversação teve um papel vital devido ao descontentamento dos cientistas com atrasos de publicação e problemas de distribuição dos periódicos impressos. Essas dificuldades diminuem a velocidade da comunicação, tendo um efeito adverso sobre a ciência (AMAN, 2013). Sena (2000) explica que Bush na sua obra também apontava o tempo perdido entre a redação do trabalho científico e a sua publicação. Como foi comentado anteriormente, a FAE é um campo que está se desenvolvendo rapidamente e que exige para isso grandes investimentos de capital; nesse sentido, a velocidade é um fator importante na comunicação (GOLDSCHMIDT-CLERMONT, 2002). A autora também comenta que os atrasos que ocorrem no processo de transmissão de informações podem causar uma quantidade significativa de experimentos duplicados, sendo necessária uma rígida vigilância por causa dos gastos envolvidos. Bourdieu (2004) aponta a preocupação dos pesquisadores das grandes revistas americanas da Física com relação à demora dos artigos, já que cinco minutos de atraso podem provocar a perda do benefício de vinte anos de pesquisa. Os editores assumiram o compromisso para reduzirem o atraso e manterem a qualidade do conteúdo, buscando o equilíbrio. Os *preprints* são uma técnica que permite compensar o aspecto negativo desse equilíbrio (GOLDSCHMIDT-CLERMONT, 2002). Meadows (1999) aponta que, apesar da falta de controle de qualidade (uma característica invisível), os servidores de *preprints* bem poderiam constituir um periódico eletrônico plenamente desenvolvido.

O alto custo dos experimentos também teve influência no sistema de comunicação da FAE visto que os trabalhos submetidos nos servidores de *preprints* passam por um forte controle de revisão antes de serem publicados nas revistas da área. De tal modo, um relatório de pesquisa pode ser lido e comentado por dezenas de revisores antes da sua divulgação (KLING; McKIM, 2000). Nas grandes colaborações, a interação e o consenso entre os cientistas são fatores primordiais para a promoção das pesquisas. O'Connell (2000) afirma que as revistas da área tiveram pouca dificuldade para lidar com a existência dos *preprints*. O autor considera que a publicação em uma revista arbitrada é muito importante, sendo que quase 70% dos *preprints* eventualmente são publicados em periódicos e outros 20% aparecem em anais de congresso.

A cultura *Open Access* na FAE não é notícia e, como foi dito anteriormente, se remonta a décadas, quando os cientistas mandavam *preprints* (manuscritos que ainda não tinham sido publicados em revistas) para seus pares. Dessa conduta, as bibliotecas dos centros de pesquisa classificaram e indexaram esses trabalhos, dando origem ao *Stanford Public Information Retrieval System* (SPIRES), o primeiro servidor de pré-publicações e ao

repositório arXiv (GENTIL-BECCOT; MELE; BROOKS, 2010). Originalmente, SPIRES foi desenvolvido no *Stanford Linear Accelerator Center* (SLAC) em 1969, o sistema foi concebido como um sistema de gerenciamento de banco de dados de *preprints* da FAE. No início de 1970, foi adotado pela *Stanford University* para ser utilizado por professores, estudantes e funcionários. Paralelamente o SLAC e o *Deutsches Electronen Síncrotron* (DESY) começaram a trabalhar juntos para criar um único banco de dados na área. Em agosto de 1991, Paul Ginsparg no LANL de Novo México, Estados Unidos, criou o primeiro servidor de *e-print* (*electronic pre-print*), o arXiv (SENA, 2000; MUELLER, 2006). Com o lançamento da WWW no mesmo ano, SPIRES tornou-se o primeiro banco de dados na *Web* (O'CONNELL, 2010).

O arXiv é um repositório de *preprints* de acesso aberto. As áreas abrangidas incluem Física, Matemática, Ciências da Computação, Ciências não-lineares, Biologia Quantitativa e Estatística. O servidor é mantido e operado pela biblioteca da *Cornell University*, com orientação do Conselho Consultivo Científico do arXiv. As submissões são analisadas por especialistas da área, verificando-se a relevância das mesmas para a comunidade científica. O arXiv complementa o sistema de publicação tradicional e proporciona a divulgação imediata e gratuita da informação em acesso aberto. O foco do arXiv é a disponibilidade perpétua das submissões. As submissões aceitas recebem um ID de arXiv. Os autores podem fazer atualizações das suas pesquisas a partir da inserção de novas versões. As versões antigas não podem ser removidas (arXiv, 2014, documento *on-line*). Sena (2000) acrescenta que a essência desse modelo de comunicação na FAE é a livre circulação dos manuscritos, sendo que os especialistas podem discutir, criticar e complementar o trabalho dos pares antes da publicação nos importantes periódicos da área.

No SPIRES, as citações a *preprints* são agregadas às citações das versões publicadas, tratando as duas como uma entidade única. Muitos pesquisadores fazem as atualizações no arXiv das versões revisadas e corrigidas durante o processo de publicação nos periódicos (GENTIL-BECCOT; MELE; BROOKS, 2010). Na visão de O'Connell (2000) e Mueller (2006) o ingrediente chave na criação de bases de dados de *preprints* foi a centralização. Os cientistas da área da física e outras áreas relacionadas, localizados em qualquer parte do mundo, poderiam enviar seus trabalhos para um repositório central e ao mesmo tempo se manter atualizados com relação às últimas pesquisas na FAE. Mueller (2006) acrescenta que embora os trabalhos enviados não tivessem sido avaliados por pares, o sistema verificava alguns pontos de maneira a garantir uma qualidade mínima (por exemplo, filiação do autor). Assim, os cientistas remetiam seus trabalhos para a base de dados do LANL, ao mesmo

tempo em que os submetiam para as editoras. Posteriormente, a ascensão do serviço de redes de computadores consolidou a prática. Segundo Aymar (2009), três inovações marcaram avanços cruciais na comunicação científica da FAE: o surgimento da base de dados SPIRES, a concepção do repositório especializado arXiv e a invenção da *Web* no CERN. Graças à sua cultura *preprints*, a FAE é uma disciplina que valoriza a rápida disseminação e acesso à informação (AYMAR, 2009). Ainda, Newman (2001a) explica que bases de dados de *preprints* na Física não devem ser consideradas como algo negativo. O autor acrescenta que embora os *preprints* sem revisão prévia pelos pares possam ser de qualidade científica média mais baixa do que os artigos, como um indicador de conexão social, eles são tão bons quanto os últimos. Como canal de comunicação informal, os *preprints* podem ser considerados os antecessores da publicação formal. Sua relação com os periódicos da área está firmemente estabelecida na essência da pesquisa científica.

O estudo de Gentil-Beccot, Mele e Brooks (2010) demonstrou que os artigos da FAE submetidos a um repositório *Open Access*, como o arXiv, e posteriormente publicados em revistas, recebem cinco vezes mais citações do que os artigos que são publicados somente em revistas ou em repositório e que 20% das citações aos artigos da área, em um período de dois anos, ocorre antes da publicação. Em conjunto, esses resultados levaram a três conclusões gerais sobre a comunicação científica na FAE: adoção *Green Open Access*⁸ para as publicações; maior visibilidade e reconhecimento dos pares devido à livre e imediata circulação de trabalhos; valor dos repositórios de *preprints* como meio de discurso complementar dos periódicos científicos. Atualmente, uma das ferramentas de busca mais utilizada pela área é o INSPIRE. Baseado na experiência SPIRES, o INSPIRE (INvenio + SPIRES) é um sistema de informação da FAE construído pelo CERN, DESY, FERMILAB e SLAC. Ele combina o sucesso do banco de dados SPIRES com a tecnologia da biblioteca digital Invenio desenvolvido no CERN. INSPIRE é gerido pela colaboração dos quatro laboratórios e interage de perto com outros sistemas: arXiv.org, NASA-ADS, PDG, HEPDATA. Representa uma evolução natural da comunicação científica, construída sobre sistemas de informação bem-sucedidos baseados em uma comunidade e fornece uma visão para a gestão da informação em outros campos da ciência (INSPIRE, 2014, documento *online*).

⁸ O termo indica a disponibilidade gratuita de publicações acadêmicas em repositórios digitais de acesso livre. No caso da FAE, a submissão a esses repositórios, como por exemplo, o arXiv, não é obrigatória por universidades ou agências de financiamento, mas é uma escolha dos autores buscando o reconhecimento dos colegas e uma maior visibilidade (GENTIL-BECCOT; MELE; BROOKS, 2010).

Outras iniciativas *Open Access* na FAE como a *Sponsoring Consortium for Open Access Publishing in Particle Physics* (SCOAP³) pretendem converter a literatura publicada nos principais periódicos da área para acesso aberto, redirecionando as taxas das assinaturas das revistas para pagamento dos avaliadores *peer-review*. Algumas editoras como a Elsevier já anunciaram que vão participar com a SCOAP³ (AYMAR, 2009). O fato dos autores optarem por submeter seus trabalhos em repositórios *Open Access* por causa do maior volume de citações recebidas conforme observado na pesquisa de Gentil-Beccot; Mele; Brooks (2010), pode estar influenciando as editoras a flexibilizar seu controle sobre o acesso aos textos que publicam. O maior número de citações eleva o FI e aumenta o prestígio dos periódicos, conseqüentemente haverá mais vendas (MUELLER, 2006).

A respeito da confiabilidade desse canal de comunicação, Goldschmidt-Clermont (2002) levantou a seguinte questão: *preprints* conferem prioridades? A resposta é “sim” e “não”. “Sim” no sentido que, de acordo com o código de ética da comunidade da FAE, o crédito deve ser dado a um cientista para uma contribuição original, seja apenas uma ideia ou uma sugestão, independentemente da forma oral ou escrita em que ela é expressa. “Não”, em um sentido formal, prioridades se estabelecem de acordo com a data em que um manuscrito é recebido por uma revista. Alguns pesquisadores têm ficado desconfiados com a possibilidade de que o mercado possa ser inundado rapidamente com *preprints* a fim de garantir prioridades antiéticas. No entanto, a grande maioria dos cientistas dá pouca atenção às práticas desonestas; ignorância, desprezo e ironia são poderosos meios de coerção na área. Por esse motivo, tentativas propositais de estabelecer falsas prioridades são raras (GOLDSCHMIDT-CLERMONT, 2002). Apesar de ser um canal de comunicação informal, os *preprints* apresentam-se como um meio de divulgação eficiente perante as necessidades informacionais dos físicos. Søndergaard, Andersen e Hjørland (2003) apontam que eles são frequentemente considerados parte da literatura cinzenta, porém a criação de bases informatizadas permitiu o acesso a este tipo de documento. No entanto, nem todas as áreas usam bases de dados de *preprints*, por esse motivo, dependendo da área, os *preprints* podem ser considerados literatura cinzenta ou não.

A ampla aceitação do periódico científico e do repositório de *preprints* como canal formal e informal de comunicação respectivamente supõe pensar que, os membros da comunidade científica da FAE compartilham os mesmos paradigmas, pois, como expressa Kuhn (1997, p. 219), “Um paradigma é aquilo que os membros de uma comunidade partilham e, inversamente, uma comunidade científica consiste em homens que partilham um paradigma.” Conforme Hochman (1994), a comunicação entre as várias comunidades, por

vezes, é bastante difícil, o que não acontece dentro de um grupo ou comunidade científica que partilha da mesma tradição, crenças, valores, técnicas etc. O autor explica que, para Kuhn, a aceitação de um paradigma pode ser comprovada com o surgimento de jornais, revistas especializadas, fundação de sociedades científicas, currículos de cursos universitários, citações, livros didáticos etc. Estas são algumas das formas de socialização e comunicação entre os membros do grupo. Devido ao consenso observado na FAE, os *preprints* como meio de comunicação podem ser interpretados como um paradigma criado pela área e utilizados como vias principais de acesso para a literatura publicada nas revistas científicas.

Os servidores de *preprints* são uns dos primeiros canais usados pelos físicos e demais pesquisadores para divulgarem resultados de pesquisas e encontrarem informações sobre temas atuais. No entanto, a publicação final em um periódico *peer review* ainda é uma prática inevitável e comum para os cientistas. A revisão pelos pares continua sendo o procedimento mais apropriado de julgamento de qualidade. Os artigos de revistas arbitradas são hoje o principal modo de comunicação na pesquisa científica (AMAN, 2013). Mueller (2007) assegura que a publicação em veículos *peer review* é essencial ao processo da geração e certificação do conhecimento científico. A autora destaca que a confiança depositada pela comunidade científica no processo de “avaliação prévia” é possivelmente o fator mais importante e determinante do *status* científico de um conhecimento. “A revisão por pares não é apenas uma rotina do sistema social da ciência, mas é também símbolo e garantia de sua autonomia.” (VELHO, 1997, p. 16). Horta (2006) afirma que devido ao alto nível de internacionalização da Física no que se refere à difusão da produção bibliográfica, a atividade científica e seu impacto devem ser medidos via as publicações em revistas especializadas da área com arbitragem e circulação internacional.

Acredita-se que a natureza das investigações, os interesses dos campos e as necessidades dos pesquisadores têm influência na escolha dos canais de comunicação dos resultados de atividade e, conseqüentemente, na legitimação das descobertas através da avaliação científica.

2.3 A AVALIAÇÃO CIENTÍFICA POR INDICADORES DE C&T

A ciência pode ser considerada como um sistema de produção de informação na forma de publicações registradas em suportes permanentes e disponíveis para o uso comum (SPINAK, 1998). A ciência que não é comunicada e avaliada não existe, sendo necessária a divulgação das descobertas e a aceitação pelos pares (ZIMAN, 1979).

Rousseau (1998) argumenta que a realização de avaliações quantitativas através de indicadores se fundamenta nas premissas de que: o progresso é alcançado mediante a publicação; a revista científica desempenha um papel essencial na divulgação; o número de publicações pode ser considerado como um indicador de produção; o número de citações pode ser estimado como uma medida de impacto e visibilidade internacional.

Os indicadores são parâmetros que se utilizam no processo avaliativo de qualquer atividade. Por meio deles é possível determinar: o crescimento de qualquer campo da ciência; o envelhecimento dos campos científicos; a produtividade dos autores ou instituições; a colaboração entre pesquisadores, instituições ou países; o impacto ou visibilidade das publicações; a análise e avaliação das fontes difusoras dos trabalhos; a dispersão das publicações entre as diversas revistas científicas (SANCHO, 1990). A respeito do tamanho da unidade a ser analisada, os resultados mais confiáveis se obtêm quando se avaliam grandes componentes, como a produção de um país ou uma área científica. Os estudos sobre a produção de um pesquisador individual são menos confiáveis, já que muitos dos indicadores utilizados são de tipo estatístico e sua credibilidade declina em amostras pequenas (BORDONS; ZULUETA, 1999).

Quanto aos objetivos da avaliação da produção científica, pode-se dizer que durante a Guerra Fria, os governos e agências financiadoras começaram a se preocupar com a criação de indicadores de *input* (insumos) que permitissem dimensionar os esforços em C&T. Velho (2001) manifesta que foi a Divisão de Política Científica e Tecnológica da *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) quem começou a coleta de informações e estatísticas sobre as atividades de C&T em uma série de países voluntários. No entanto, a autonomia dos países, a falta de coesão das fontes de informação nacionais e a falta de desenvolvimento de uma equipe interna capaz de analisar as informações provocaram o fracasso da iniciativa (VELHO, 2001). De acordo com Poblacion e Oliveira (2006, p. 62):

Os dados que refletem as atividades científicas desenvolvidas nas organizações e nas instituições, tanto oficiais como privadas e que contam com recursos humanos capacitados, representam parte determinante das estratégias inseridas na política científica e servem de diretrizes aos órgãos de fomento ao concederem auxílio financeiro aos projetos que visem resultados aplicáveis no contexto da própria sociedade.

Na década de 60, os indicadores de *output* (resultados) começaram a ganhar relevância. Em 1963, a Comissão Econômica para América Latina e Caribe (CEPAL) iniciou “[...] a elaboração sistemática do conjunto de informações estatísticas em C&T, contribuindo

para a produção de indicadores confiáveis que permitissem a comparação dos esforços que estão sendo empreendidos para a difusão dos conhecimentos gerados pelos pesquisadores, os quais têm como alvo o desenvolvimento socioeconômico.” (POBLACION; OLIVEIRA, 2006, p. 62-63). Nesse período, se começou a pensar na ciência e na tecnologia como fatores fundamentais para o progresso, sendo necessária a sua participação no delineamento dos objetivos econômicos e sociais dos diferentes países (VELHO, 2001).

No âmbito nacional, os estudos quantitativos sobre a ciência brasileira se iniciam no final dos anos de 1970. De acordo com Velho (2001), o Brasil foi um dos primeiros países a disponibilizar informações sobre suas atividades de C&T em resposta à solicitação da UNESCO. Ainda nos anos 70, algumas instituições como o CNPq, o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) do MCT e a CAPES do Ministério de Educação (MEC), se preocuparam com a construção de indicadores relacionados às atividades de C&T no País (VELHO, 2001). Já na década de 1980 começam a serem divulgados por parte das instituições e órgãos vinculados ao governo, os primeiros indicadores de desempenho em C&T, como também de recursos humanos e gastos (LETA, 2011). A avaliação da produção científica deve considerar o modelo de política de acordo com a sua realidade social e incluir as especificidades das comunidades científicas nas diferentes áreas (MUGNAINI, 2006). No caso brasileiro, Velho (2001) destaca três caminhos possíveis para se constituir um sistema consistente de indicadores científicos: atribuir significado aos números, identificando claramente o objeto a ser analisado; comparar as informações geradas com as de outros países, instituições e áreas do conhecimento, buscando estabelecer parâmetros e dar sentido aos dados; questionar as premissas teórico-conceituais, subjacentes aos indicadores tradicionais, em favor das novas tendências em sociologia do conhecimento.

Na percepção de Oliveira, Dórea e Domene (1992, p. 239), “[...] a avaliação da produtividade científica deve ser um dos elementos principais para o estabelecimento e acompanhamento de uma política nacional de ensino e pesquisa, uma vez que permite um diagnóstico das reais potencialidades dos grupos e/ou instituições acadêmicas ou não.” A concepção dos indicadores de *output* e a apropriação deles por parte dos órgãos financiadores poderão servir como base para novos investimentos em cursos de pós-graduação das universidades.

Com relação aos métodos de avaliação da ciência, é possível combinar técnicas qualitativas (*peer-review*) e quantitativas (indicadores bibliométricos ou cientométricos). A avaliação qualitativa analisa unidades documentárias e se caracteriza pela apreciação crítica feita pelos pares para estimar a qualidade das pesquisas submetidas em periódicos científicos.

Para Pavan e Stumpf (2009), essa modalidade é considerada um filtro a partir da análise rigorosa dos originais por parte de especialistas. Inversamente, a avaliação quantitativa é recomendada para examinar grandes quantidades de documentos (MUGNAINI, 2006). Conforme Price (1976), a análise quantitativa da ciência pode ser apreciada como consequência do seu crescimento exponencial a partir do trabalho em colaboração.

Particularmente, os indicadores bibliométricos ou cientométricos são utilizados para medir a atividade científica baseada na análise estatística dos dados quantitativos proporcionados pela literatura científica e técnica (SANCHO, 1990). Para definir com maior precisão os objetivos e usos, pode ser destacado que a bibliometria compreende: a aplicação de análises estatísticas para estudar as características do uso e criação de documentos; o estudo quantitativo da produção de documentos como se reflete nas bibliografias e das unidades físicas publicadas, ou das unidades bibliográficas, ou de seus substitutos (SPINAK, 1998). Por outro lado, a cientometria tem como função investigar a ciência e os cientistas a partir dos produtos gerados por eles próprios: patentes, artigos e livros; sobre esses produtos é possível gerir análises estatísticas para investigar perfis e tendências da própria ciência (LETA, 2011). Embora os objetivos dos métodos sejam distintos, na atualidade os dois termos são considerados sinônimos, visto que, para o estudo da ciência, a cientometria aplica técnicas bibliométricas.

Ao mesmo tempo, Sancho (1990, p. 858) elenca algumas limitações dos indicadores bibliométricos que devem ser consideradas no momento de avaliação das áreas científicas, sendo elas: o simples computo das publicações não proporciona ideia da qualidade destas; os indicadores ignoram outras técnicas informais de comunicação em ciência (relatórios de circulação restrita, entrevistas pessoais, reuniões que não dão lugar a publicações etc.) e não levam em conta que as práticas de publicação variam com o tempo; como consequência de pressões sociais e políticas, os cientistas são obrigados a melhorar seus currículos, o que favorece a fragmentação de dados para publicar vários trabalhos em vez de um, e a publicação de um mesmo trabalho, com poucas modificações, em diferentes periódicos.

Tais indicadores bibliométricos podem ser agrupados em quatro categorias principais: de atividade ou produção; de colaboração; de impacto; de coocorrência (MALTRÁS BARBA, 2003; LETA; CRUZ, 2003, GLÄNZEL, 2003). O presente estudo utilizou somente os três primeiros indicadores para avaliar quantitativamente à FAE brasileira. No entanto, cabe mencionar que pesquisas envolvendo o quarto indicador são frequentemente encontradas dentre a literatura especializada. Os indicadores de coocorrência objetivam investigar redes de relações entre temas, palavras-chave, assuntos ou documentos.

Indicadores de produção são medidas baseadas na contagem de publicações de um agente (pesquisador) ou de agregados desses agentes (disciplinas, regiões, instituições, países) e buscam quantificar os resultados científicos (MALTRÁS BARBA, 2003). Para o autor, o objetivo primário dessa categoria é permitir a comparação entre um conjunto de agentes ou de agregados científicos, procurando detectar diferenças que sirvam para caracterizar o comportamento de cada um deles. Os agentes devem compartilhar um mesmo marco de referência e certas características para poder compreender as distâncias relativas entre uns e outros. Os indicadores de produção não podem proporcionar uma medida absoluta dos resultados científicos, mas estimar posições relativas dos produtores.

A respeito das limitações desse tipo de indicador bibliométrico, os mesmos não expressam qualidade, mas sim quantidade de resultado da pesquisa realizada por um autor ou agregado de autores (LETA; CRUZ, 2003). Além disso, Bordons e Zulueta (1999) apontam como limitação dos indicadores de produção, a impossibilidade de efetuar comparações entre áreas temáticas, já que os hábitos de publicação e a produtividade dos autores diferem dependendo do campo científico. Mesmo que a simples contagem de publicações não seja uma medida perfeita da produção científica, ela constitui uma boa aproximação estimativa (MALTRÁS BARBA, 2003).

Na reflexão de Maltrás Barba (2003, p. 241), indicadores de colaboração são medidas que informam acerca das relações que têm existido entre os produtores ou agentes científicos no processo que conclui com a publicação conjunta de resultados científicos. O autor ressalta que a análise quantitativa da colaboração parte dos dados sobre a autoria e a filiação institucional dos autores das publicações científicas e que estuda as características que definem os padrões do comportamento produtivo desses agentes quanto às relações entre eles, analisando os produtos que têm surgido de um esforço cooperativo.

Dentre as principais motivações que levam os cientistas a trabalharem em colaboração, destacam-se: maior especialização da ciência, interdisciplinaridade na pesquisa, fatores econômicos, possibilidade de acesso a equipamentos especiais, maior visibilidade dos resultados da atividade científica, probabilidade de publicação em coautoria, obtenção e/ou ampliação de financiamento e recursos; incremento da produtividade; experiência e aquisição de novos conhecimentos; avanço na carreira profissional (LUUKKONEN et al., 1993; KATZ; MARTIN, 1997; MEADOWS, 1999; MALTRÁS BARBA, 2003; GLÄNZEL; SCHUBERT, 2004; WAGNER, 2006; VANZ, 2009).

Katz e Martin (1997) manifestam que resulta uma obviedade definir como “colaboradores” àqueles pesquisadores que são listados como coautores nos trabalhos

científicos. Contudo, é necessário distinguir conceitualmente a colaboração da coautoria. A coautoria é uma parte da colaboração, sendo que ela não mede a colaboração na sua complexidade (VANZ; STUMPF, 2010a). A colaboração científica nem sempre produz trabalhos em coautoria. Às vezes, os resultados não são publicados ou são publicados separadamente pelos colaboradores nos respectivos periódicos especializados das suas áreas (BORDONS; GÓMEZ, 2000). Em ambos os casos, a atividade de colaboração permanece fora do alcance dos indicadores bibliométricos (MALTRÁS BARBA). Entretanto, a coautoria pode ser utilizada como indicador eficiente para medir a colaboração científica entre indivíduos, grupos de pesquisa, instituições e países (SUBRAMANYAM, 1983; MALTRÁS BARBA, 2003; LETA; CRUZ, 2003; GLÄNZEL; SCHUBERT, 2004).

Mediante o método de Análise de Redes Sociais (ARS), os estudos sobre colaboração científica permitem a investigação das estruturas dos campos decorrentes das interações entre os pesquisadores. Segundo Abbasi et al. (2011), na linguagem da ARS, indivíduos ou grupos são chamados de “atores” ou “nós” e as conexões são referidas como “laços” ou “ligações”. Os atores e as ligações podem ser definidos de diferentes maneiras, dependendo da área de interesse. O ator pode ser uma única pessoa, um grupo ou uma instituição. Em redes de colaboração científica os (nós) são autores e os vínculos (*links*) são as relações de coautoria. Os indicadores que podem ser obtidos a partir de análise da estrutura dessas redes são: grau de centralidade (*degree centrality*), proximidade (*closeness*) e intermediação (*betweenness*); densidade (*density*) e cliques (*clusters*).

Indicadores de impacto baseiam-se na contagem de citações das publicações e buscam estimar a contribuição que os resultados de atividade ou produção científica tiveram para um campo ou área de conhecimento (ROMANCINI, 2010). Vanz e Caregnato (2003) manifestam que o uso desses indicadores bibliométricos permite conhecer como acontece a comunicação dentro de um campo científico e mapear teorias e metodologias consolidadas.

Leydesdorff (1998) entende que as citações são referências para outros elementos textuais e que elas estabelecem relações entre pares (citados e citantes). O autor explica que uma rede de citações é modelada a cada momento e reproduzida ao longo do tempo. A partir da repetição do processo de citação, a rede adquire uma estrutura com condições suficientes para revelar características de uma comunidade científica.

Weinstock (1971) destaca quinze razões para uso da citação: homenagear os pioneiros; dar crédito para trabalhos relacionados; identificar metodologia, equipamento etc.; prover leitura de referência; corrigir o próprio trabalho; corrigir o trabalho de outros; analisar criticamente estudos anteriores; reivindicar publicações; alertar investigadores para futuros

trabalhos; dar relevância para investigações pouco disseminadas, inapropriadamente indexadas ou não citadas; autenticar informações e categorias de fatos, constantes físicas etc.; identificar *papers* originais nos quais uma ideia ou conceito for discutido; identificar publicações originais que descrevam termos epônimos como, por exemplo, Lei de Pareto, Doença de Hodgkin etc.; contrapor ideias de pares; discutir manifestações prioritárias de outros. Como observado, o número de citações depende de uma série de fatores sociais e hábitos dos pesquisadores, portanto, deve ser apreendido como um valor estimado e parcial do impacto e/ou da qualidade de uma publicação (LETA; CRUZ, 2003).

Bavelas (1978) aprecia que o momento da escolha de trabalhos para citar envolve aspectos relacionados com o impacto acadêmico (uso do método, paradigma ou teoria do autor citado) e com aspectos sociopsicológicos (pressões sociais, interesses pessoais etc.).

Apesar dos estudos de citação constituírem uma consolidada ferramenta para a obtenção de indicadores bibliométricos de impacto, alguns autores como MacRoberts e MacRoberts (1989) elencam uma série de problemas com relação a eles: influências formais e informais não citadas; citação tendenciosa; autocitação; diferentes tipos de citações; variações na taxa de citação relacionadas ao tipo de publicação, nacionalidade, período de tempo, tamanho e tipo de especialidade; limitações técnicas dos índices de citação e bibliografias (autoria múltipla, sinônimos, homônimos, erros de escrita, cobertura da literatura). Outro aspecto abordado por Garfield (1979) é o fenômeno da obliteração, que ocorre quando o trabalho de um cientista se torna tão integrado no corpo de conhecimentos do campo, que as pessoas frequentemente negligenciam a citá-lo explicitamente.

Glänzel (2003) destaca três níveis de agregação em pesquisas bibliométricas: Nível micro: *output* de publicações de indivíduos e grupos de pesquisa; Nível meso: *output* de publicações de instituições, estudo de periódicos científicos; Nível macro: *output* de publicações de regiões e países e agregações supranacionais. Largamente utilizada em estudos métricos da ciência, a classificação auxilia na definição dos indicadores e operacionalização das variáveis a serem aplicados em cada evento. Além disso, a definição prévia do foco, do recorte geográfico e do período temporal é importante para a escolha apropriada do instrumental bibliométrico (LIMA; VELHO; FARIA, 2007).

No tocante à avaliação científica brasileira por indicadores, Leta (2011) constatou que o aumento da participação do Brasil no cenário internacional é consequência de um processo social que começou na década de 1950 com a institucionalização do setor de C&T, a expansão das comunidades científicas, a criação de instituições de financiamento à pesquisa como CNPq e CAPES, a concepção de políticas públicas e a formação de recursos humanos a

partir da abertura de programas de pós-graduação. Esses programas impõem critérios rígidos de produtividade e força os pesquisadores brasileiros a adotarem um modelo internacionalizado da ciência, no qual se privilegiam temáticas e veículos de alta visibilidade.

Adams e King (2009) confirmaram o crescimento da produção científica e colaboração brasileira nas bases de dados da Thomson Reuters no período de 1998-2007, visto que a atividade dobrou em uma década. A análise dos *papers* indexados nas categorias da *Essential Science Indicators* (ESI) mostrou que as áreas mais produtivas em 2003-2007 foram a Ciência de Plantas & Animais com 3,91%, as Ciências Agrárias com 3,72% e a Microbiologia com 2,86% das publicações do mundo. A Física aparece em sétimo lugar com 2,28% (10.121 artigos). Notou-se que em termos de quantidade, a Física publicou mais do que as outras áreas mencionadas, porém não é tão representativa em termos de participação. Com relação à colaboração internacional, o principal parceiro do Brasil é Estados Unidos, presente em 11,1% do total de publicações.

Adams, Pendlebury e Stembridge (2013) analisaram a produção e impacto do Brasil, Rússia, Índia, China, África do Sul (BRICS) indexada na ESI no período de 2007-2011. O Brasil apareceu melhor posicionado nas disciplinas Ciências Agrárias, 8,8%; Ciência de Plantas & Animais, 6,6%; Farmacologia & Toxicologia, 3,7% de participação mundial. No caso brasileiro; os campos da Física, Matemática e Engenharia se destacaram do resto por apresentarem um impacto de citação acima da média mundial de 0,8%. Ainda, os números da produção e das citações parecem ser díspares, visto que o País publica mais nas áreas das ciências da vida, porém a sua pesquisa é mais citada nas áreas das ciências físicas e tecnológicas. A explicação para isso é que não necessariamente deve existir uma relação entre impacto e volume de produção.

Leta, Thijs e Glänzel (2013) analisaram a produção científica, impacto de citação e colaboração representada na WoS dos seis países mais produtivos da América Latina: Brasil, Argentina, México, Chile, Venezuela e Colômbia no período de 1991-2011. Com relação à produção, o Brasil lidera amplamente por sobre o resto dos países latino-americanos. Essa tendência é claramente reforçada após 2007, ou seja, o ano em que as novas revistas brasileiras foram indexadas pela WoS. Os seis países analisados se enquadram dentro do modelo de pesquisa bio-ambiental (Agricultura, Biologia, Geociências & Ciências Espaciais). A respeito do impacto de citação da pesquisa brasileira, observou-se aumento em algumas áreas como a Biologia, a Agricultura e a Medicina Clínica; entretanto, tais esforços não foram suficientes para atingir o padrão de referência mundial. Com relação à colaboração internacional, o Brasil tem quase 30% de trabalhos em coautoria em 2007-2011.

Vanz e Stumpf (2012) investigaram a produção e colaboração científica brasileira indexada no *Science Citation Index* (SCI) no período de 2004-2006. Com respeito à produção; poucas instituições, principalmente universidades públicas localizadas em regiões específicas, são responsáveis pela publicação do maior volume de artigos. A média de instituições por artigo é de 2,4. Os dados mostraram predominância de colaboração intra-institucional. Em termos de colaboração internacional, 30,3% dos artigos foram publicados em coautoria. Dentre as áreas analisadas, a Física se destaca como uma das mais colaborativas, quase 40% de trabalhos em coautoria. Os índices relativos revelaram que os principais parceiros do Brasil são os Estados Unidos e a Argentina. Por último, a área da Física apresentou as médias de colaboração mais altas por artigo: autor (13,3), instituição (3,6), país (1,9).

2.4 ESTUDOS BIBLIOMÉTRICOS NA FAE

Apesar da falta de estudos bibliométricos sobre a FAE brasileira, a importância de investigação da área já foi percebida por pesquisadores nacionais e internacionais ao analisarem diferentes aspectos relacionados com a produção científica, colaboração e impacto.

Em nível nacional, Vanz (2009) analisou as redes de colaboração científica no Brasil no período de 2004-2006. A autora destacou a necessidade de aprofundamento de análise da FAE, por possuir um padrão de interação científica diferenciado. A Física se sobressaiu pelo fato de ser uma das áreas mais produtivas da ciência nacional e por estar constituída em grandes grupos a partir dos trabalhos em coautoria.

Duarte (2008) afirma que o desenvolvimento da área no Brasil depende da Cooperação Internacional com grandes centros de pesquisa como o CERN. A parceria permitiria transferir os avanços científicos e tecnológicos para a sociedade brasileira e contribuir para o desenvolvimento nacional, aspiração que só seria possível com o apoio do Governo. O autor ressalta que a Cooperação Internacional em C&T no Brasil se manifesta como um importante componente da sua política externa, por se conformar como uma janela de oportunidades a um nível de conhecimento que o País levaria muito tempo para alcançar isoladamente.

Em nível internacional, Braun et al. (1992) estudaram a rede de colaboração científica mundial da Física e de suas subáreas representada no SCI e *Physics Briefs* no período de 1981-1985. As subáreas da Física observadas foram: Acústica, Mecânica, Óptica, Aplicada, Química, de Matéria Condensada, de Fluidos, Matemática, Nuclear e de Partículas. O estudo revelou que as estruturas das redes de coautoria da Física possuem um núcleo central com

ligações fortes e uma periferia conectada a esse núcleo central por meio de ligações fracas. Os países mais desenvolvidos economicamente e cientificamente formam o núcleo central. Em algumas subáreas como a Física Nuclear e Física de Partículas ou de Altas Energias, a posição da Suíça (CERN), da Alemanha (DESY) e dos Estados Unidos (FERMILAB, SLAC) é facilmente discernível. A diferente cobertura de revistas dos bancos de dados analisados não afetou essencialmente a estrutura revelada, ambas as redes resultaram ser muito semelhantes. Entretanto, notaram-se leves diferenças a respeito das ligações periféricas. Ainda, a pesquisa mostrou que a colaboração internacional ocorre principalmente em pesquisa básica e que os resultados são publicados em periódicos internacionais reconhecidos e indexados pelos dois bancos de dados e, portanto, a presença ou ausência de revistas nacionais não altera a estrutura da rede resultante. As subáreas da Física apresentaram diferenças com relação à estrutura de rede; mais simples, com EUA na posição central (Acústica, de Fluidos, Matemática); mais complexas, com países europeus no centro (Química, Nuclear, de Partículas, de Matéria Condensada). Por último, na subárea da Física de Partículas ou FAE, o Brasil publicou 119 artigos no citado período, sendo que foram 29,4% em coautoria.

Kretschmer e Rousseau (2001), em análise das publicações de 13 institutos de Física da Holanda, nos períodos 1985-1989 e 1990-1994, demonstraram que, mesmo utilizando a contagem normal ou total (um autor igual a um crédito), a Lei de Lotka ou lei de produtividade de agentes é anulada com a alta colaboração (artigos com mais de 100 coautores). Os autores argumentam que em áreas como a FAE esse fenômeno acontece com frequência e que existe uma forte tendência para a formação de grandes grupos e para o trabalho em colaboração, de modo que cada publicação produz um crédito para o mesmo grupo de agentes. Ainda, a anulação da Lei de Lotka, especialmente no segundo período (1990-1994) coincide com uma mudança no padrão de comportamento dos cientistas da FAE holandeses, já que naquela época a área sofreu uma diminuição de verbas, levando-os a diferentes condições de investigação. Isto alterou a estrutura social entre os cientistas, como mostrado pelos seus padrões de colaboração.

Chompalov, Genuth e Shrum (2002) observaram a organização de 53 colaborações multi-institucionais em Física e ciências afins. Os dados foram coletados pela *American Institute of Physics* (AIP) nos anos de 1992, 1995 e 1999. A análise de agrupamentos identificou quatro formatos organizacionais em projetos colaborativos: burocrático, sem liderança, não-especializado, participativo. Os pesquisadores concluíram que a FAE se diferencia de outras áreas por ter um estilo diferente e excepcional de organização e por ser mais participativa e consensual na tomada de decisão. A partir do trabalho em colaboração, a

área busca coletivizar os fluxos de dados e regular a comunicação externa dos resultados para a comunidade científica. A organização colaborativa da FAE se caracteriza por ser pouco burocrática e por apresentar menores níveis de autoridade interna. Apesar da informalidade presente na estrutura de gestão administrativa da FAE experimental, os cientistas mantêm um controle rigoroso sobre a pesquisa, aquisição de informações e comunicação externa dos resultados das investigações. Todavia, o limitado número de instalações e os enormes custos operacionais de construção de detectores e aceleradores de partículas fazem com que os físicos sejam mais colaborativos.

Collazo-Reyes e Luna Morales (2002) investigaram a organização, a produção científica e o crescimento da Física de Partículas mexicana indexada na SPIRES no período de 1971-2000. Com relação à estratégia de busca, foram utilizados os descritores *High-Energy Physics* no campo área e *México* no campo país, incluindo artigos publicados em revistas, *preprints*, teses e trabalhos de congressos e conferências. Os autores constataram que a comunidade científica mexicana está estruturada por 21 instituições que têm colaborado pelo menos com um trabalho. As três mais produtivas são a *Universidad Nacional Autónoma de México* (UNAM), o *Instituto Politécnico Nacional* (IPN) e o *Centro de Investigación y de Estudios Avanzados* (CINVESTAV). Todas elas pertencem ao setor de educação pública superior e fazem parte das instituições mexicanas com programas de pós-graduação. As 2.301 publicações representam uma média de 77 trabalhos por ano. Levando em consideração os acréscimos e decréscimos por ano, a taxa de crescimento é de 3,3% (9,7 trabalhos por ano). Foi verificado que enquanto 25% da produção está dispersa em um período de vinte anos (1971-1990), 75% está concentrada nos últimos dez (1991-2000).

Lehmann, Laudrup e Jackson (2003) analisaram a rede de citação da FAE constituída pelas publicações científicas da SPIRES. Também foi investigada a distribuição de citação por subcampo: *High Energy Physics – Experiment* (hep-ex); *High Energy Physics – Theory* (hep-th); *High Energy Physics – Phenomenology* (hep-ph). Nessa rede, cada artigo é considerado um nó, um vínculo entre dois nós surge quando um artigo é citado por outros. Com relação à distribuição de citação do conjunto de dados, os autores comprovaram que: 29% dos artigos nunca foram citados, 74% dos *papers* têm até 10 citações, 6,2% têm 50 citações ou mais, apenas 131 artigos (0,05%) foram citados 1.000 vezes ou mais. A média de citação da rede é de 14,6 citações por artigo, consideravelmente maior do que a mediana de 2,3. A distribuição das citações é representada graficamente por uma cauda longa, sendo que somente uma pequena fração de artigos são altamente citados. Quase 50% das citações são geradas por 4% dos artigos, menos de 50% das publicações gera apenas 2% de todas as

citações. Os pesquisadores observaram que a distribuição das citações obedece a uma lei de potência. Devido à alta colaboração (coautoria) na FAE experimental, pode-se esperar que o número de citações seja maior nesse subcampo. Ainda, os autores demonstraram a homogeneidade das topologias das redes de citação nas categorias analisadas.

Newman (2001a, 2001b, 2001c, 2004a) identificou e examinou algumas redes de colaboração científica em quatro bases de dados: Medline (área Biomédica), LANL e-Print Archive (*pre-prints* da Física Teórica), SPIRES (artigos e *pre-prints* da FAE) e NCSTRL (*pre-prints* em Ciência da Computação) entre 1995 e 1999. O autor observou que as comunidades estudadas constituem “mundos pequenos” ou *small worlds*. Também notou que a distância média entre os cientistas através de uma linha de colaboradores intermediários varia algoritmicamente com o tamanho da comunidade. Normalmente, cinco ou seis passos (intermediários ou nós) são necessários para ir de um cientista escolhido aleatoriamente de uma comunidade para outro qualquer. As redes de colaboração estudadas apresentam alto nível de agrupamento (*clusterização*), ou seja, dois cientistas são muito mais propensos a colaborar se eles têm um terceiro colaborador em comum. Isto significa que, introduzindo seus próprios colaboradores para outros, os cientistas contribuem para o crescimento da comunidade científica. Ainda, a distribuição do número de colaboradores dos cientistas e do número de artigos que eles escrevem segue uma lei de potência.

Newman (2001c) também mediu a centralidade de intermediação ou *betweenness* dos atores de cada uma das redes de colaboração analisadas. Esse indicador aponta que os nós mais influentes em uma rede são aqueles que controlam o fluxo da informação entre a maioria dos outros. A intermediação de um ator i pode ser definida como o total de caminhos mais curtos entre pares de atores que passam através de i . Ainda, o pesquisador corroborou que para a maioria dos autores, a maior quantidade dos caminhos entre eles e outros cientistas da rede têm como intermediários apenas um ou dois dos seus colaboradores. Também foi possível medir a centralidade de aproximação ou *closeness* dos atores, ou seja, conhecer quanto os nós estão próximos uns dos outros. Essa medida de centralidade está relacionada com o acesso à informação que os atores possam ter de acordo com a sua posição na rede. Os nós melhores posicionados terão vantagem em termos de prioridade de aprendizado de novos conhecimentos e da originalidade de novas informações que poderão chegar mais rápido a outros componentes da rede do que informações originadas em outras fontes. No estudo realizado foi verificado que a distância de proximidade é mais curta entre os nós quanto maior o número de colaboradores. Na FAE experimental, por trabalharem em grandes grupos, a distância entre os pesquisadores é pequena, existindo uma maior proximidade do que em

outras áreas. Todavia, o autor levanta a questão de que seja pouco provável que nos artigos com mais de 1.000 coautores, os cientistas se conheçam. Nesse sentido, uma medida ponderada para estimar a força dos laços de colaboração revelou que um grande número de coparticipantes não é um bom indicador de conexão.

Newman (2001a, 2001b, 2004a), em estudo específico dos artigos publicados na SPIRES entre 1995 e 1999, constatou uma média de 8,96 autores por artigo e uma média de 173 colaborações por autor, destacando o alto grau de participação da FAE. O pesquisador também verificou que o maior trabalho realizado em colaboração tinha 1.681 autores e que o maior grupo dentro da rede da FAE ocupa 88,7% do total de todos os agentes, o que demonstra o alto grau de conexão dos nós. No pensamento de Newman (2001a, 2001b), essa descoberta é uma coisa boa porque quanto maior for a densidade de uma rede a partir do trabalho em colaboração, maior a solidez e a maturidade da comunidade científica. Com relação à interconectividade dos atores, a distância média entre dois cientistas quaisquer da rede é de quatro, um pouco abaixo dos seis passos de separação estabelecidos por Milgram. A comunidade da FAE se constitui como um mundo pequeno ou *small world*. Por último, a rede é altamente *clusterizada*, ou seja, dois cientistas são mais propensos a colaborar se eles têm um terceiro colaborador em comum. Isto é importante para o desenvolvimento da comunidade científica, o coeficiente C de *clusterização* da rede de colaboração é de 0.726.

Newman (2004b), em análise de uma rede de colaboração de mais de 50.000 cientistas da Física, criou junto com o cientista M. Girvan, um algoritmo mais sofisticado que permite conhecer rapidamente como está estruturada uma comunidade nas grandes redes. Para isso, foram coletados os documentos publicados em colaboração em todas as subáreas da Física e indexados pelo *Physics E-print Archive* em arxiv.org. O estudo revelou que a rede em questão é composta aproximadamente por 600 comunidades (56.276 físicos), com um pico de alta modularidade de $Q=0,713$, indicando uma forte estrutura dentro da Física. Ainda, o autor observou que quatro comunidades são mais fortes e que se diferenciam do resto por deterem 77% do total dos vértices. As quatro grandes comunidades são compostas pelas seguintes subáreas da Física: Astrofísica (9.278 vértices); FAE, incluindo teórica, fenomenologia e física nuclear (11.070 vértices); Física de Matéria Condensada (2) (13.454 e 9.350 vértices). O logaritmo utilizado também permitiu compreender que analisando em particular as comunidades mencionadas, o pico de modularidade aumenta, ou seja, suas estruturas se apresentam mais fortes. Na menor das comunidades da Física de Matéria Condensada foi encontrado um pico de modularidade de $Q=0,807$. O pesquisador concluiu que a estrutura da

comunidade da Física é composta basicamente por aquelas subáreas mais fortes e tradicionais dentre as especialidades e grupos de pesquisa no campo, se destacando a FAE.

Mele et al. (2006), em exame dos *preprints* submetidos em 2005 no repositório arXiv e classificados em uma das quatro categorias FAE: hep-ex para *high energy experimental physics*, hep-lat para *studies of lattice field theory*, hep-ph para *particle phenomenology*, hep-th para *string, conformal and field theory*, observaram que do total dos 8.673 trabalhos, 5.016 (58%) foram posteriormente publicados em periódicos da área. Com relação à distribuição de artigos FAE por disciplina, a hep-th representa 44,4%, a hep-ph 44,0%, a hep-ex 6,7%, a hep-lat 4,9% do total das publicações. A média encontrada para a hep-ex foi de 290 autores por artigo. A respeito da distribuição da produção científica FAE por país, os Estados Unidos aparecem em primeiro lugar com 24,1%, seguido pela Alemanha (8,8%), Reino Unido e Japão (7,4%), Itália com o *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* (INFN) (5,8%), Rússia (4,8%), China (4,6%), mais atrás surge o Brasil com 2,6% da totalidade dos artigos. Com relação à distribuição da produção científica FAE por grupo geográfico prevaleceram Europa (CERN & Estados Membros) (40,0%), “Outros Países” (35,9%), Estados Unidos (24,1%) do total das publicações. A respeito da distribuição dos artigos FAE por periódico predominaram *Physical Review* (A-E) da APS (31,7%), *Journal of High Energy Physics* da SISSA (19,2%), *Physics Letters* (A e B) da Elsevier (14,6%), *Nuclear Physics* (A e B) da Elsevier (8,4%), *Physical Review Letters* da APS (4,8%), *European Physical Journal* (A e C) da Springer (4,3%) da totalidade de revistas. A análise mostrou que apenas seis periódicos científicos publicaram 83% dos artigos da FAE.

Krause, Lindqvist e Mele (2007), em análise da distribuição geográfica dos autores que publicaram nos principais periódicos da FAE no período de 2005-2006⁹, constataram que quem mais contribui para a literatura da área são em primeiro lugar a Europa (CERN & Estados Membros) (40,8%), em segundo lugar os Estados Unidos (24,9%) e em terceiro o grupo dos denominados “Outros países” (34,3%). O Brasil por não ser um estado-membro do CERN, foi incluído dentro de “Outros Países”, ocupando a décima primeira posição com 2,6% da produção total. Os autores analisaram a contribuição de cada país representada pela publicação em cada periódico específico¹⁰. Autores do CERN e seus Estados-membros

⁹ *Physical Review D* (American Physical Society), *Physics Letters B* (Elsevier), *Nuclear Physics B* (Elsevier), *Journal of High Energy Physics* (SISSA/IOP), *European Physical Journal C* (Springer). Foram adicionados dois periódicos que cobrem outras áreas da Física, porém que são populares dentro da comunidade científica da FAE: *Physical Review Letters* (American Physical Society), *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* (Elsevier).

¹⁰ Publicações europeias: *Journal of High Energy Physics*, *Phys. Lett. B*, *Nucl. Phys. B*, *Nucl. Instr. Meth. A*, *Eur. Phys. Journal C*. Publicações americanas: *Phys. Rev. D*, *Phys. Rev. Lett.*

(autores europeus) responderam por 47,4% do conteúdo das revistas europeias e 33,4% das americanas. Autores dos Estados Unidos responderam por 18,9% do conteúdo dos periódicos europeus e 31,6% dos americanos. Os periódicos americanos são igualmente utilizados por autores de todo o mundo, enquanto revistas europeias são ligeiramente preferidas por autores europeus. Nos 11.301 artigos analisados, foi encontrada uma média de 24,8 autores por artigo. Estruturas correspondendo a artigos com grandes colaborações foram claramente identificadas. No entanto, comprovou-se que 89,6% dos artigos apresentam menos de 10 autores, com média de 3,1 autores por artigo. Apenas 19% dos artigos apresentaram autoria única. Neste estudo, os pesquisadores dividiram os artigos a serem analisados em dois grupos: menos de 10 autores por artigo (FAE teórica) e igual ou mais de 10 autores por artigo (FAE experimental), correspondendo a 89,6% e 10,4% respectivamente. A pesquisa possibilitou entender que alguns países como Estados Unidos, Itália e Japão têm maior tradição no campo da FAE experimental. No caso do Brasil, se observa uma maior tradição na pesquisa relacionada com a física teórica (2,8%). A física experimental representa 0,5% do total de contribuições por subáreas por país. Os dados para análise foram extraídos da SPIRES. O estudo foi baseado no número de autores e na sua filiação.

Calero (2009) investigou a colaboração científica e a visibilidade das subáreas da Física espanhola, dentre elas, a FAE, a partir dos artigos indexados no SCI e no arXiv no período de 2000-2005. Com relação à estratégia de busca no SCI, foi utilizado o termo *Spain* no campo *Author Address* e a *Web of Science Category (WC) Physics, Particles & Fields* para recuperar o volume de artigos referente à produção científica da área segundo a classificação temática das revistas indexadas pela WoS. A autora constatou no SCI que a FAE é uma das seis disciplinas mais produtivas da Física espanhola, com 2.291 artigos publicados no período. Por outro lado, a área apresenta os índices de coautoria mais altos, com média de 62 autores e 11 instituições por artigo. Com relação ao índice de colaboração internacional, o campo observado se encontra em segundo lugar com 71%, atrás apenas da Astronomia e Astrofísica. Ainda, a FAE apresenta a média mais alta de países por documento (3,9) e a taxa mais alta na denominada grande rede (6 ou mais países por artigo), 23% do total das 1.623 publicações em colaboração da disciplina. Na grande rede internacional, a Espanha colabora principalmente com os EUA, seguida da Alemanha e da Itália. Também foram identificadas as dez revistas com maior Fator de Impacto (FI) no ano de 2004 que receberam artigos da Física de Partículas espanhola, destacando-se: o *Journal of Cosmology and Astroparticle*, o *Journal of High Energy Physics* e o *Nuclear Physics B*. A distribuição da produção publicada

por país nesses veículos indica que a Espanha ocupa a oitava posição com 1.536 artigos, os EUA aparecem no topo do *ranking*.

Aman (2013) complementa que na FAE, a maioria dos artigos científicos são publicados por apenas seis revistas de núcleo ou *core journals*: *Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics*, *Nuclear Physics B*, *Physics Letters B*, *European Physical Journal C* e *Physical Review Letters*. Essas investigações permitem deduzir que devido à alta especialização dos assuntos e periódicos da FAE, a Lei de Bradford também pode ser anulada. Os dados para análise bibliométrica foram extraídos das bases de dados Scopus (artigos) e INSPIRE HEP (citação de artigos) e do repositório de *preprints* arXiv no período de 1996-2012. O arXiv e a INSPIRE HEP são considerados os pontos principais de entrada para a literatura da FAE. No estudo citado foram analisados somente três dos seis periódicos mencionados anteriormente: *Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics* e *Nuclear Physics B* por cobrirem cerca de 50% de toda a literatura da FAE.

Referente à área estudada, percebe-se o maior aprofundamento das pesquisas sobre produção científica, colaboração e impacto no âmbito internacional. Em nível nacional, ainda faltam estudos que abranjam as publicações, redes de coautoria e citação da FAE.

3 METODOLOGIA

O estudo desenvolvido se enquadra dentro das pesquisas de nível macro já que engloba a análise da produção científica de um determinado país e disciplina (SPINAK, 1998). O uso de indicadores bibliométricos possibilitou a identificação e quantificação das publicações, coautorias e citações de uma área específica em um determinado período. A investigação avaliou as características da produção científica, colaboração e impacto da FAE brasileira indexada na WoS (artigos publicados em periódicos abrangidos na categoria *Physics, Particles & Fields*) no período de 1983-2013.

3.1 FONTES DE COLETA DE DADOS

A base de dados escolhida para a realização deste estudo bibliométrico foi a WoS. A fonte de informação referencial indexa os principais periódicos internacionais e com alto FI dentro das diferentes áreas do conhecimento. A base é amplamente utilizada em investigações relacionadas com a medição quantitativa da ciência e reconhecida pela sua abrangência e volume de dados que disponibiliza para pesquisas bibliométricas e construção de indicadores de produção científica. Através dos índices SCI e *Social Sciences Citation Index* (SSCI), a WoS possibilita a análise de citações e permite, a partir do seu uso mundial, a comparação com resultados internacionais (FAPESP, 2011). Bordons e Zulueta (1999) comentam que o SCI é apropriado para estudos bibliométricos, visto que o índice apresenta uma série de vantagens com relação a outros, sendo elas: multidisciplinaridade; indexação das revistas selecionadas na sua totalidade; inclusão de todos os autores dos registros bibliográficos e a sua filiação (instituição, cidade, país), possibilitando estudos de colaboração; inclusão das referências bibliográficas presentes nos documentos, permitindo análises de citações.

Para análises de produção científica, colaboração e impacto, a WoS se apresenta como um ótimo recurso porque proporciona informações completas do *corpus* principal da pesquisa, dos autores dos artigos (nome e filiação de todos os cientistas que publicaram em coautoria) e do *corpus* de documentos citantes. No Brasil, a base pode ser acessada através do Portal de Periódicos da CAPES.

Criada pelo *Institute for Scientific Information* (ISI) e recentemente comprada pela Thomson Reuters, a WoS é composta pelas seguintes bases: SCI, SSCI, *Arts and Humanities Citation Index* (AHCI), *Conference Proceedings Citation Index Science* (CPCI-S), *Conference Proceedings Citation Index Social Science & Humanities* (CPCI-SSH), *Book*

Citation Index (BCI). Essas bases constituem o maior conjunto multidisciplinar e estruturado de periódicos e artigos, com parcela significativa da produção mundial em múltiplas áreas científicas (FAPESP, 2011). Embora a WoS não recolha toda a publicação das disciplinas em extensão, a mesma se apresenta como a fonte de informação mais completa para a construção de indicadores bibliométricos de áreas altamente internacionalizadas no cenário de pesquisa atual. Além do mais, todas as bases de dados apresentam limitações em termos de representatividade da produção dos campos científicos, sendo que a indexação dos artigos obedece a critérios particulares de seleção. Nesse sentido, a análise da produção científica, colaboração e impacto de uma área está condicionada às restrições das fontes escolhidas e à relevância do volume de registros bibliográficos recuperados.

O protagonismo da WoS ganha relevância dado que os *preprints* utilizados na comunicação informal da FAE são, na maioria das vezes, publicados por periódicos da sua abrangência. Aman (2013) manifesta que quase o total dos artigos da área são publicados por apenas seis revistas científicas. No estudo de Alvarez e Vanz (2014) foi observado que todos esses veículos de comunicação são indexados pela WoS, caracterizando outro motivo para a escolha da mencionada base de dados.

Outros bancos especializados na área da Física como o IET Inspec, INSPIRE HEP e arXiv foram desconsideradas do estudo bibliométrico por apresentarem algumas restrições. O IET Inspec não apresenta dados sobre citações e só é possível identificar a instituição (ou país) de origem do primeiro autor de cada publicação, o que restringe muito a produção e análise de indicadores quando ocorre coautoria (FAPESP, 2011). O INSPIRE HEP não apresenta os campos das variáveis nem permite importar o volume total de registros bibliográficos, motivo pelo qual seria impossível a utilização do *software* Bibexcel para geração dos indicadores. O arXiv é um repositório *open access* bastante utilizado como canal informal de comunicação na FAE, no entanto, foi descartado por não ser objetivo deste estudo a análise de *preprints*. Por último, a Scopus é outra base de dados multidisciplinar comumente utilizada em pesquisas bibliométricas. A mesma indexa um número maior de revistas do que a WoS, entretanto, está limitada a artigos recentes (publicados a partir de 1995). Por outro lado, a sua análise de citações não é tão detalhada quanto da WoS (FALAGAS et al., 2008). A WoS tem forte cobertura de periódicos em inglês e de artigos publicados antes de 1990, já a Scopus abrange um número superior de revistas, porém, com FI menor (CHADEGANI et al., 2013).

Como fontes de informação secundárias foram utilizadas a Plataforma Lattes, o Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq (DGP/CNPq), o Sistema WebQualis da CAPES e o *Journal Citation Reports* (JCR). A Plataforma Lattes é uma base de dados de acesso livre

composta pelos currículos dos cientistas brasileiros nas áreas de C&T e facilitou a coleta de informações sobre os pesquisadores nacionais referentes à filiação, área de pesquisa, redes de colaboração científica, instituição, índices de produtividade, grafia correta do nome etc. O DGP/CNPq constitui-se no registro dos grupos científicos organizados em uma ou mais linhas nas áreas do conhecimento e permitiu conhecer os campos de atuação, universidades e centros de pesquisa dos grupos da FAE em nível nacional. A base é capaz de descrever os limites das disciplinas e o perfil da investigação no Brasil (DGP, 2014). O Sistema WebQualis da CAPES possibilitou conhecer o estrato dos veículos escolhidos pelos pesquisadores da FAE brasileira para publicarem seus artigos. Por último, o JCR foi utilizado para obter dados atinentes ao FI, nacionalidade, idioma, editora etc. do grupo de revistas internacionais que publicaram artigos da área estudada. Mediante o FI, o JCR auxilia os cientistas na identificação dos periódicos que podem trazer maior prestígio à sua pesquisa.

3.2 ESTRATÉGIA DE BUSCA E *CORPUS*

Na concepção de Glänzel e Schubert (2003), a definição da estratégia de busca para a coleta de dados é uma das condições básicas nos estudos bibliométricos, pois está diretamente vinculada às informações recuperadas e resultados alcançados.

Para definir a expressão de busca que melhor atendesse aos objetivos propostos nesta pesquisa, considerou-se apropriado a execução das seguintes ações: identificação da metodologia adotada por estudos bibliométricos nacionais e internacionais referente à FAE; organização de uma lista de termos em português e inglês utilizados pela área; distinção do campo nas tabelas de classificação de assunto da CAPES/CNPq, Glänzel e Schubert (2003) e de área de periódico da WoS. A seguir, as ações acima citadas são elucidadas com maior profundidade.

Inicialmente, listaram-se todos os estudos bibliométricos encontrados na literatura científica com o intuito de apresentar as especificidades de cada um deles e mostrar a estratégia metodológica de investigação utilizada. No Quadro 3, são referenciados os trabalhos da FAE, tendo como foco de pesquisa a produção científica, colaboração e impacto.

Quadro 3 - Estudos bibliométricos na FAE

Autor	Temática	Fonte de dados	Termo de busca	Período	Região/País de aplicação
Braun, T. et al. (1992)	Colaboração científica internacional	SCI/Physics Briefs	Particle physics	1981-1985	Mundo
Kretschmer, H.; Rousseau, R. (2001)	Colaboração científica/ Aplicação Lei de Lotka	13 institutos de Física da Holanda	High-energy physics	1985-1989 / 1990-1994	Holanda
Chompalov, I.; Genuth, J.; Shrum, W. (2002)	Colaboração científica	AIP	High-energy physics/Particle physics	1992, 1995, 1999	Mundo
Collazo-Reyes, F.; Luna-Morales (2002)	Produção científica	SPIRES	High-energy physics/México	1971-1990	México
Lehmann, S.; Lautrup, B.; Jackson, A. D. (2003)	Análise de citação	SPIRES	High-energy physics	Todos os anos	Mundo
Newman, M. E. J. (2001a, 2001b, 2001c, 2004a)	Colaboração científica/ARS	SPIRES	High-energy physics	1995-1999	Mundo
Newman, M. E. J. (2004b)	Colaboração científica/ARS	Physics E-print Archive	High-energy physics (HEP)	Todos os anos	Mundo
Mele, S. et al. (2006)	Produção e colaboração científica	arXiv	High-energy physics (HEP)	2005	Mundo
Krause, J.; Lindqvist, C. M.; Mele, S. (2007)	Colaboração e comunicação científica	SPIRES	High-energy physics	2005-2006	Mundo
Duarte, R. P. (2008)	Cooperação internacional	..	Física de Altas Energias	..	Brasil
Vanz, S. A. de S. (2009)	Colaboração científica	SCI	Brazil/Brasil/ Physics	2004-2006	Brasil
Calero, A. I. B. (2009)	Produção e colaboração científica	SCI/arXiv	Spain/Physics, Particles & Fields	2000-2005	Espanha
Aman, V. (2013)	Comunicação científica	Scopus/arXiv/INSPIRE-HEP	High-energy physics (HEP)	1996-2012	Mundo

Fonte: elaborado pelo autor

Posteriormente, organizou-se uma lista de termos em inglês e português empregados no discurso dos especialistas da FAE. A mesma serviu de auxílio no momento da definição da expressão de busca. No Quadro 4, é apresentada a terminologia do campo analisado.

Quadro 4 - Terminologia empregada no discurso científico da FAE

Termo em português	Termo em inglês
FAE	HEP/HEPP/HEP-EX
Física de Altas Energias	High-Energy Physics
Física Experimental de Altas Energias	High Energy Experimental Physics
Física de Partículas Elementares e Campos	High Energy Particle Physics
Física de Partículas	Particle Physics
Física de Partículas e Campos	Physics, Particles & Fields
Ciências Físicas de Partículas	Particle Physics Science

Fonte: elaborado pelo autor

Seguidamente, considerou-se oportuno consultar as tabelas de classificação de assunto da CAPES/CNPq, Glänzel e Schubert (2003) e de área de periódico da WoS. Na tabela da CAPES/CNPq, a Física está inserida dentro da grande área das Ciências Exatas e da Terra. Por sua vez, a Física é composta por sete subáreas, dentre elas a Física de Partículas Elementares e Campos. Na tabela de Glänzel e Schubert (2003) a subárea anteriormente mencionada é claramente identificada dentro da Física. Já a Thomson Reuters utiliza duas classificações: uma abrangente (ESI) que contém 22 áreas, dentre elas a Física, onde os periódicos são atribuídos exclusivamente a uma área; e outra mais detalhada - SCI, SSCI, JCR - que contém 251 subáreas, com os periódicos podendo ser atribuídos a mais de uma subárea (FAPESP, 2011).

A agência de fomento à pesquisa científica e tecnológica citada entende que a interdisciplinaridade (dispersão de um assunto entre as áreas temáticas), os diferentes sistemas de classificação conforme o país e instituição (variabilidade com relação aos nomes, número e abrangência das áreas/subáreas) e a vinculação dos periódicos às disciplinas são fatores que interferem na definição pela estratégia de busca mais apropriada.

Após a identificação da metodologia utilizada por estudos nacionais e internacionais da FAE, a organização da terminologia em português e inglês em uma lista padronizada e a distinção da área nas tabelas de classificação, definiu-se a categoria WC que melhor representasse o campo científico em estudo: *Physics, Particles & Fields*. A princípio, pensou-se em incluir outras categorias WC tais como: *Physics Nuclear, Astronomy & Astrophysics, Instruments & Instrumentation, Nuclear Science & Technology* buscando-se, dessa maneira, recuperar um maior volume de dados, uma vez que, conforme explicação de um especialista

da área¹¹, tais categorias estão relacionadas e poderiam conter publicações da FAE brasileira. No entanto, optou-se por não inclui-las já que a abertura da pesquisa tornaria o estudo disperso, ocasionando a recuperação de trabalhos não pertinentes ao campo observado, visto que as buscas no campo WC da WoS são realizadas pela área do periódico e não pelo assunto do artigo.

Cogitou-se a ideia de analisar somente a produção científica da FAE experimental utilizando o rótulo de campo TS da WoS. Entretanto, torna-se difícil realizar com precisão a separação dos artigos da FAE experimental da teórica mediante o termo *Experimental* tendo em consideração que o TS somente recupera documentos por assunto a partir de consulta no título, resumo e palavras-chave. Para uma divisão pertinente e precisa de subáreas é necessário o *download* e a leitura técnica de cada um dos artigos por parte de um especialista, porém, tal alternativa é muito demorada e trabalhosa se considerarmos o prazo de execução deste estudo.

A partir de consulta a tesouros da Física ou a profissional da área, pensou-se em criar uma lista de termos representados por palavras-chave. Dessa maneira, seria possível a recuperação de uma quantidade maior de documentos para análise. Em consulta a especialista, identificaram-se algumas palavras-chave da FAE experimental que poderiam ser incluídas na estratégia de busca: *Ultrarelativis NC, Heavy Ions Collisions; Neutrino Physics* para *Nuclear Physics* e *Cosmic Rays, Dark Matter* para *Astroparticles*. Contudo, descartou-se essa possibilidade já que a WoS apresenta WC específica para o campo científico abordado.

Ainda, considerou-se apropriado realizar através da Plataforma Lattes um levantamento dos veículos nos quais os pesquisadores dos grupos de pesquisa da FAE publicaram seus artigos. O propósito da busca foi descobrir se a produção científica dos cientistas nacionais está representada na categoria WC predefinida. Para tal fim, foram necessárias as seguintes ações: a) escolha intencional de dez pesquisadores; b) listagem dos periódicos utilizados nos últimos três anos; c) busca das revistas na WoS. Constatou-se que os títulos relacionados são indexados pela categoria WC *Physics, Particles & Fields*.

Na coleta dos dados relacionados com a produção científica da FAE com base na categoria WC da WoS foi utilizada a pesquisa avançada (*Advanced Search*), com uso de operadores booleanos (OR, AND). Essa estratégia de busca permitiu delimitar o campo que

¹¹ O Prof. Dr. Magno Valério Trindade Machado possui Graduação em Física pela UFSM (1996), Mestrado em Física (1998) e Doutorado em Física Teórica (2002) pela UFRGS. Atualmente é Professor Adjunto e Membro do Grupo de Fenomenologia de Partículas de Altas Energias do Instituto de Física da UFRGS. É consultor *ad-hoc* das agências de fomento CNPq (Brasil) e CONICYT (Chile) (CNPq, 2014, documento *on-line*). O especialista da FAE foi consultado no dia 09/10/2014 no Instituto de Física da UFRGS.

está sendo investigado e recuperar apenas as publicações de interesse. Na construção da expressão de busca foram utilizados os seguintes rótulos de campo: (CU) para demarcação dos artigos publicados por cientistas brasileiros da FAE; (WC) para delimitação da área de conhecimento dos periódicos indexados pela WoS. Deste modo, a expressão de busca empregada na pesquisa foi: CU=(*Brazil* OR *Brasil*) AND WC=(*Physics, Particles & Fields*). De maneira a restringir mais os resultados do estudo, selecionou-se no campo tipo de documento: *Article*; no campo idioma: *All languages*; no campo tempo estipulado: de 1983 até 2013; no campo índice de citações: SCI-EXPANDED.

A respeito da temporalidade, o estudo de trinta anos (1983-2013) busca atribuir estabilidade e confiabilidade aos resultados bibliométricos, abrangendo um volume considerável de dados referente à pesquisa da FAE brasileira. O período selecionado permite analisar a dinâmica do crescimento da produção científica. Todavia, o ano de 2014 foi excluído da análise visto que a indexação dos artigos feita pela WoS não é automática. Ao mesmo tempo, as informações referentes ao total de documentos citantes da produção científica são mais completas depois de transcorrido um ano da publicação dos artigos.

3.3 COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

A coleta dos dados e *download* dos artigos da produção científica da FAE brasileira foi realizada no dia 17/12/2014 na WoS. Os 6.350 registros bibliográficos recuperados para análise foram importados em lotes de 500, no formato de arquivo de texto (.txt). O *download* dos documentos foi feito com registro completo e referências citadas. Após a importação de todos os arquivos, foi realizada a organização dos dados em um arquivo único (.txt) e a retirada dos artigos duplicados com auxílio do *software* Bibexcel. No primeiro conjunto de dados, não foram identificados registros duplos.

Para a padronização das instituições e países foram utilizadas a Lista de Autoridades do Grupo de Pesquisa Comunicação Científica da UFRGS desenvolvida a partir das teses de Vanz (2009) e Moura (2009) e a Plataforma Lattes do CNPq. A limpeza manual dos nomes das variáveis localizadas no campo C1 dos registros bibliográficos foi realizada mediante as seguintes ações: a) organização alfabética das ocorrências em planilha Excel; b) identificação das instituições e países mediante análise individual; c) constituição de lista padronizada com os termos autorizados e não autorizados; d) execução do *software* Texto Compara para geração do arquivo limpo; e) arranjo dos dados padronizados para realização das análises.

Na primeira análise de frequência de instituições foram identificadas 2.839 ocorrências. Após a padronização de todas as variações coletadas, o número de instituições caiu para 1.175, houve um decréscimo de 41,38%. A entidade nacional com o maior número de variantes e erros de grafia foi o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) do Rio de Janeiro com 37 episódios. Dentre as instituições internacionais, destacou-se o *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* (INFN) da Itália com 130 variações.

No primeiro estudo de frequência de países colaboradores realizado em 24/06/2015 foram identificadas 83 ocorrências. Após a padronização, o número de casos caiu para 77, houve uma redução de 7,23%. Com base na transformação geopolítica do leste europeu, alguns artigos da FAE brasileira foram redistribuídos entre o conjunto de países. Artigos da URSS foram incorporados pela Rússia, Armênia, Ucrânia etc.; da Iugoslávia pela Eslovênia, Croácia, Sérvia e Montenegro; da Checoslováquia pela República Tcheca e Eslováquia. Os artigos da Alemanha Ocidental e Oriental foram agrupados sob o rótulo Alemanha.

Devido ao tamanho da população e ao predomínio de pesquisadores estrangeiros, optou-se por padronizar apenas os nomes dos autores nacionais com maior número de contribuições no período estudado. O cumprimento dos procedimentos referentes à limpeza e à organização dos dados é imprescindível em análises bibliométricas, pois possibilita erradicar problemas vinculados a homonímia; erros de grafia; digitação; não padronização de nomes, instituições e países.

A coleta de dados das citações e *download* das publicações citantes dos artigos da FAE brasileira foi realizada no dia 17/12/2014, logo após a coleta de dados da produção científica da área estudada. Na importação do volume de dados pertencente aos documentos citantes, utilizou-se o mesmo procedimento adotado na organização das informações referente à produção científica. Através do ícone: Criar Relatório de Citações (*Create Citation Report*), identificaram-se 41.648 publicações citantes no período de 1983-2013. No segundo conjunto de dados, foram removidos 496 registros duplos (1,19%), de modo que o *corpus* ficou constituído por 41.152 documentos, incluídas as autocitações.

Com relação ao tratamento dos dados, utilizaram-se os *softwares* Bibexcel, UCINET, Gephi, Philcarto, SPSS e R. O Bibexcel possibilitou as análises descritivas de idioma, ano de publicação, área de conhecimento, periódico, autor, instituição e país. Também foi utilizado para a geração das matrizes de colaboração entre autores, instituições e países. A matriz das 15 entidades nacionais mais produtivas foi convertida para uma matriz de proximidade de distâncias. Posteriormente, realizaram-se as análises multivariadas: Escalonamento Multidimensional (MDS) no SPSS e de Agrupamento (*cluster*) no R. As variáveis autor,

instituição e país ainda foram investigadas por meio de ARS no UCINET. O Gephi permitiu a composição da rede da variável área de conhecimento. O Philcarto foi empregado para a confecção temática do mapa na variável periódico. Através do R, foi possível observar diferentes aspectos da produção científica da FAE na variável ano de publicação. Os resultados obtidos de cada indicador bibliométrico analisado foram transformados em tabelas e gráficos estatísticos no programa Microsoft Office Excel 2007.

O Cosseno de Salton foi a medida de similaridade utilizada para examinar a intensidade dos vínculos entre o Brasil e países coautores. A fórmula empregada para calcular a força de colaboração entre parceiros é a proposta por Luukkonen et al. (1993):

$$S_{xy} = C_{xy} / \sqrt{C_x \times C_y}$$

Onde,

C_{xy} = Número de artigos publicados em coautoria por x e y;

C_x = Número de artigos publicados por x;

C_y = Número de artigos publicados por y.

Conforme a estratégia utilizada por Kretschmer e Rousseau (2001), Vanz (2009) e Calero (2009); este estudo empregou a contagem total, ou seja, um artigo/citação para cada autor, instituição ou país.

3.4 INDICADORES BIBLIOMÉTRICOS

Os indicadores bibliométricos e as variáveis utilizadas em análises métricas das áreas poderão variar conforme os objetivos do estudo e as particularidades do campo observado. No Quadro 5, com base em Vanz (2009, p. 58), apresenta-se a descrição das variáveis dos indicadores, os campos WoS e sua relação com os objetivos específicos da presente investigação.

Quadro 5 - Variáveis dos indicadores gerais e específicos da pesquisa

Objetivo específico	Indicador geral	Indicador específico	Campo WoS
Identificar a produção científica da FAE brasileira com relação: ao idioma, ao ano de publicação, à área de conhecimento, aos periódicos, aos autores e instituições de filiação	<i>Produção</i>	Produtividade dos autores	<i>Author (AU)</i>
		Produtividade das instituições	<i>Author Address (C1)</i>
		Idioma dos artigos	<i>Language (LA)</i>
		Produção científica anual	<i>Year Published (PY)</i>
		Área de assunto dos periódicos	<i>Web of Science Category (WC)</i>
		Periódico dos artigos	<i>Source (SO)</i>
Analisar a coautoria nacional e internacional com relação à sua distribuição geográfica e institucional Analisar a relação entre produtividade e colaboração	<i>Colaboração</i>	Coautoria dos autores	<i>Author (AU)</i>
		Coautoria das instituições	<i>Author Address (C1)</i>
		Coautoria dos países	<i>Author Address (C1)</i>
Examinar o impacto da produção científica por meio das citações recebidas	<i>Impacto</i>	Número de citações dos artigos	<i>Total Times Cited Count (WoS, BCI, CSCD) (Z9)</i>
		Tipo de documento das publicações citantes	<i>Document Type (DT)</i>
		Instituição citante dos artigos	<i>AuthorAddress (C1)</i>
		País citante dos artigos	<i>AuthorAddress (C1)</i>
		Idioma dos documentos citantes	<i>Language (LA)</i>
		Ano de publicação dos documentos citantes	<i>Year Published (PY)</i>
		Área de assunto dos documentos citantes	<i>Web of Science Category (WC)</i>
		Periódico dos documentos citantes	<i>Source (SO)</i>

Fonte: Adaptado de Vanz (2009, p. 58)

3.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

As limitações das pesquisas bibliométricas podem ter influência nos resultados finais de qualquer estudo. Frequentemente, elas encontram-se atreladas aos seguintes fatores: interdisciplinaridade na ciência; delimitação do campo; estratégia de busca; diversidade de classificações das áreas do conhecimento segundo o país, a instituição, a agência de fomento etc.

A respeito da interdisciplinaridade na ciência, hoje em dia, a delimitação de um campo específico é mais difícil visto que a colaboração dá liberdade para publicar em periódicos de outras disciplinas. Como consequência, tem-se maior dispersão da produção científica. A FAE trabalha em colaboração com outros campos como a Engenharia Elétrica, a Engenharia Nuclear, a Matemática, a Física Nuclear e a Astronomia. No caso da WoS, uma revista pode estar indexada em mais de uma categoria de assunto, portanto, a escolha das WCs no momento da definição da estratégia e expressão de busca requer muito cuidado e atenção, já que podem ser recuperados artigos vinculados a outros domínios.

No tocante às classificações das áreas, as mesmas diferem conforme a instituição, o país e o órgão de fomento à pesquisa. Em comparação da tabela da CAPES/CNPq com a lista de categorias de assunto de periódico WC da WoS, observa-se que existem várias especialidades dentro da Física de Partículas Elementares e Campos que não apresentam termos equivalentes. Muitas das vezes, a impossibilidade de adaptação das classificações locais às classificações das bases de dados internacionais pode causar diferenças no número total de registros bibliográficos a serem importados para análise.

4 ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as análises da investigação de acordo com os objetivos predefinidos para este estudo. O conjunto de publicações da FAE brasileira indexado na WoS no período de 1983-2013 foi analisado através de indicadores de produção, colaboração e impacto. Com a intenção de construir indicadores de *output* mais consistentes, os resultados foram comparados com os resultados de pesquisas bibliométricas anteriores e contextualizados com a literatura específica da área abordada.

Os indicadores elaborados foram organizados em três subseções: a primeira e a segunda baseiam-se em um *corpus* de 6.350 artigos e apresentam as análises referentes à produção e à colaboração científica. A terceira subseção baseia-se em um *corpus* de 41.152 artigos e exibe as análises atinentes ao impacto da pesquisa por meio das citações recebidas.

4.1 INDICADORES DE PRODUÇÃO

Nesta subseção apresentam-se os resultados obtidos com relação ao ano de publicação e taxa de crescimento; ao idioma dos documentos; à distribuição dos trabalhos por área de conhecimento, aos periódicos dos artigos; à produtividade dos autores e instituições.

4.1.1 Ano de publicação e crescimento da FAE brasileira (1983-2013)

A produção científica da FAE brasileira indexada na WoS no período de 1983-2013 é constituída por 6.350 artigos, representando uma média de 205 publicações por ano. Ao longo da série temporal, verificou-se uma expressiva discrepância do número de artigos publicados. Em 1983, os periódicos indexados pela WoS publicaram somente 25 trabalhos de pesquisadores brasileiros. Em 2013, a produção atingiu o seu pico máximo, 577 publicações. Confirmou-se o alto grau de dispersão do conjunto de valores analisados em relação à média obtida visto que, o desvio padrão foi registrado em 145. Mediante análise da distribuição das medidas, percebeu-se a variabilidade e a heterogeneidade do número de publicações no período. Em termos de volume, a média se mostra superior às 77 publicações por ano apresentadas por Collazo-Reyes e Luna-Morales (2002) para a produção científica da Física de Partículas Elementares mexicana (FMPE) em um período de trinta anos (1971-2000). Na Tabela 1, apresenta-se a distribuição dos artigos publicados por ano, o crescimento acumulado das publicações, a taxa de crescimento anual e as variações da produção entre anos contínuos.

Tabela 1 - Produção científica da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)

Ano de publicação	Nº de artigos	Taxa de crescimento (%)	Publicações acumuladas por ano	Crescimento acumulado por ano (%)	Variações por ano
1983	25	..	25	0,39	25
1984	32	28	57	0,89	7
1985	30	-6,25	87	1,36	-2
1986	47	56,66	134	2,10	17
1987	39	-17,02	173	2,71	-8
1988	44	12,82	217	3,40	5
1989	93	111,36	310	4,86	49
1990	54	-41,93	364	5,71	-39
1991	73	35,18	437	6,86	19
1992	112	53,42	549	8,62	39
1993	97	-13,39	646	10,15	-15
1994	123	26,80	769	12,09	26
1995	135	9,75	904	14,22	12
1996	153	13,33	1.057	16,63	18
1997	190	24,18	1.247	19,62	37
1998	221	16,31	1.468	23,10	31
1999	251	13,57	1.719	27,05	30
2000	231	-7,96	1.950	30,69	-20
2001	244	5,62	2.194	34,53	13
2002	308	26,22	2.502	39,38	64
2003	265	-13,96	2.767	43,55	-43
2004	300	13,20	3.067	48,27	35
2005	260	-13,33	3.327	52,36	-40
2006	274	5,38	3.601	56,67	14
2007	349	27,37	3.950	62,17	75
2008	283	-18,91	4.233	66,63	-66
2009	271	-4,24	4.504	70,90	-12
2010	309	14,02	4.813	75,77	38
2011	448	44,98	5.261	82,83	139
2012	512	14,28	5.773	90,89	64
2013	577	12,69	6.350	100,00	65
Total	6.350	14,27 (média)	..	..	..

Fonte: dados da pesquisa

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Constatou-se um significativo crescimento da atividade científica da FAE brasileira ao longo do período. Velho (1997) entende que o desempenho de uma área de conhecimento (tipo de artigo produzido e canal de comunicação utilizado) envolve fatores históricos,

políticos, econômicos e sociais do país onde a pesquisa científica é praticada. Considerando o pensamento da autora, buscou-se relacionar esse indicador de produção com outros indicadores referentes aos grupos de pesquisa e programas de pós-graduação da área estudada.

As taxas de crescimento mais elevadas foram registradas em 1986 (56,66%), 1989 (111,36%) e 1992 (53,42%). Por outro lado, identificaram-se nove ocorrências com valores negativos: três de 1983 a 1992, duas de 1993 a 2002 e quatro de 2003 a 2013. A ampliação do número de periódicos brasileiros indexados na WoS no período de 2007-2008 e o consequente incremento observado na produção científica brasileira não afetou à área já que foi observada uma taxa de crescimento negativa em 2008 (-18,91%). As análises de idioma e periódico apresentadas a seguir confirmam a independência da FAE quanto aos veículos nacionais. Entretanto, a FAE brasileira demonstrou uma recuperação e um crescimento ininterrupto do número de publicações nos anos subsequentes. A criação de novos grupos de pesquisa CNPq, a maior participação nas colaborações internacionais, o acréscimo de recursos financeiros e a instituição da RENAF AE em 2008 podem ter sido fatores determinantes para o incremento do volume de trabalhos nesses anos e, conseqüentemente, para a expansão da atividade na área.

O número de ocorrências com valores negativos no período analisado não interferiu no crescimento da pesquisa na FAE, visto que a média anual da taxa foi de 14,27%. A média se mostra superior aos 10,7% exibidos por Almeida e Guimarães (2013) para a produção científica brasileira no período de 1980-2010, aos 6,40% e 6,76% encontrados por Calero (2009) para a produção científica da Física de Partículas espanhola indexada no SCI e arXiv entre 2000 e 2005 e aos 5,9% e 6,8% apresentados por Vanz (2009) para o conjunto de publicações nacionais nos períodos de 2004-2005 e 2005-2006 respectivamente. A taxa de crescimento da FAE também é superior aos 12,5% revelados por Vanz (2009) para os artigos da Física brasileira publicados entre 2004-2006.

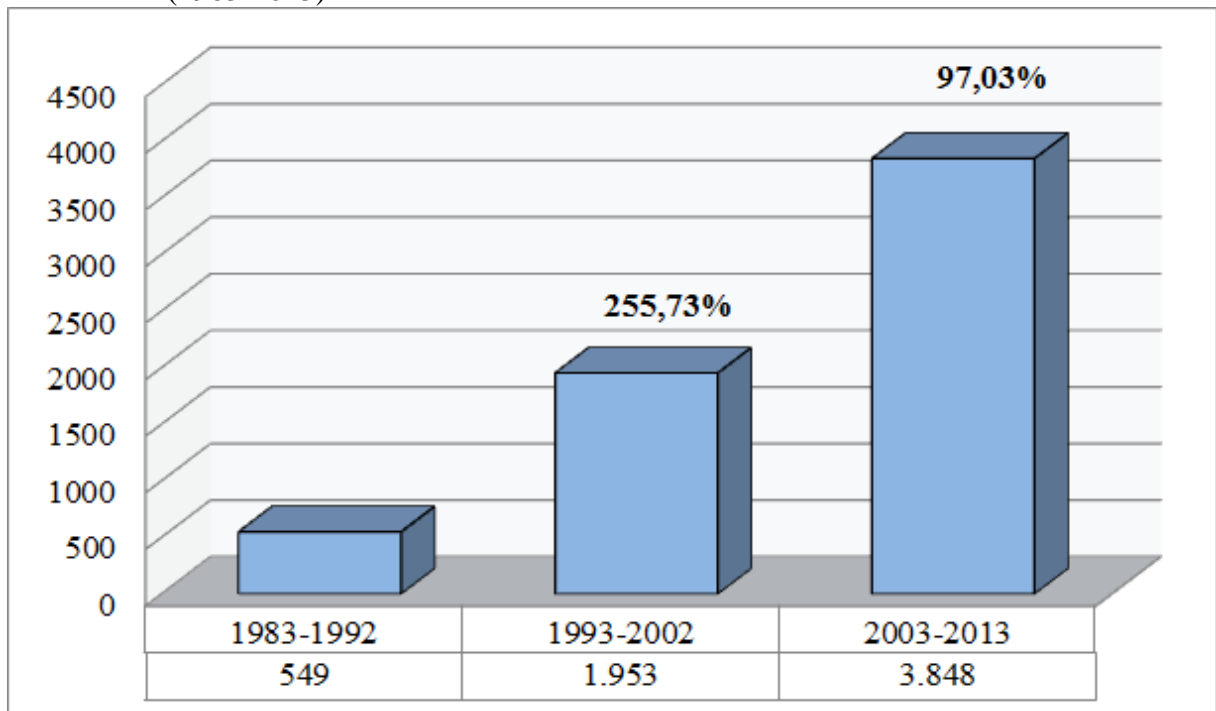
Os acréscimos e decréscimos (variações) da produção científica entre anos contínuos mostraram uma taxa média de crescimento de 18,61 trabalhos por ano. A média se mostra superior aos 9,7 apresentados por Collazo-Reyes e Luna-Morales (2002) para os trabalhos publicados pela comunidade científica mexicana no período de 1971-2000.

O crescimento do volume de publicações da FAE brasileira tornou-se mais notório quando o produto resultante da atividade científica foi agrupado em períodos de dez anos (1983-1992, 1993-2002, 2003-2013¹²). O primeiro representa 8,62% (549 artigos), o segundo

¹² Período constituído por onze anos.

30,76% (1.953 artigos) e o terceiro 60,62% (3.848 artigos) da produção total. Constatou-se um marcante aumento do número de publicações no período de 1993-2002, visto que a taxa de crescimento com relação ao período anterior foi de 255,73%. Embora a alíquota tenha diminuído para 97,03% em 2003-2013, a produção quase duplicou no último período. No Gráfico 1, apresenta-se a distribuição das publicações da produção científica da FAE brasileira por períodos e as taxas de crescimento de cada um deles.

Gráfico 1 - Número de artigos da FAE brasileira por série temporal e taxa de crescimento (1983-2013)



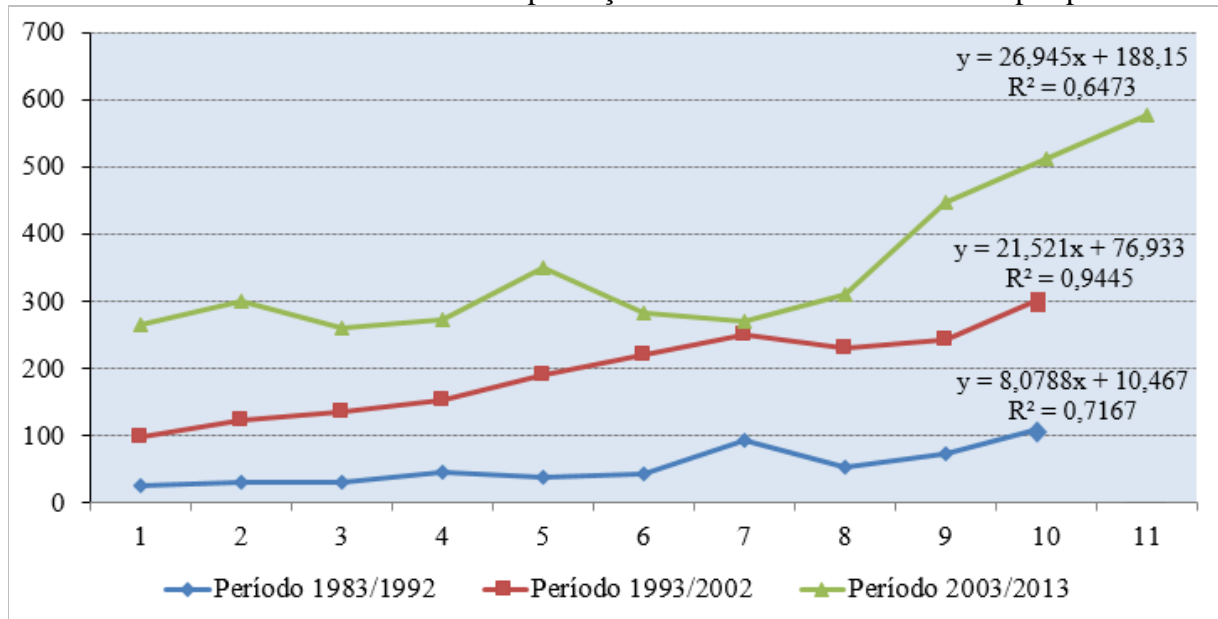
Fonte: dados da pesquisa

Mediante análise das variáveis registradas no período de 1983-2013, comprovou-se que o crescimento observado se ajusta ao modelo de regressão linear, tendo-se um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,8855. Esse indicador mostra que no volume de dados examinados, 88% da variável dependente (artigos) pode ser explicada por uma relação linear com a variável independente (ano de publicação). Apesar da oscilação de valores referente aos artigos publicados anualmente, houve um crescimento constante da produção científica da FAE brasileira na série temporal estimada. Também, verificou-se a dispersão das publicações da área, 40% nos primeiros vinte anos (1983-2002) e 60% nos últimos dez (2003-2013).

O crescimento de cada uma das séries temporais analisadas também foi ajustado ao modelo de regressão linear, resultando valores da pendente 'y' e coeficiente de determinação (R^2) respectivamente de 8,07 e 0,7167 (1983-1992); 21,5 e 0,9445 (1993-2002); 26,9 e 0,6473

(2003-2013). Os três períodos apresentaram dinâmicas de produção diferentes, no entanto, eles exibiram taxas de crescimento com valores positivos. No Gráfico 2, aprecia-se a dinâmica do crescimento da produção científica da FAE brasileira por períodos ajustada à linha de tendência linear.

Gráfico 2 - Dinâmica de crescimento da produção científica da FAE brasileira por períodos



Fonte: dados da pesquisa

Quanto à evolução da pesquisa, o terceiro período da FAE brasileira (2003-2013) mostra uma aceleração no crescimento da produção científica, coincidindo com os resultados obtidos por Collazo-Reyes e Luna-Morales (2002) para o terceiro período da FMPE (1991-2000). Entretanto, a quantidade de trabalhos acumulados da FAE é menos representativa nessa série temporal, 60,62% contra 75% da produção total da FMPE. Além disso, o período de 2003-2013 apresentou o maior número de decréscimos por ano (2003, 2005, 2008, 2009). A partir do valor mostrado por R^2 , considerou-se sua taxa de crescimento a mais irregular.

A respeito da atividade científica da FAE brasileira, realizou-se uma busca no DGP/CNPq a fim de distinguir os grupos cadastrados e suas áreas de atuação. De tal modo, examinou-se no diretório por nome do grupo, nome e palavra-chave da linha de pesquisa, sendo utilizadas as expressões: “Física de Altas Energias” e “Física de Partículas e Campos”. As áreas, as instituições e os grupos de pesquisa CNPq da FAE brasileira podem ser observados no APÊNDICE A e APÊNDICE B deste trabalho. A coleta de dados ocorreu no dia 01/10/2014.

Identificaram-se 28 grupos, 23 correspondem à área da Física, 2 à Engenharia Elétrica, 2 à Engenharia Nuclear, 1 à Matemática. Os campos mencionados encontram-se inseridos dentro da grande área Ciências Exatas e da Terra. Observou-se pouca dispersão da FAE nas diferentes áreas do conhecimento. Embora o campo estudado tenha um viés multidisciplinar, corroborou-se que a maior parte da pesquisa científica acontece dentro da área da Física, no entanto, outras ciências contribuem para o seu desenvolvimento. Na Tabela 2, aprecia-se a distribuição dos grupos da FAE brasileira cadastrados no DGP/CNPq por área do conhecimento.

Tabela 2 - Distribuição dos grupos de pesquisa CNPq da FAE brasileira por área

Área	N. de grupos	%	Σ%
Física	23	82,15	82,15
Engenharia Elétrica	2	7,15	89,30
Engenharia Nuclear	2	7,15	96,45
Matemática	1	3,55	100,00
Total	28	100,00	..

Fonte: DGP (2014)

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

O desenvolvimento da FAE brasileira também pode ser confrontado com o aumento do número de grupos de pesquisa CNPq observado no período de 1983-2013¹³. Apesar de existirem programas de pós-graduação com linhas de investigação desde a década de 1960, constatou-se que no início de 1980 a quantidade de grupos constituídos era escassa, visto que até 1983 foram identificadas no DGP/CNPq apenas duas instituições, USP (1972) e UNICAMP (1980). Presume-se que o aumento da colaboração científica, o maior financiamento, a criação do MCT e os avanços tecnológicos foram fatores decisivos para o incremento de novos grupos, sendo que no período de 1983-1992 foram formados mais quatro. Percebeu-se que no período de 1993-2002 houve uma ampliação de instituições brasileiras envolvidas com a pesquisa na FAE. Nessa série temporal foram constituídos sete grupos, representando 25,92% do total localizado no DGP/CNPq. Vieira e Videira (2011) explicam que apesar da mudança na organização da pesquisa científica e do aumento da colaboração, no Brasil e outros países periféricos, a física até a segunda metade da década de 1990 foi feita geralmente em pequenos grupos. No período de 2003-2013, comprovou-se um crescimento significativo de instituições, principalmente universidades públicas, já que o

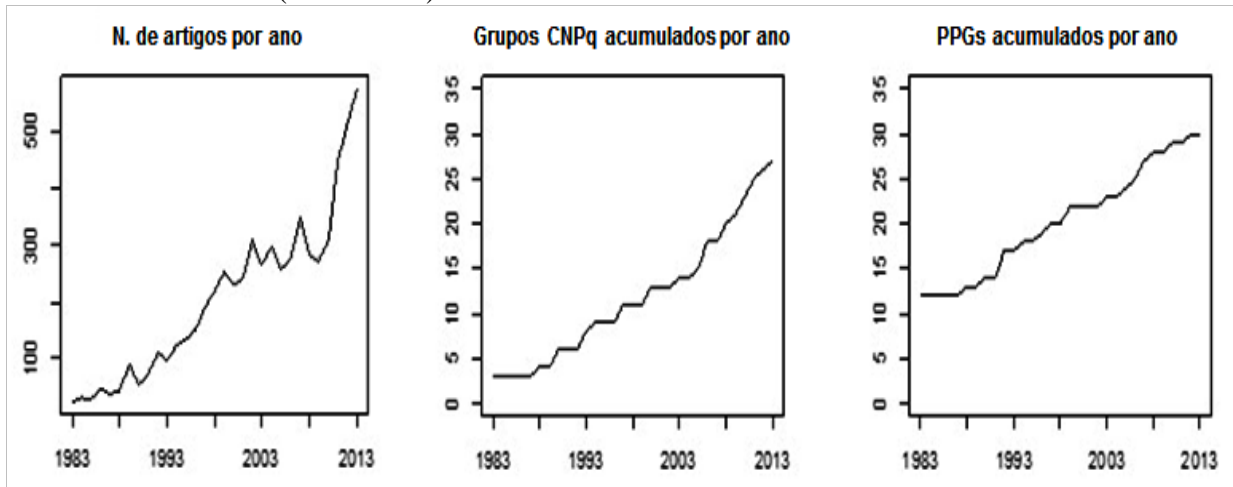
¹³ Informações referentes aos 28 grupos de pesquisa da FAE brasileira identificados no DGP/CNPq no dia 01/10/2014.

número de grupos duplicou com relação à série temporal anterior, representando mais da metade da totalidade encontrada no DGP/CNPq, 51,85%. Notou-se que o maior incremento aconteceu no período de 2008-2013, nove instituições. Entende-se que o setor mais produtivo da FAE brasileira é a universidade, coincidindo com os resultados de Calero (2009) para a produção científica espanhola de Física indexada no SCI no período de 2000-2005.

A expansão dos programas de pós-graduação em Astronomia e Física e o consequente aumento do número de titulados em cursos de doutorado, mestrado acadêmico e mestrado profissionalizante também são fatores a serem considerados na avaliação do crescimento de publicações nacionais na FAE¹⁴. O CBPF foi a instituição pioneira na pesquisa experimental e teórica no Brasil, criando o primeiro programa de pós-graduação com cursos de mestrado e doutorado em 1962. Nos anos subsequentes, a atividade científica e a formação de recursos humanos se concentraram principalmente em universidades públicas da região Sudeste, sendo que foram estabelecidos mais quatro programas na década de 1960 e oito na década de 1970. Nos anos de 1980, foi criado somente um programa com linha de pesquisa FAE na região Sul, significando que a elaboração de indicadores de produção científica e o desenvolvimento de novos profissionais continuou em mãos da região Sudeste, como consequência do maior apoio financeiro dos órgãos locais de fomento à pesquisa. Na década de 1990, registrou-se um aumento considerável do número de programas (nove) e uma lenta descentralização da atividade científica em decorrência de ações promovidas por agências do governo federal, como CNPq, CAPES e FINEP (FAPESP, 2011). Esse indicador pode justificar o melhor ajuste ao modelo de regressão linear do período de 1993-2002. Na década de 2000; o crescimento manteve-se estável, acréscimo de nove programas de pós-graduação; entretanto, houve uma ampliação do número de instituições participantes das regiões Sul, Nordeste e Norte na pesquisa da FAE. Na Figura 1, observa-se um crescimento contínuo tanto do número de publicações anuais quanto do número de grupos CNPq e PPGs na série temporal analisada. De fato, o aumento da produtividade da área pode ter sido consequência da expansão da pesquisa a partir da criação de novos programas de pós-graduação e comunidades científicas. Da mesma forma, a ampliação do número de bolsas e incentivos, a maior cobertura das bases de dados internacionais e o incremento dos trabalhos em coautoria podem ter contribuído para o desenvolvimento da disciplina no âmbito nacional.

¹⁴ Informações referentes aos 30 programas de pós-graduação em Física e Astronomia com linhas de pesquisa FAE identificados na Avaliação Trienal da CAPES 2013 no dia 26/02/2015.

Figura 1 - Dinâmica de crescimento das publicações anuais, grupos CNPq e PPGs da FAE brasileira (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

Percebe-se que a instituição da RENAFAE em 2008 por parte do MCT foi significativa para a área visto que o número de publicações e grupos CNPq aumentou consideravelmente a partir desse ano. Embora o crescimento do número de PPGs tenha sido menos acentuado, considera-se que houve uma consolidação e ampliação dos programas com linhas de pesquisa em FAE. Segundo o CBPF (2011), a RENAFAE tem desempenhado um papel articulador fundamental para as colaborações brasileiras nos programas internacionais, como os experimentos realizados no CERN (Suíça) e Observatório Pierre Auger (Argentina). Com o objetivo de promover o avanço científico e tecnológico das investigações sobre partículas, a Rede coordena o processo de negociações para o Brasil se tornar um País Membro Associado do CERN.

4.1.2 Idiomas das publicações da FAE brasileira (1983-2013)

O estudo da distribuição dos idiomas dos 6.350 artigos publicados por pesquisadores brasileiros da FAE e indexados na WoS no período de 1983-2013 mostra uma baixa dispersão da produção por língua, sendo identificados somente três: inglês, francês e galês. Dentre eles, observou-se a prevalência absoluta do idioma inglês, já que foi utilizado em 99,98% (6.348 artigos) da totalidade de publicações. O francês e o galês, com um artigo cada um, representam apenas 0,02% da produção científica. Além disso, salienta-se que não foram identificados documentos escritos em português.

A predominância do idioma inglês nas publicações científicas demonstra um alto nível de internacionalização da FAE brasileira. Nesse sentido, o Relatório de Avaliação Trienal

2013 da CAPES cita que os primeiros doutores na Física-Astronomia foram formados no exterior e que a totalidade de revistas que são veículos de publicação da área são internacionais com artigos escritos na língua inglesa (CAPES, 2013b). Historicamente, a FAE tem priorizado os periódicos em inglês como canal de comunicação dos resultados das investigações. Aman (2013) comprovou que apenas seis revistas editadas nesse idioma (quatro europeias e duas norte-americanas) publicam a maioria dos artigos do campo.

Meadows (1999) afirma que em disciplinas onde a atividade de pesquisa é internacional, como no caso da FAE, a maioria dos periódicos de grande prestígio é redigida em inglês e que o uso dessa língua nas publicações é uma necessidade para aqueles que almejam alcançar maior visibilidade, número de citações e impacto, reconhecimento pelos pares e participação nas redes de colaboração científica. Packer (2011) enfatiza que no contexto de pesquisa global, que tem o inglês como língua franca da comunicação científica, o português representa uma barreira para a visibilidade e o uso internacional da produção brasileira. A escolha do canal de comunicação e idioma de publicação depende das particularidades de cada área e do objeto de estudo, sendo que os pesquisadores das Ciências Exatas, dentre elas a Física, preferem os veículos em língua estrangeira (VELHO, 1997).

A alíquota de publicações escritas em inglês da FAE local é superior aos 99,71% apresentados por Calero (2009) para a produção científica da Física espanhola no SCI (2000-2005); aos 97,6% por Moura (2009) para os artigos da Biotecnologia brasileira no SCI (2001-2005); aos 93,1% por Vanz (2009) para o conjunto de publicações de autores nacionais no SCI (2004-2006) e aos 80% por Leta (2011) para os artigos brasileiros indexados na Scopus e WoS (1969-2010). Os altos valores exibidos pelos estudos bibliométricos citados revelam a hegemonia do inglês como “idioma científico” internacional (MUGNAINI; JANNUZZI; QUONIAM, 2004).

4.1.3 Áreas temáticas da produção científica da FAE brasileira (1983-2013)

A análise das publicações científicas da FAE brasileira por temática foi realizada por meio do campo WC e teve como finalidade a classificação dos registros bibliográficos coletados na WoS pelo assunto dos periódicos utilizados. Salienta-se que um mesmo trabalho pode ser qualificado em mais de uma categoria, motivo pelo qual o somatório das ocorrências identificadas não corresponde ao total de artigos da produção científica da FAE recuperados através da WC *Physics, Particles & Fields*, 6.350 documentos. Na Tabela 3, visualiza-se a

distribuição dos artigos por categoria de assunto dos periódicos indexados na WoS, o número de ocorrências e o percentual equivalente.

Tabela 3 - Distribuição dos artigos da FAE brasileira por categoria de assunto da WoS (1983-2013)

Categoria de assunto WC	Área [1]	N. artigos	%
Astronomia & Astrofísica	Geociências e C. Espaciais	3.003	45,63
Física Nuclear	Física	1.228	18,66
Física Multidisciplinar	Física	556	8,45
Ciência & Tecnologia Nuclear	Engenharia	442	6,72
Instrumentos & Instrumentação	Física	435	6,61
Espectroscopia	Química	435	6,61
Física Matemática	Física	410	6,23
Ciência da Computação, Teoria & Métodos	Engenharia	42	0,64
Meteorologia & Ciências Atmosféricas	Geociências e C. Espaciais	7	0,11
Geociências Multidisciplinar	Geociências e C. Espaciais	7	0,11
Engenharia Aeroespacial	Geociências e C. Espaciais	7	0,11
Física de Fluidos e Plasmas	Física	6	0,09
Ciência dos Materiais Multidisciplinar	Química	1	0,01
Física Aplicada	Física	1	0,01
Física da Matéria Condensada	Física	1	0,01
Total	..	6.581	100,00

Fonte: dados da pesquisa

Legenda: [1] conforme classificação de áreas da ciência desenvolvida por Glänzel e Schubert (2003).

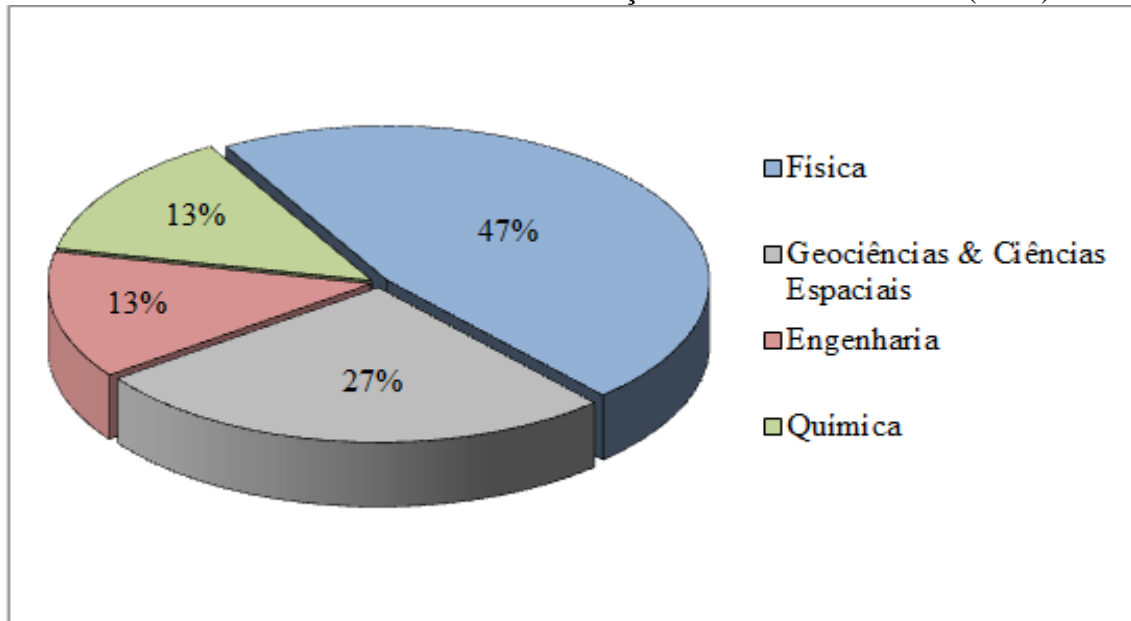
Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Apesar do aspecto multidisciplinar e da complexidade da pesquisa na FAE brasileira, dado que os artigos da sua produção científica também foram indexados por periódicos de outras disciplinas, verificou-se uma baixa dispersão das publicações no período abrangido. Esse indicador demonstra que o campo abordado costuma centralizar os resultados das investigações em um número reduzido de periódicos especializados. No estudo da classificação de área dos documentos, identificaram-se 15 categorias de assunto WC. Na análise da distribuição dos registros bibliográficos, observou-se que a categoria Astronomia & Astrofísica é a mais representativa nas publicações da FAE nacional, 45,63% do total de ocorrências. Outras divisões com destacada participação são Física Nuclear, 18,66%; Física Multidisciplinar, 8,45%; Ciência & Tecnologia Nuclear, 6,72%; Instrumentos & Instrumentação, 6,61%; Espectroscopia, 6,61% e Física Matemática, 6,23%. Contrariamente, um grupo constituído por oito categorias (Ciência da Computação, Teoria & Métodos; Meteorologia & Ciências Atmosféricas; Geociências Multidisciplinar; Engenharia

Aeroespacial; Física de Fluidos e Plasmas; Ciência dos Materiais Multidisciplinar; Física Aplicada; Física da Matéria Condensada) evidenciou baixa representatividade, 1,09% da totalidade de casos. A maior presença da Astronomia & Astrofísica e Física Nuclear significa que existe uma forte relação entre a produção científica da FAE brasileira e os assuntos vinculados às categorias mencionadas.

Ao investigar a distribuição das 15 categorias de assunto vinculadas à produção científica da FAE brasileira por área do conhecimento conforme a classificação proposta por Glänzel e Schubert (2003), constatou-se o alto protagonismo da Física, 47% do total de ocorrências. Outras áreas apresentaram menor participação, sendo elas, Geociências e Ciências Espaciais, 27%; Engenharia e Química, 13% cada uma. Em consulta às tabelas de classificação da CAPES/CNPq, averiguou-se que três campos pertencem à grande área Ciências Exatas e da Terra (Física, Geociências e Ciências Espaciais, Química) e um à grande área Engenharias (Engenharia). A intensidade da área da Física nas categorias de assunto WC identificadas pode ser ratificada com a quantidade de programas de pós-graduação com linhas de pesquisa FAE e de grupos CNPq cadastrados, 30 e 23 respectivamente. A relevância da Geociências e Ciências Espaciais é sustentada pelos PPGs em Astrofísica do INPE e em Astronomia da UFRJ. Na área da Engenharia, destacam-se as atividades dos grupos do CNEN (Eng. Nuclear), CEFET/RJ e UFRJ (Eng. Elétrica). A Química, com predominância da categoria de assunto Espectroscopia, encontra-se igualmente abrangida pelos programas associados à FAE nacional. No Gráfico 3, aprecia-se o agrupamento das categorias de assunto WC por área de conhecimento.

Gráfico 3 - Distribuição de frequência das categorias de assunto WC por área de conhecimento conforme classificação de Glänzel e Schubert (2003)



Fonte: dados da pesquisa

A classificação de um artigo em mais de uma WC revela o caráter interdisciplinar da ciência e a dispersão temática dentre as áreas do conhecimento. Em análise das 15 categorias de assunto identificadas neste estudo, Machado (2015) afirma que há uma estreita relação entre elas e a produção científica da FAE brasileira indexada em periódicos abrangidos na WC *Physics, Particles & Fields*.

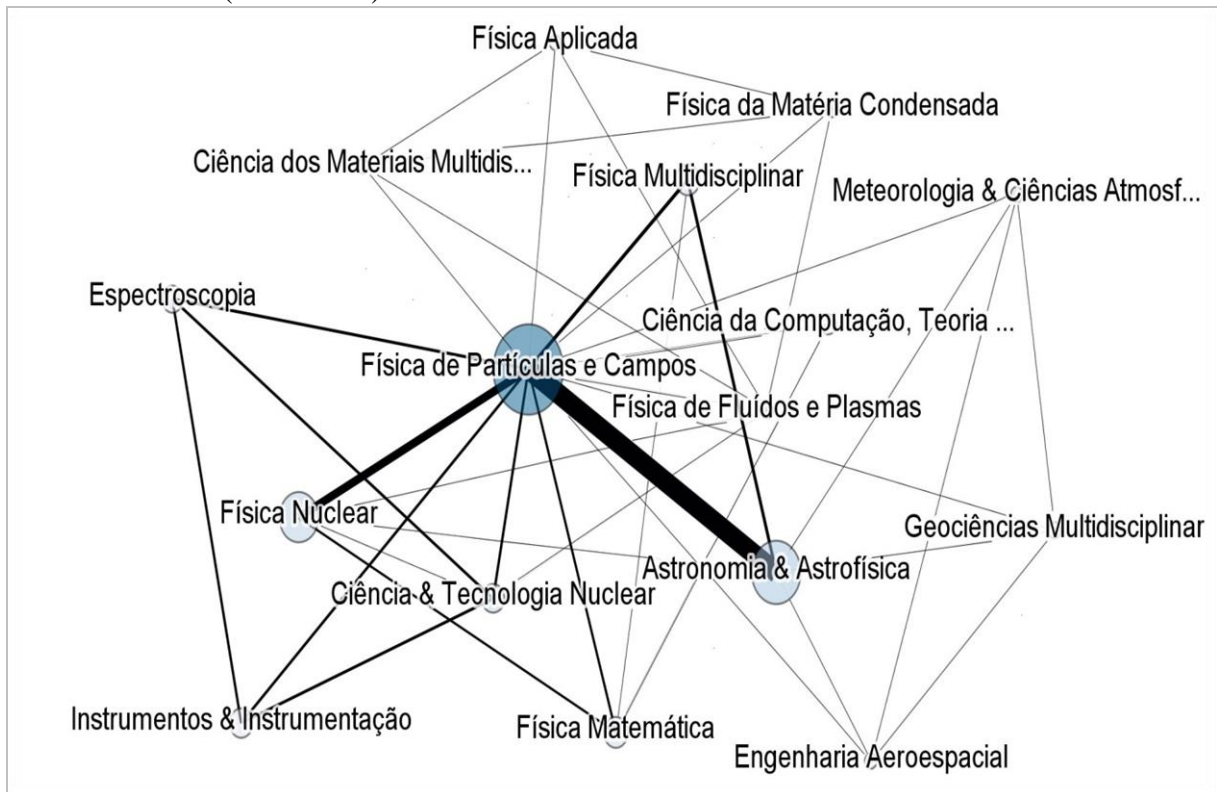
A participação da Astronomia & Astrofísica e da Física Nuclear nas publicações da FAE brasileira decorre não somente da significativa influência de ambas no contexto histórico, mas também do desenvolvimento da pesquisa no âmbito nacional e internacional. Considerada em princípio como parte da Física Nuclear, a FAE é um dos campos mais importantes de investigação básica das ciências físicas (COLLAZO-REYES; LUNA-MORALES, 2002). Vieira e Videira (2007) acrescentam que a Física de Partículas surgiu como disciplina autônoma na década de 1940, sendo que sua trajetória foi marcada pela descoberta do *méson pi* através da técnica de emulsões nucleares (tipos de fotografias empregadas na Física Nuclear). Os autores afirmam que com a chegada das “grandes máquinas” na década de 1950, os dados relativos à Física de Partículas deixaram de vir da área de raios cósmicos (Astronomia & Astrofísica) e passaram a ser fornecidos por aceleradores. A intensa relação entre as duas categorias WC citadas e a FAE, é ratificada por Machado (2015) ao mencionar alguns campos de trabalho de interesse mútuo, sendo eles: matéria escura, reações de partículas em estrelas, erupções de raios gama, radiação cósmica de fundo, áxions, neutrinos, *big bang*, astropartículas (Astronomia & Astrofísica) e

propriedades das partículas, colisões de íons pesados, reações em estrelas, decaimentos (Física Nuclear).

Outras WCs com realce nas publicações de autores brasileiros da FAE foram: Física Multidisciplinar; Ciência & Tecnologia Nuclear; Instrumentos & Instrumentação; Espectroscopia; Física Matemática; Ciência da Computação, Teoria & Métodos. Com relação à Física Multidisciplinar, trata-se de uma categoria mais geral que permeia diversas linhas temáticas da área. A WC Ciência & Tecnologia Nuclear pode ser associada aos métodos de detecção e controle de reações nucleares. A categoria Instrumentos & Instrumentação refere-se aos equipamentos concebidos para uso científico e é razoável vinculá-la à FAE por intermédio dos detectores e aceleradores de partículas utilizados nos grandes experimentos (CHAVES; SHELLARD, 2005). Ainda, os autores destacam a importância dos *softwares* empregados para coletar, analisar e transmitir os dados produzidos por esses equipamentos, citando como exemplo, o sistema de comunicação inventado no CERN, a *World Wide Web*. A Espectroscopia é a medida dos números quânticos das partículas e encontra-se vinculada à FAE através dos seguintes assuntos: espectroscopia hadrônica, leis de conservação e simetrias, estados ligados e estados excitados. A Física Matemática é uma área de estudo ligada à Física Teórica que utiliza a Matemática para resolução de problemas (SBF, 1987). Conforme Machado (2015) é possível relacioná-la à FAE por meio dos subsequentes tópicos: modelos teóricos para partículas, Teoria de Grupos, Teoria de Gauge, Teoria Quântica de Campos, eletrodinâmica quântica, cromodinâmica quântica, Teoria Eletrofraca, modelo padrão das partículas. Por último, a Ciência da Computação, Teoria & Métodos inclui processos estatísticos, algoritmos e estruturas de dados nas pesquisas científicas e pode ser vinculada à FAE através dos temas: simulações de eventos, técnicas de Monte Carlo, técnicas de aproximação numérica.

Em avaliação dos vínculos estabelecidos entre as categorias de assunto WC presentes na produção científica da FAE brasileira, realizou-se uma análise de agrupamento através do número de ocorrências das áreas dos periódicos. Na Figura 2, observam-se WCs agrupadas em *clusters* conforme características em comum e o grau de centralidade da categoria principal *Physics, Particles & Fields* dentro do grafo.

Figura 2 - *Clusters* de WCs presentes na produção científica da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

A partir de análise da estrutura da rede, identificaram-se cinco *clusters* no período estudado. Cada agrupamento é composto por uma série de nós (WCs) conectados através de laços (periódicos científicos). Observou-se um nível baixo de conexão entre os sujeitos, visto que a densidade do grafo é de 0,317. A distribuição dos atores foi realizada com auxílio do algoritmo Fruchterman Reingold disponível no Gephi. Algumas WCs foram deslocadas para evitar a sobreposição de nós. O tamanho dos sujeitos e a intensidade dos laços correspondem ao grau de popularidade e à força dos vínculos das WCs. O primeiro *cluster* inclui a categoria utilizada na estratégia de busca *Physics, Particles & Fields* e une áreas historicamente próximas à FAE como, por exemplo, a Física Nuclear. Outros campos com participação ativa nas pesquisas experimentais, como a Física Matemática e a Ciência da Computação foram vinculados neste grupo. O segundo *cluster* abrange as quatro disciplinas com menor presença nas publicações da FAE (Física de Fluidos e Plasmas, Ciência dos Materiais Multidisciplinar, Física Aplicada, Física da Matéria Condensada). O terceiro *cluster* mostra a colaboração com as áreas técnicas (Espectroscopia) e instrumentais (aceleradores, detectores etc.). O quarto *cluster* apresenta categorias WC com ligações fracas de conexão nos círculos da Engenharia

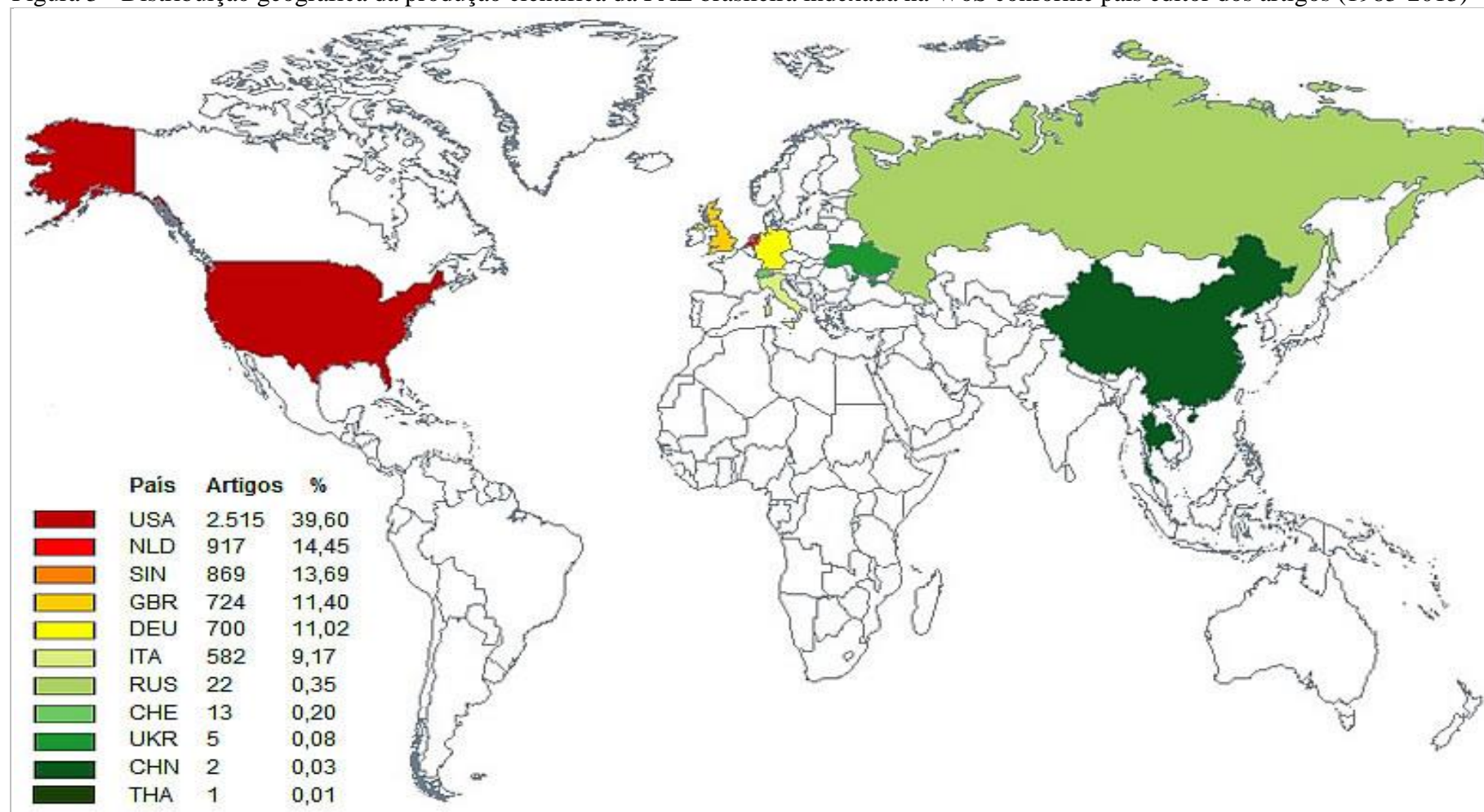
Aeroespacial, Geociências e Meteorologia. Por último, o quinto *cluster* contém a disciplina com maior representatividade nos trabalhos da FAE nacional, a Astronomia & Astrofísica.

4.1.4 Periódicos da produção científica da FAE brasileira (1983-2013)

A produção científica total da FAE brasileira indexada na WoS no período de 1983-2013 (6.350 artigos) foi publicada em 35 periódicos de 11 países diferentes. Aprecia-se uma baixa dispersão das publicações da área nas revistas abrangidas pela WC *Physics, Particles & Fields*, com média de 181,42 documentos por periódico. Observou-se que a totalidade dos artigos está concentrada em veículos internacionais especializados de língua inglesa (três multilíngues). Dentre as revistas estrangeiras mais utilizadas pelos pesquisadores sobressaíram-se os títulos editados na Europa (Alemanha, Inglaterra, Holanda, Itália, Rússia, Suíça, Ucrânia), responsáveis pela publicação de 2.963 artigos, 46,67% do total da produção. Por outro lado, as publicações em periódicos norte-americanos somaram 2.515 documentos, 39,60% da totalidade de ocorrências. Já as publicações em veículos asiáticos (Singapura, China, Tailândia) contabilizaram 872 trabalhos, 13,73% do total de eventos. Nota-se que um número pequeno de países é responsável pela edição das publicações, com média de 577 artigos por país. Os resultados mostraram a supremacia dos EUA com relação à quantidade de periódicos editados, 10 títulos, 28,58% do total de casos. A continuação, destacaram-se Inglaterra com 5 títulos (14,29%); Alemanha e Holanda com 4 cada um (11,42%); Singapura com 3 (8,58%); Itália, Rússia e China com 2 cada um (5,71%); Suíça, Ucrânia e Tailândia com 1 cada um (2,86%). A internacionalização da FAE brasileira, medida pela publicação de artigos em periódicos estrangeiros e pelo uso do idioma inglês, torna-se mais evidente dado que não foram identificados títulos de revistas nacionais.

Em análise da internacionalização da pesquisa científica brasileira por intermédio das publicações em revistas estrangeiras no período de 1997-2004; Leite, Mugnaini e Leta (2011) constataram que quanto mais experimental e/ou tecnológica é a disciplina, maior é a fração de cientistas com perfil altamente internacional. As Ciências Exatas e da Terra (incluída a FAE), a Biologia e a Engenharia foram os campos que apresentaram os índices mais elevados. Os autores entendem que para alcançar um perfil altamente internacional, as áreas precisam publicar entre 80% e 100% dos trabalhos em periódicos estrangeiros de língua inglesa, comportamento observado na FAE brasileira. Na Figura 3, constata-se a alta concentração das publicações dos cientistas nacionais em revistas editadas na Europa e nos Estados Unidos.

Figura 3 - Distribuição geográfica da produção científica da FAE brasileira indexada na WoS conforme país editor dos artigos (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

Legenda: Estados Unidos (USA), Holanda (NLD), Singapura (SIN), Inglaterra (GBR), Alemanha (DEU), Itália (ITA), Rússia (RUS), Suíça (CHE), Ucrânia (UKR), China (CHN), Tailândia (THA).

Nota: As siglas dos países foram obtidas mediante consulta à norma ISO 3166.

A baixa distribuição das revistas indexadas pela WoS na FAE pode ser confirmada perante a inaplicabilidade da Lei de Bradford. A lei de dispersão dos documentos sobre um determinado assunto em periódicos científicos pode ser enunciada da seguinte maneira:

[...] se os jornais científicos forem ordenados em ordem da produtividade decrescente de artigos sobre um determinado assunto, poderão ser distribuídos num núcleo de periódicos mais particularmente dedicados a esse assunto e em diversos grupos ou zonas contendo o mesmo número de artigos que o núcleo, sempre que o número de periódicos do núcleo e das zonas sucessivas for igual a $1:n:n^2...$ (BRADFORD, 1953, p. 209).

Na opinião de Pinheiro (1983), Bradford fundamentou sua pesquisa no princípio de unidade da ciência, pelo qual toda área relaciona-se, mais ou menos remotamente, com outra área qualquer. Assim, os artigos especializados aparecem não apenas nas revistas do seu círculo, mas ocasionalmente, em outras. Em estudo da dispersão do conjunto de veículos utilizados para publicação dos trabalhos da FAE brasileira, percebeu-se que a área contém periódicos de finalidade clara e razoavelmente relacionados com o assunto investigado. A expressiva centralização da sua produção científica em um seletivo grupo de revistas especializadas impede estabelecer com precisão o núcleo e as zonas de distribuição proferidas na Lei de Bradford. A alta média de artigos por periódico e a moderada interdisciplinaridade apresentadas permitiram entender que poucas revistas especializadas possuem muita relevância na comunicação científica do campo abordado. A baixa alíquota de periódicos que publicaram entre 1 e 5 artigos (28,50%) confirmam a escassa expansão da pesquisa em revistas de outras áreas. Além disso, comprovou-se que o núcleo maior de periódicos é formado por aqueles mais produtivos.

A respeito da distribuição dos artigos nacionais por revista, constatou-se a importância, em termos de produtividade, dos veículos de maior tradição na área como *Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics*, *European Physical Journal C* e *Nuclear Physics B*. Ao mesmo tempo, evidenciou-se uma alta concentração de publicações em poucos periódicos de alto FI, 70% dos artigos em seis títulos. A alíquota se mostra inferior aos 83% apresentados por Mele et al. (2006) para a produção científica da FAE mundial de 2005. Em análise dos veículos utilizados pelos cientistas espanhóis da Física de Partículas e Campos no período de 2000-2005, Calero (2009) também pôde examinar essa particularidade da disciplina. Na investigação de Krause, Lindqvist e Mele (2007), foram adicionadas duas revistas com alta popularidade dentro da comunidade da FAE: *Physical Review Letters* e *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*. Aman (2013) reforça a ideia de que

a maioria dos artigos são editados apenas pelas revistas acima descritas, sendo que três delas (*Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics* e *Nuclear Physics B*) são consideradas as mais representativas da comunicação científica por cobrirem cerca de 50% de toda a literatura da FAE. Na Tabela 4, apresentam-se os 35 periódicos utilizados para publicação dos artigos dos pesquisadores brasileiros da FAE no período de 1983-2013.

Tabela 4 - Periódicos de publicação dos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)

(continua)

Título do periódico	N. de artigos	%	Σ %	País	Idioma	FI 2 anos (2013)	Maior Quartil [5]	Estrato Qualis [6]
Physical Review D	2.259	35,57	35,57	EUA	Inglês	4.864	Q1	A2
Journal of High Energy Physics	505	7,95	43,52	Itália	Inglês	6.220	Q1	A1
The European Physical Journal C	449	7,07	50,59	Alemanha	Inglês	5.436	Q1	A2
Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A-Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment	435	6,85	57,44	Holanda	Multilíngue	1.316	Q2	B2
International Journal of Modern Physics A	382	6,02	63,46	Singapura	Inglês	1.086	Q3	B3
Modern Physics Letters A	354	5,57	69,03	Singapura	Inglês	1.338	Q2	B3
Classical and Quantum Gravity	342	5,39	74,42	Inglaterra	Multilíngue	3.103	Q1	A2
Nuclear Physics B	297	4,68	79,10	Holanda	Inglês	3.946	Q2	A2
Journal of Physics G-Nuclear and Particle Physics	232	3,65	82,75	Inglaterra	Inglês	2.838	Q2	B1
General Relativity and Gravitation	187	2,94	85,69	EUA	Inglês	1.725	Q2	B1
Zeitschrift Fur Physik C-Particles and Fields [1]	157	2,47	88,16	Alemanha	Inglês	..	..	..
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	140	2,20	90,36	Inglaterra	Inglês	5.877	Q1	A1
International Journal of Modern Physics E-Nuclear Physics	133	2,09	92,45	Singapura	Inglês	0.842	Q4	B4
Nuclear Physics B-Proceedings Supplements [2]	118	1,86	94,31	Holanda	Inglês	..	..	..
Nuovo Cimento Della Societa Italiana Di Fisica A-Nuclei Particles and Fields [3]	77	1,21	95,52	Itália	Multilíngue	..	..	..
Astroparticle Physics	67	1,06	96,58	Holanda	Inglês	4.450	Q1	A1
The European Physical Journal A	66	1,04	97,62	Alemanha	Inglês	2.421	Q2	B1
Zeitschrift Fur Physik A-Hadrons And Nuclei [4]	28	0,44	98,06	Alemanha	Inglês	..	..	..
International Journal of Quantum Information	24	0,38	98,44	EUA	Inglês	0.992	Q2	B5
Quantum Information & Computation	18	0,28	98,72	EUA	Inglês	1.625	Q1	B2
Physics of Atomic Nuclei	16	0,25	98,97	Rússia	Inglês	0.595	Q4	B5
Hadronic Journal*	14	0,22	99,19	EUA	Inglês	..	..	B5

(conclusão)

Título do periódico	N. de artigos	%	Σ %	País	Idioma	FI 2 anos (2013)	Maior Quartil [5]	Estrato Qualis [6]
Annales Henri Poincare	13	0,20	99,39	Suíça	Inglês	1.368	Q2	B4
Energy Release and Particle Acceleration in the Solar Atmosphere - Flares and Related Phenomena*	7	0,11	99,50	Inglaterra	Inglês	..	..	..
Physics of Particles and Nuclei	6	0,09	99,59	Rússia	Inglês	0.743	Q4	B4
Problems of Atomic Science and Technology	5	0,08	99,67	Ucrânia	Inglês	0.074	Q4	C
Advances in High Energy Physics	5	0,08	99,75	EUA	Inglês	2.624	Q2	A2
Physical Review Special Topics-Accelerators and Beams	4	0,06	99,81	EUA	Inglês	1.517	Q3	B2
Progress in Particle and Nuclear Physics	3	0,05	99,86	Inglaterra	Inglês	2.380	Q2	A2
Particle Accelerators*	2	0,04	99,90	EUA	Inglês	..	..	..
Soviet Journal of Nuclear Physics*	1	0,02	99,92	EUA	Inglês	..	..	..
Advances in Theoretical and Mathematical Physics	1	0,02	99,94	EUA	Inglês	1.781	Q2	B1
Chinese Physics C	1	0,02	99,96	China	Inglês	0.819	Q4	B5
High Energy Physics and Nuclear Physics*	1	0,02	99,98	China	Inglês	..	..	..
Particle Beams & Plasma Interaction on Materials and Ion & Plasma Surface Finishing*	1	0,02	100,00	Tailândia	Inglês	..	..	..
Total	6.350	100,00	..	..	..	..	..	..

Fonte: WoS, JCR, WebQualis. Os dados sobre o FI foram coletados do JCR em 24/03/2015. Os dados sobre o estrato Qualis foram coletados da WebQualis em 25/03/2015.

Legenda: [1] A partir de 1998, continuado por The European Physical Journal C - Particles and Fields. [2] Suplemento de Nuclear Physics B. [3] A partir de 1999, continuado por The European Physical Journal C - Particles and Fields e The European Physical Journal A - Hadrons and Nuclei. [4] A partir de 1998, continuado por The European Physical Journal A -Hadrons and Nuclei. [5] Dentre os quartis atribuídos pelas categorias de assunto que podem abranger um mesmo periódico, considerou-se a maior classificação alcançada. [6] Segundo avaliação da área Astronomia/Física. * Revistas que não tiveram FI (2013) divulgado pelo JCR.

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Os dados sobre o FI e Quartil foram extraídos do *JCR Science Edition* 2013. O FI é o indicador utilizado para calcular a média de citações recebidas pelos artigos publicados em uma determinada revista. É obtido dividindo-se o número de citações no ano JCR pelo número total de publicações no biênio anterior (JCR, 2012). A WoS indexa os periódicos com FI mais alto se comparada com outras bases de dados. Por meio de indicadores de impacto é possível analisar a visibilidade da produção científica de qualquer área do conhecimento. Com base no FI, o Quartil indica o posicionamento de uma revista dentro de cada categoria de assunto WC à qual foi atribuída. No JCR, os periódicos estão classificados em quatro quartis: Q1, Q2, Q3, Q4. As informações referentes ao estrato Qualis foram coletadas da plataforma WebQualis da CAPES. O Qualis é um sistema de classificação de periódicos nacionais e internacionais criado pela CAPES para estratificação da qualidade da produção científica dos programas de pós-graduação. A classificação das revistas é realizada pelas áreas de avaliação. Esses veículos são categorizados em estratos indicativos da qualidade: A1, A2, B1, B2, B3, B4, B5, C.

Dentre as 25 revistas FAE com FI divulgado pelo JCR em 2013; identificaram-se na WC *Physics, Particles & Fields*; quatro títulos no Q1, sete no Q2, sete no Q3 e sete no Q4. O Q1 é composto pelos quatro periódicos com maior FI dentro o conjunto de títulos que publicaram artigos da FAE brasileira: *Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics*, *European Physical Journal C* e *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*. Os três primeiros demonstraram também ser os mais produtivos. No *ranking* de periódicos com maior FI dentro da categoria analisada, os quatro veículos aparecem muito bem posicionados, ficando apenas atrás do *Living Reviews in Relativity* e do *Annual Review of Nuclear and Particle Science*.

Em relação ao Qualis dos periódicos utilizados pelos cientistas brasileiros, constatou-se que apenas três títulos têm classificação A1: *Journal of High Energy Physics*, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, *Astroparticle Physics*. Nesta categoria foram incluídas revistas com elevado fator de impacto e de ampla abrangência. No estrato A2, identificaram-se seis periódicos que são referências de prestígio na área: *Physical Review D*, *European Physical Journal C*, *Classical and Quantum Gravity*, *Nuclear Physics B*, *Advances in High Energy Physics* e *Progress in Particle and Nuclear Physics*. A investigação mostrou que a disciplina abordada publicou mais de 64% dos seus trabalhos em nove revistas com estrato A1 e A2, 26% da totalidade de títulos. A alíquota se mostra superior aos 55% apresentados pela CAPES (2013a) para as publicações da Astronomia/Física brasileira no período de 2010-2012. Os resultados revelaram o forte caráter internacional e o alto nível, em termos de

qualidade, da produção científica da FAE nacional. O patamar de excelência alcançado pelo campo é sustentado pela quantidade de programas de pós-graduação com classificação máxima identificados na avaliação trienal 2013 da CAPES, oito com nota 7.

Os índices de publicação mostraram que os três veículos mais utilizados pelos cientistas da FAE brasileira para difusão dos resultados científicos possuem alto FI para a área da Física de Partículas: *Physical Review D* (PRD), *Journal of High Energy Physics* (JHEP) e *European Physical Journal C* (EPJC). PRD é um periódico com FI de 4.864 e líder em assuntos como partículas elementares, Teoria de Campo, gravitação e cosmologia. É publicado mensalmente desde 1970 pela *American Physical Society* (APS) dos Estados Unidos. Em um sentido mais amplo, PRD é dividido em D1 e D15. D1 abrange pesquisas sobre FAE experimental, raios cósmicos e interações eletrofracas; D15 abarca trabalhos sobre relatividade geral, cosmologia, astrofísica de partículas e Teoria das Cordas. Seu regime de publicação é de dois volumes anuais, divididos em doze números mensais cada um (AMAN, 2013). Verificou-se um aumento do FI do PRD com relação a 2012 (4.691). JHEP é um periódico com FI de 6.220, propriedade da *International School for Advanced Studies* (SISSA) da Itália e publicado pela Springer. A versão *on-line* foi criada em 1997 e trabalha com um sistema de *peer-review* eletrônico. É publicado mensalmente, um volume por ano com doze números (AMAN, 2013). Constatou-se um aumento do FI da JHEP com relação a 2012 (5.618). EPJC é uma revista *open-access* da Alemanha com FI de 5.436 e financiada pela SCOAP³. Apresenta trabalhos originais nas áreas da física teórica e física experimental. A cobertura de assuntos é extensa: reações nucleares, raios cósmicos, métodos e ferramentas de análise computacional para física experimental; interações eletrofracas, física de neutrinos, fenomenologia da astrofísica, espectroscopia, Teoria de Campo, cosmologia para física teórica. Observou-se um aumento do FI da EPJC com relação a 2012 (5.247).

4.1.5 Produtividade dos autores da FAE brasileira (1983-2013)

No diagnóstico dos 6.350 artigos que constituem o *corpus* principal da pesquisa foram identificados 25.692 cientistas, representando uma média de produtividade de 38,53 trabalhos por autor no período de 1983-2013. Corroborou-se o alto grau de dispersão do conjunto de valores ponderados uma vez que o desvio padrão foi de 58,46. Mediante análise da distribuição das medidas, inferiu-se a variabilidade e a heterogeneidade do número de contribuições por pesquisador. O valor da mediana indica que 50% dos autores publicou menos de 6 artigos e que 50% dos autores publicou mais de 6 artigos. O fato de a média

apresentar um valor maior do que a mediana e a moda implica uma distribuição assimétrica, com cauda mais longa para o lado direito, o que é confirmado pelo coeficiente com valor positivo (1,68). Apesar de a média e o desvio padrão serem as medidas mais utilizadas para avaliar a posição central e dispersão de um conjunto de valores, elas são fortemente influenciadas por valores discrepantes (*outliers*). Por exemplo, no *ranking* de produtividade dos autores da FAE brasileira, os valores discrepantes (número de publicações) 642, 552, 497 etc. deslocaram a média para cima. Glänzel (2008) entende que a utilização de medianas deve ser priorizada visto que a maioria das distribuições bibliométricas está longe de ser simétrica e discreta. A maior parte das observações está abaixo da média da amostra, portanto, a mediana apresenta-se como a medida mais apropriada para representar o conjunto de publicações dos pesquisadores da área. Neste estudo, calcularam-se ambas as medidas para avaliar a posição central sob dois enfoques diferentes. A contagem é o número de valores (autores) usado no cálculo das medidas descritivas. Na Tabela 5, apreciam-se as medidas de tendência central e dispersão utilizadas para delinear o comportamento do conjunto de dados referente à produtividade dos autores da FAE nacional.

Tabela 5 - Estatística descritiva da produtividade dos autores nacionais e coautores internacionais da FAE (1983-2013)

N. de artigos por autor	
Média	38,53
Mediana	6
Moda	1
Desvio padrão	58,46
Assimetria	1,68
Mínimo	1
Máximo	642
Contagem	25.692

Fonte: dados da pesquisa

A cientista brasileira mais produtiva foi Maria Elena Pol, doutora em Física pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, com 316 publicações. Atualmente é Pesquisadora Titular II do CBPF. Tem experiência na área da FAE experimental, com ênfase nos seguintes assuntos: modelo padrão das interações eletrofracas, *software* de processamento de dados, física de detectores e identificação de partículas. Além disso, é membro do grupo de pesquisa *Compact Muon Solenoid* (CMS) no CERN. O CMS é um detector de partículas projetado para analisar os fenômenos produzidos a partir das colisões em altas energias no LHC. O experimento é uma das maiores colaborações científicas internacionais da história;

envolvendo 4.300 físicos de partículas, engenheiros, técnicos, estudantes e pessoal de apoio de 182 instituições em 42 países (CERN, 2015). A pesquisadora mencionada ocupa a 18ª posição no *ranking* de produtividade de autores da FAE que inclui os coautores estrangeiros. Na Tabela 6, exibe-se uma lista com os 20 especialistas nacionais mais produtivos junto com suas instituições de filiação.

Tabela 6 - Autores brasileiros com maior número de contribuições na FAE (1983-2013)

Ranking*	Autor	N. de artigos	Instituição	Subárea FAE	Grupo CNPq
1 (18)	Pol M. E.	316	CBPF (RJ)	Exp.	CMS
2 (83)	Mundim L.	282	UERJ (RJ)	Exp.	Física Exp. de Altas Energias
3 (186)	Begalli M.	243	UERJ (RJ)	Exp.	Física Exp. de Altas Energias
4 (189)	Alves G. A.	241	CBPF (RJ)	Exp.	CMS
5 (210)	Novaes S. F.	235	UNESP (SP)	Exp.	SPRACE
6 (275)	Gandelman M.	228	UFRJ (RJ)	Exp.	LAPE
7 (299)	Carvalho W.	219	UERJ (RJ)	Exp.	Física Exp. de Altas Energias
8 (302)	Amato S.	219	UFRJ (RJ)	Exp.	LAPE
9 (307)	Gregores E. M.	217	UNESP (SP)	Exp.	SPRACE
10 (311)	Santoro A.	215	UERJ (RJ)	Exp.	Física Exp. de Altas Energias
11 (312)	Mercadante P. G.	215	UNESP (SP)	Exp.	SPRACE
12 (358)	Sznajder A.	202	UERJ (RJ)	Exp.	Física Exp. de Altas Energias
13 (449)	de Paula L.	177	UFRJ (RJ)	Exp.	LAPE
14 (534)	da Silva W. L. P	165	UERJ (RJ)	Exp.	Física Exp. de Altas Energias
15 (571)	Nogima H.	161	UERJ (RJ)	Exp.	Física Exp. de Altas Energias
16 (596)	Lopes J. H.	159	UFRJ (RJ)	Exp.	LAPE
17 (642)	Oguri V.	156	UERJ (RJ)	Exp.	Física Exp. de Altas Energias
18 (648)	Rangel M. S.	156	UFRJ (RJ)	Exp.	LAPE
19 (770)	do Vale M. A. B.	151	UFRJ (RJ)	Exp.	Física Exp. de Altas Energias e Tecnologias Associadas
20 (774)	Marechal B.	150	UFRJ (RJ)	Exp.	LAPE

Fonte: WoS. DGP/CNPq

Legenda: * Entre parênteses indica-se a posição no *ranking* de produtividade que inclui os coautores internacionais.

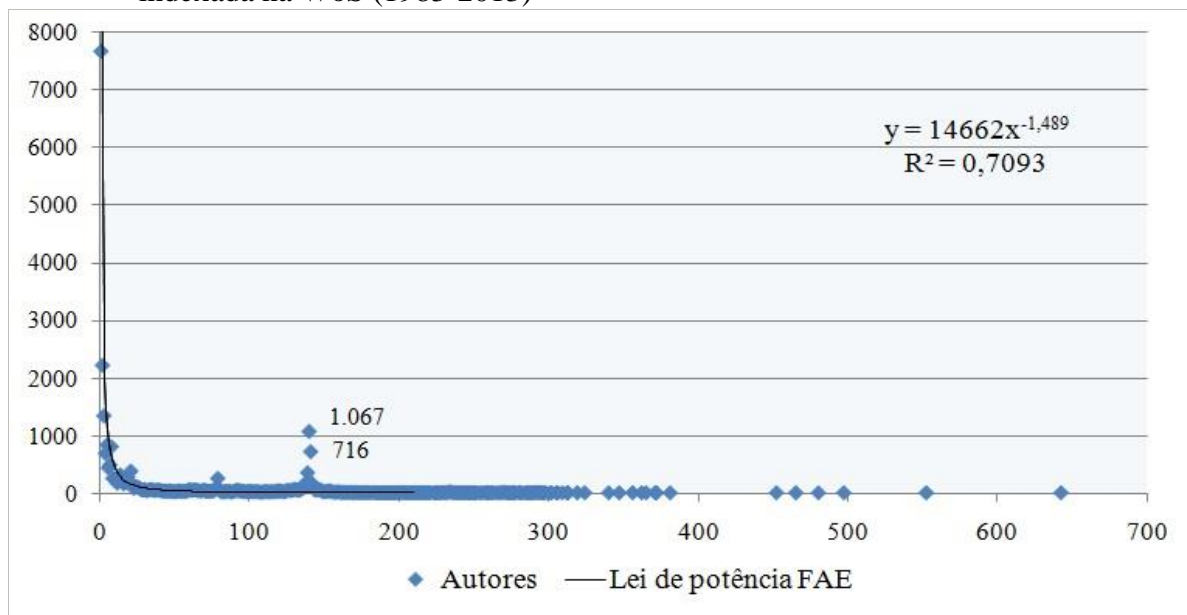
Percebeu-se que os autores brasileiros com maior número de contribuições são da subárea experimental. Todos são vinculados a instituições públicas do eixo Rio de Janeiro-São Paulo: três universidades (UERJ, UFRJ, UNESP) e um centro de pesquisa do MCTI (CBPF). Em nível de produção científica, o bom desempenho dos investigadores da FAE nacional em termos de artigos publicados encontra-se relacionado à participação ativa nos grupos de pesquisa CNPq e nas colaborações internacionais. No Rio de Janeiro; destacam-se as atividades dos grupos: Laboratório de Física de Partículas Elementares (LAPE) (UFRJ), Física Experimental de Altas Energias e Tecnologias Associadas (UFRJ), Física Experimental de Altas Energias (UERJ) e CMS (CBPF) nos experimentos DELPHI, ATLAS, CMS, LHC

(CERN), DZERO, Tevatron (FERMILAB), RHIC (Brookhaven). Da mesma maneira, em São Paulo ressaltam-se a presença do grupo SPRACE (UNESP) na colaboração CMS do LHC/CERN.

A distribuição do número de artigos por autor entre 1983 e 2013 demonstra que 7.674 (29,87%) publicaram apenas um trabalho. A alíquota obtida é quase 30% mais baixa que os 60% denunciados pelo modelo do quadrado inverso de Lotka. No seguimento, 7.286 (28,35%) produziram entre 2 e 10 trabalhos; 5.835 (22,71%) entre 11 e 100. Em contrapartida, 4.897 (19,07%) destacaram-se pela alta produtividade (> 100 trabalhos). A variabilidade e a heterogeneidade do número de contribuições não indicam baixa produtividade dos pesquisadores da FAE brasileira, visto que foram contabilizados todos os coautores do conjunto de artigos analisados.

Em análise das publicações da Física holandesa, Kretschmer e Rousseau (2001) demonstraram que mesmo utilizando a contagem normal, a Lei de Lotka ou lei de produtividade é invalidada com a alta colaboração (coautorias com mais de 100 agentes). Os pesquisadores afirmam que em áreas como a FAE esse fenômeno acontece frequentemente visto que existe uma forte tradição para a formação de grandes redes, de modo que cada trabalho publicado produz um crédito para o mesmo grupo de agentes. No caso da FAE brasileira, o número de trabalhos com mais de 100 autores representa 12,40% do total de artigos. A maior colaboração apresentou 3.194 coautores. Na Figura 4, aprecia-se o resultado do encaixe da distribuição de Lotka aos dados de publicação da FAE nacional.

Figura 4 - Modelo de distribuição de Lotka aplicado à produção científica da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

Mediante estudo da produção científica no período de 1983-2013, comprovou-se que a distribuição do número de autores pelo número de artigos não segue uma linha de tendência de potência conforme o modelo proposto por Lotka, tendo-se um coeficiente R^2 de 0,7093. A análise de regressão mostrou claramente que o conjunto de dados analisados não se encaixa em uma lei de potência por causa dos 1.067 e 716 autores com 140 e 141 publicações respectivamente. Conforme apontado por Kretschmer e Rousseau (2001), esse resultado ratifica a inaplicabilidade da Lei de Lotka para a FAE. No entanto, para a maioria das áreas onde o número de coautores é sempre limitado, o modelo do quadrado inverso continua vigente.

4.1.6 Produtividade das instituições da FAE brasileira (1983-2013)

Em avaliação dos 6.350 artigos do *corpus* principal da investigação foram identificadas 1.175 instituições, representando uma média de produtividade de 85,42 trabalhos por instituição no período de 1983-2013. Confirmou-se a alta dispersão dos valores ponderados em torno da média dado que o desvio padrão foi de 138,53. O valor da mediana mostra que 50% das instituições publicou menos de 11 artigos e que 50% das instituições publicou mais de 11 artigos. Da mesma maneira que na análise de produtividade de autores, a média apresenta um valor maior do que a mediana e a moda, indicando uma distribuição assimétrica, com cauda mais longa para o lado direito, o que é confirmado pelo coeficiente com valor positivo (2,95). Novamente, os valores discrepantes (*outliers*) provocaram o aumento da média. A contagem representa a frequência de valores (instituições) usados no cálculo das medidas descritivas. Na Tabela 7, distinguem-se as medidas de tendência central e dispersão aplicadas no conjunto de dados referente à produtividade das instituições da FAE nacional.

Tabela 7 - Estatística descritiva da produtividade das instituições nacionais e coautoras internacionais da FAE (1983-2013)

N. de artigos por instituição	
Média	85,42
Mediana	11
Moda	1
Desvio padrão	138,53
Assimetria	2,95
Mínimo	1
Máximo	1.436
Contagem	1.175

Fonte: dados da pesquisa

A distribuição do número de contribuições institucionais por categorias no período de 1983-2013 confirma que 256 (21,79%) publicaram apenas um artigo. Na sequência, 328 (27,91%) produziram entre 2 e 10 trabalhos; 216 (18,38%) entre 11 e 100; 207 (17,62%) entre 101 e 200. No outro extremo, 168 (14,30%) destacaram-se pela alta produtividade (≥ 201 publicações). Observou-se uma forte concentração da atividade científica da área estudada em poucas instituições.

No *ranking* de produtividade das instituições da FAE nacional, comprovou-se que das 1.175 entidades identificadas, somente 14,46% (170) são brasileiras. Verificou-se que 95,90% da totalidade da pesquisa na disciplina analisada está concentrada em órgãos públicos federais e estaduais (universidades e centros de pesquisa). O setor mais produtivo da FAE no Brasil é a universidade, representando 80,92% do total. A taxa se mostra superior aos 72% apresentados por Calero (2009) para a produção da Física espanhola no período de 2000-2005. Esse indicador reforça a teoria de que poucas instituições, principalmente universidades públicas localizadas em regiões estratégicas, são responsáveis pela produção científica e publicação do maior volume de artigos brasileiros, conforme apontado por Chaimovich (2000); Leta (2011); FAPESP (2011); Vanz e Stumpf (2012). Tal comportamento contrasta com a baixa participação do setor privado, como descreve Vanz (2009). A distribuição do conjunto de instituições por região geográfica mostra que o Sudeste com 82,82% detém o maior índice de produtividade.

O protagonismo dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro é fortemente perceptível dado que ambos apreendem 75,52% da totalidade da produção no âmbito local. O peso da contribuição das unidades federativas citadas para a produção científica local já foi observada por Leta e Cruz (2003). Os autores manifestam que o diferencial quantitativo dos estudantes de pós-graduação, cientistas e instituições envolvidos na atividade e a maior tradição em pesquisa estão entre os principais fatores responsáveis pela posição de liderança desses estados na ciência do País. Em ordem de importância, a região Nordeste é a segunda colocada com 9% do total de eventos. Em sequência; situam-se o Sul com 5,22%, o Centro-Oeste com 1,92% e por fim; o Norte com 1,05% da somatória de casos. Leta e Cruz (2003) declaram que a concentração da atividade em poucas instituições é um fenômeno que acontece com maior intensidade nos países em desenvolvimento e que a descentralização da ciência no Brasil representa um alto custo. No estudo de Collazo-Reyes e Luna-Morales (2002), um grupo integrado por apenas três entidades (UNAM, CINVESTAV, IPN) foi responsável por 68% das publicações da Física de partículas elementares mexicana indexada na SPIRES no período

de 1971-2000. Na Tabela 8, aprecia-se uma lista com as unidades federativas brasileiras e sua participação na produção científica da área abordada.

Tabela 8 - Unidades federativas brasileiras e número de artigos da FAE indexados na WoS (1983-2013)

Unidade Federativa	N. de artigos	%	Σ%
São Paulo	3.616	37,89	37,89
Rio de Janeiro	3.591	37,63	75,52
Minas Gerais	504	5,28	80,80
Paraíba	445	4,66	85,46
Rio Grande do Sul	303	3,17	88,63
Espírito Santo	194	2,03	90,67
Distrito Federal	165	1,73	92,40
Bahia	146	1,53	93,93
Paraná	134	1,40	95,33
Rio Grande do Norte	85	0,89	96,22
Ceará	77	0,81	97,03
Pará	76	0,80	97,82
Santa Catarina	61	0,64	98,46
Maranhão	43	0,45	98,91
Pernambuco	35	0,37	99,28
Goiás	14	0,15	99,43
Sergipe	14	0,15	99,57
Roraima	11	0,12	99,69
Alagoas	10	0,10	99,79
Tocantins	9	0,09	99,89
Amapá	3	0,03	99,92
Mato Grosso	3	0,03	99,95
Piauí	3	0,03	99,98
Acre	1	0,01	99,99
Mato Grosso do Sul	1	0,01	100,00
Total	9.544	100,00	..

Fonte: dados da pesquisa

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Como decorrência mais evidente desses trabalhos, a Universidade de São Paulo (USP) aparece como a instituição com o maior número de contribuições para a produção científica da FAE brasileira indexada na WoS. Os dados coincidem com os registrados por Leta e Cruz (2003); Vanz (2009); Leta (2011) para a produção científica de todas as áreas em nível nacional. A soma dos artigos da USP representa mais de um 1/3 das publicações totais do País. No *ranking* das universidades mais produtivas em termos de trabalhos indexados na WoS, a USP ocupa a primeira posição dentre as brasileiras, contendo mais de 53.000 artigos com mais de 416.000 citações (FAPESP, 2012).

Em conformidade com Leta (2011), o protagonismo da USP na pesquisa brasileira é resultado de dois fatores: a criação da instituição como primeira universidade de pesquisa do País e o forte e contínuo investimento concedido pela agência de fomento FAPESP, que possibilitou a consolidação da atividade científica seja em termos de infraestrutura, seja em termos de formação de recursos humanos. De fato, a materialização das investigações na FAE foi possível graças à fundação das primeiras universidades em São Paulo e Rio de Janeiro e à iniciativa de cientistas estrangeiros na década de 1930. No Brasil, a centralização está associada à predominância no Sudeste de instituições de ensino superior, com programas de pós-graduação e pessoal qualificado, com apoio da FAPESP em São Paulo e das agências do governo federal CNPq, CAPES e FINEP (FAPESP, 2011).

O segundo lugar no *ranking* de produtividade é ocupado por um centro nacional de pesquisa: o CBPF, que teve 1.165 artigos na WoS no período estudado. Desde sua criação em 1949, a instituição vem atuando em diversos tópicos da pesquisa fundamental em cosmologia e relatividade, altas energias e raios cósmicos, física nuclear e astrofísica, campos e partículas etc. O CBPF tem desenvolvido vários projetos em colaboração com universidades e institutos de pesquisa nacionais e internacionais. Na FAE, integra desde 1980, projetos nos laboratórios FERMILAB (EUA) e CERN (Suíça). A partir de 2000, iniciou uma participação efetiva no Projeto Observatório Pierre Auger, que envolve cerca de 20 países (CBPF, 2011). Chaves et al. (2002) entendem que o sucesso do laboratório foi devido à centralização de suas atividades em campos que estavam em plena expansão – Física Nuclear, Raios Cósmicos e Física de Partículas Elementares – e à circulação de ideias e troca de conhecimentos com eminentes físicos estrangeiros. Atualmente, o CBPF tem o papel de coordenador da RENAFAE. Na Tabela 9, observam-se as 29 instituições nacionais da FAE com maior presença na WoS.

Tabela 9 - Instituições brasileiras com maior número de contribuições na FAE (1983-2013)
(continua)

Instituição	Artigos	PPG/Grupo CNPq	Linha de pesquisa FAE
Univ. São Paulo (SP)	1.436	Física	Partículas Elementares
CBPF (RJ)	1.165	Física	Altas Energias
Univ. Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (SP)	944	Física	Exp. de Altas Energias
Univ. Fed. Rio de Janeiro (RJ)	908	Física	Partículas Elementares
Univ. Estado Rio de Janeiro (RJ)	707	Física	Exp. de Altas Energias
Univ. Estadual Campinas (SP)	491	Física	Astrofísica de Neutrinos
Univ. Fed. Paraíba (PB)	366	Física	Partículas Elementares
Univ. Fed. ABC (SP)	361	Física	Partículas e Campos
Pontifícia Univ. Católica Rio de Janeiro (RJ)	283	Física	Fenomenologia
Univ. Fed. Juiz de Fora (MG)	227	Física	Teoria de Campos

(conclusão)

Instituição	Artigos	PPG/Grupo CNPq	Linha de pesquisa FAE
Univ. Fed. Fluminense (RJ)	166	Física	Exp. de Altas Energias
Univ. Fed. Espírito Santo (ES)	158	Física	Interações Fundamentais
Univ. Fed. Rio Grande Sul (RS)	148	Física	Fenomenologia
Univ. Fed. São João del-Rei (MG)	127	Física	Fenomenologia
CNEN (RJ)	111	Engenharia Nuclear	Instrumentação Nuclear
Univ. Brasília (DF)	108	Física	Cosmologia e Astrofísica
INPE (SP)	92	Astrofísica	Astrofísica
CTA (SP)	90	Astrofísica	Astrofísica
Observatório Nacional (RJ)	81	Astronomia	Cosmologia e Astrofísica
Univ. Fed. Rio Grande Norte (RN)	77	Física	Partículas Elementares
Univ. Fed. Pelotas (RS)	74	Física	Física de Partículas
Univ. Fed. Bahia (BA)	70	Física	Cosmologia e Gravitação
Univ. Fed. Pará (PA)	70	Física	Partículas e Campos
Univ. Fed. São Carlos (SP)	67	Física	Exp. de Altas Energias
Univ. Fed. Campina Grande (PB)	65	Física	Cosmologia e Gravitação
Univ. Fed. Santa Catarina (SC)	56	Física	Teoria de Campos
Univ. Estadual Londrina (PR)	55	Física	Partículas e Campos
Univ. Fed. Itajubá (MG)	50	Física e Mat. Aplicada	Gravitação e Cosmologia
Univ. Fed. Minas Gerais (MG)	49	Física	Teoria de Campos

Fonte: WoS. SNPG

Percebeu-se que dentre as 29 instituições brasileiras com maior participação na produção científica da FAE, 24 são universidades (23 públicas e uma privada), representando 82,75% da totalidade de ocorrências. A alíquota menor de 17,83% corresponde a centros nacionais de pesquisa: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), Centro Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro Técnico Aeroespacial (CTA) e Observatório Nacional (ON). Nota-se que quase 100% das 29 entidades analisadas pertence ao setor público. Dentre elas, as mais produtivas no período de 1983-2013 foram as universidades, 78,82% do total de publicações. Mais atrás aparecem os centros nacionais com 17,90% e as universidades privadas (PUC-Rio) com 3,28% do total de artigos. Por último, a instituição estrangeira com maior produtividade em FAE dentre aquelas que colaboraram com instituições brasileiras foi o *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* (INFN) da Itália, com 813 artigos publicados.

4.2 INDICADORES DE COLABORAÇÃO

Nesta subseção apresentam-se os resultados referentes à colaboração científica da FAE brasileira entre autores, instituições e países obtidos através dos artigos em coautoria indexados na WoS no período de 1983-2013.

4.2.1 Coautoria entre autores da FAE brasileira (1983-2013)

Em avaliação dos 6.350 artigos que compõem o *corpus* principal da pesquisa foram identificados 25.692 cientistas, representando uma média de 155,89 autores por trabalho no período de 1983-2013. Mediante análise da distribuição das medidas, confirmou-se a variabilidade e a heterogeneidade do número de autores por artigo. O valor central da mediana indica que 50% dos artigos tem menos de 3 autores e que 50% dos artigos tem mais de 3 autores. O fato de a média apresentar um valor maior do que a mediana e a moda implica uma distribuição assimétrica, o que é confirmado pelo coeficiente com valor positivo (4,19). Outra vez, os valores discrepantes (3.194, 3.179, 3.171 autores) provocaram o aumento da média. A contagem é o número de valores (artigos) usado no cálculo das medidas descritivas. Na Tabela 10, observa-se a distribuição de autores por décadas nos artigos da FAE brasileira.

Tabela 10 - Distribuição de autores por artigo da FAE brasileira indexado na WoS (1983-2013)

	1983-1992	1993-2002	2003-2013	1983-2013
Média de autores	9,55	36,49	237,37	155,89
Mediana	2	3	3	3
Moda	2	2	2	2
Assimetria	10,53	3,62	3,16	4,19
N. mínimo de autores	1	1	1	1
N. máximo de autores	544	561	3.194	3.194
N. de artigos	549	1.953	3.848	6.350

Fonte: dados da pesquisa

Na análise por série temporal, verificou-se o aumento ininterrupto da média de autores por artigo; 1983-1992 (9,55), 1993-2002 (36,49), 2003-2013 (237,37). A forte presença dos pesquisadores brasileiros da FAE nas grandes colaborações internacionais entre 2010 e 2013 pode justificar a expressiva média observada no último período. Em termos comparativos, a média de 155,89 autores para o período de 1983-2013 se mostra superior aos 8,96 apresentados por Newman (2001a, 2001b, 2004a) e aos 24,8 exibidos por Krause, Lindqvist e

Mele (2007) para as publicações da FAE na SPIRES entre 1995-1999 e 2005-2006 respectivamente. Ainda, a média é superior aos 62 mostrados por Calero (2009) para os artigos da Física de Partículas espanhola indexados no SCI entre 2000 e 2005 e aos 13,3 apresentados por Vanz (2009) para os artigos da Física brasileira no período de 2004-2006. Apesar de a média da FAE nacional ser superior, a mesma deve ser apreciada com cautela quando confrontada com outros estudos, visto que pode haver discrepâncias com relação ao período estudado, ao tamanho da amostra e à base de dados utilizada para a indexação do conjunto de dados. O número máximo de autores por artigo variou de 544 em 1983-1992 para 3.194 em 2003-2013, ocasionando intervalos altos para os três períodos (543, 560, 3.193).

A partir das medidas descritivas acima apresentadas, inferiu-se que a colaboração entre indivíduos na FAE brasileira acontece de maneira intensa, confirmando a existência de grandes grupos com base na parcela de artigos com ≥ 500 autores (8,25%) do total. Em concordância com o estudo de Krause, Lindqvist e Mele (2007), foram claramente identificadas estruturas correspondendo a trabalhos com grandes colaborações. Uma análise mais detalhada dos artigos com o maior número de coautores (3.194, 3.179, 3.171, 3.085, 3.076, 3.073, 3.066, 3.058, 3.057) mostra que os mesmos foram publicados nos periódicos *Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics* e *European Physical Journal C* pelo grupo da Colaboração ATLAS do CERN no quadriênio 2010-2013.

Desde a década de 1980, os cientistas brasileiros tiveram participação ativa nos experimentos do CERN, envolvendo a construção de equipamentos, a execução de atividades de pesquisa e a análise de resultados. O grande destaque se deu com o apoio financeiro do CNPq à construção dos componentes que fariam parte do experimento ATLAS (*A Toroidal LHC Apparatus*), construído no LHC entre 1998 e 2007 (DUARTE, 2008). ATLAS tem por finalidade detectar partículas de maiores dimensões como o bóson de Higgs. A iniciativa é um dos maiores esforços de colaboração já tentado nas ciências físicas. Outros pesquisadores como Newman (2001a, 2001b, 2004a) já tinham observado a relevância desse fenômeno social na FAE ao identificar um único artigo com 1.681 autores filiados.

A Física de Altas Energias também foi destacada por Kretschmer e Rousseau (2001) ao explicar que desde o advento da *Big Science*, o número de autores por artigo tem aumentado significativamente, especialmente na FAE, onde os grandes experimentos só podem ser realizados graças ao trabalho em colaboração, isto levou à publicação de *papers* com mais de 100 indivíduos. Beaver (2001) acrescenta que o modelo *teamwork* ou colaborações gigantes surgiu com o desenvolvimento do campo citado anteriormente, e que logo passou para outras áreas como a Biologia Molecular e Biomedicina, apresentando como

exemplo, o Projeto do Genoma Humano. A complexidade das investigações envolvendo aceleradores de partículas originou um novo paradigma para a estrutura organizacional da pesquisa científica. A composição dessas máquinas provocou a criação de importantes laboratórios nacionais nos Estados Unidos, Alemanha e Japão e um multinacional, o CERN, na Suíça (CHAVES; SHELLARD, 2005). Na Tabela 11, apresenta-se a frequência de artigos publicados em colaboração e autoria única por períodos.

Tabela 11 - Número de autores vinculados aos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)

N. de autores	1983-1992			1993-2002			2003-2013			1983-2013		
	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %
1	78	14,21	14,21	263	13,47	13,47	382	9,93	9,93	723	11,39	11,39
2	197	35,88	50,09	610	31,23	44,70	938	24,38	34,31	1.745	27,48	38,87
3	132	24,04	74,14	477	24,42	69,13	880	22,87	57,18	1.489	23,45	62,32
4	55	10,02	84,16	221	11,32	80,44	524	13,62	70,79	800	12,60	74,92
5	25	4,55	88,71	79	4,05	84,49	196	5,09	75,89	300	4,72	79,64
6 a 10	19	3,46	92,17	75	3,84	88,33	179	4,65	80,54	273	4,30	83,94
11 a 20	2	0,36	92,53	22	1,13	89,46	40	1,04	81,58	64	1,01	84,95
21 a 30	3	0,55	93,08	32	1,64	91,10	25	0,65	82,23	60	0,94	85,89
31 a 100	32	5,83	98,91	29	1,48	92,58	47	1,22	83,45	108	1,70	87,59
101 a 500	2	0,36	99,27	60	3,07	95,65	204	5,30	88,75	266	4,19	91,78
≥ 501	4	0,73	100,00	85	4,35	100,00	433	11,25	100,00	522	8,22	100,00
Total	549	100,00	..	1.953	100,00	..	3.848	100,00	..	6.350	100,00	..

Fonte: dados da pesquisa

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Ao indagar a colaboração científica em nível individual da FAE brasileira no período de 1983-2013, observou-se que apenas 11,39% dos artigos são escritos por um único autor. A alíquota encontrada é menor que os 70,6% apresentados por Braun et al. (1992) para os artigos da Física de Partículas brasileira indexados no SCI e *Physics Briefs* no período de 1981-1985 e que os 19% exibidos por Krause, Lindqvist e Mele (2007) para as publicações da FAE na SPIRES entre 1995-1999. Por outro lado, o percentual é maior que os 3,9% registrados por Vanz (2009) para as publicações da ciência brasileira no período de 2004-2006. O estudo por amostragem revelou que o conjunto de títulos de autoria única está fortemente relacionado à Física Teórica (extensões do Modelo Padrão da Física de Partículas, Bóson de Higgs, Cosmologia do *Big Bang*, Matéria Escura e outros). Na série temporal analisada houve um decréscimo consecutivo do percentual de trabalhos sem coautoria: (14,21%) em 1983-1992, (13,47%) em 1993-2002, (9,93%) em 2003-2013. O mesmo fenômeno aconteceu com o percentual de artigos publicados por 2 autores: (35,88%) em 1983-1992, (31,23%) em 1993-2002, (24,38%) em 2003-2013. Verificou-se que 83,70% dos trabalhos apresentam menos de 10 autores. A taxa é levemente inferior aos 89,6% registrados por Krause, Lindqvist e Mele (2007). Conforme averiguado por meio dos indicadores, os pesquisadores da Física de Altas Energias têm preferência por publicar em coautoria, seguindo a tendência nacional (todas as áreas) observada no estudo de Vanz (2009).

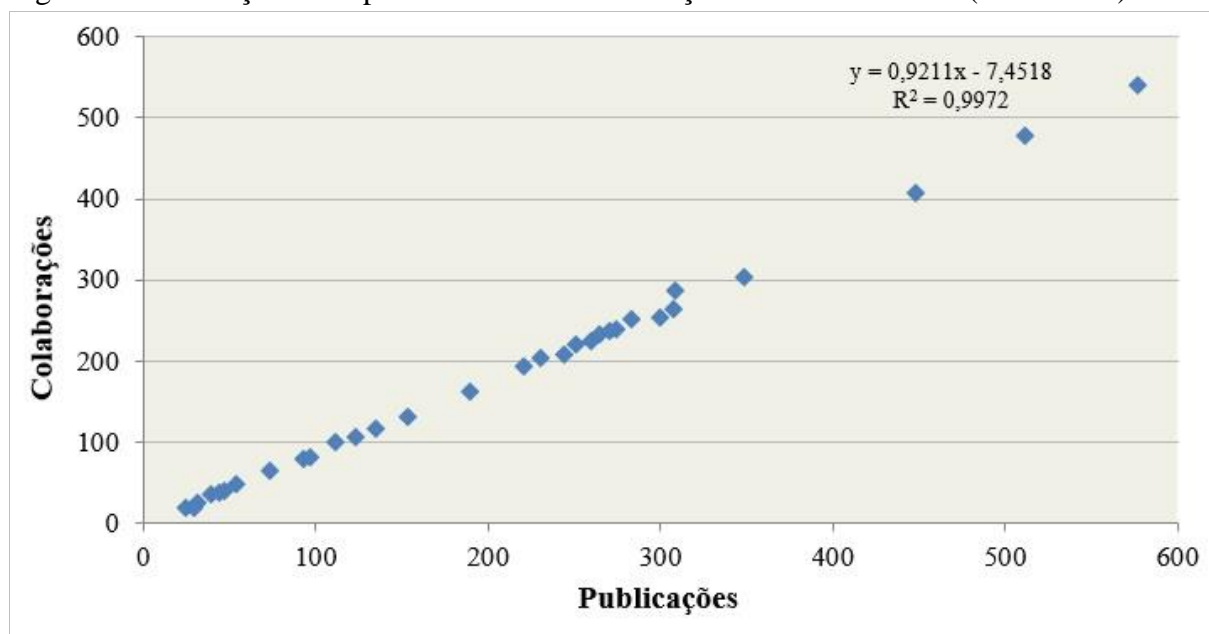
A diminuição percentual de *papers* com autoria única se contrapõe ao crescimento do número de artigos com 101 a 500 autores: (0,36%) em 1983-1992, (3,07%) em 1993-2002, (5,30%) em 2003-2013. O mesmo fenômeno foi observado com as publicações de ≥ 501 autores: (0,73%) em 1983-1992, (4,35%) em 1993-2002, (11,25%) em 2003-2013. No último período, nota-se uma maior inserção dos cientistas brasileiros da FAE nas grandes redes de colaboração. Por último, o conjunto de artigos com mais de 3.000 autores representa quase 1,00% do total de ocorrências.

Em análise de 53 colaborações multi-institucionais em Física e ciências afins nos anos de 1992, 1995 e 1999; Chompalov, Genuth e Shrum (2002) concluíram que a FAE se diferencia das outras áreas por ter um estilo excepcional de organização e por ser mais participativa e consensual na tomada de decisão. A partir do trabalho em colaboração, a área busca coletivizar os fluxos de dados e regular a comunicação externa dos resultados para a comunidade científica. O limitado número de instalações e os enormes custos operacionais de construção de detectores e aceleradores de partículas fazem com que os físicos sejam mais colaborativos. Meadows (1999) e Maltrás Barba (2003) destacam a relevância da colaboração na ciência visto que a produção de conhecimentos científicos requer muitas vezes a

participação direta de vários indivíduos de diferentes instituições ou países. Enfatiza-se que, “Se o compartilhamento de infraestrutura, laboratórios e ideias pode ser considerado uma tendência geral na ciência, na Física é uma realidade forte.” (BRAUN et al., 1992, p. 181, tradução nossa).

Com base no estudo da distribuição das publicações e das coautorias por ano da FAE brasileira no período 1983-2013, comprovou-se que as variáveis produtividade e colaboração estão positivamente correlacionadas. Observou-se que tanto o crescimento do número de artigos quanto o crescimento do número de colaborações se ajustam adequadamente ao modelo de regressão linear, tendo-se um coeficiente de determinação (R^2) muito próximo de 1 (0,9972). Tal indicador demonstra a forte correlação entre as duas variáveis ponderadas. Mediante visualização do diagrama de dispersão, percebe-se que o número de trabalhos com mais de um autor cresceu no mesmo ritmo do número de publicações anuais. Na Figura 5, aprecia-se a correlação entre produtividade e colaboração por meio dos artigos da FAE indexados na WoS.

Figura 5 - Correlação entre produtividade e colaboração da FAE brasileira (1983-2013)



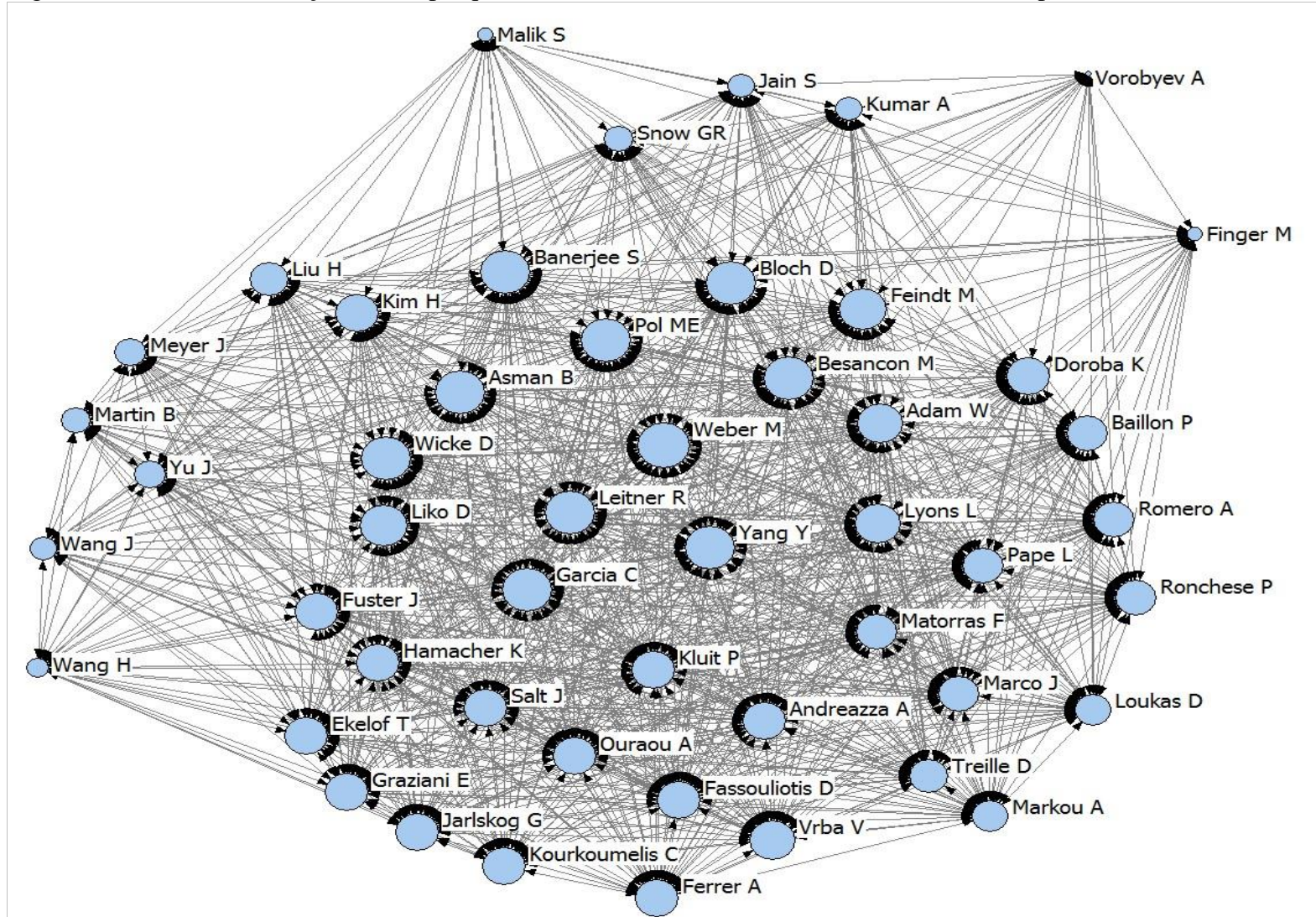
Fonte: dados da pesquisa

Conforme Barbetta (2002), o conceito de correlação se refere a uma associação numérica entre duas variáveis, não implicando, necessariamente, uma relação de *causa-e-efeito*. Em análise da produção científica e impacto do BRICS entre 2007 e 2011; Adams, Pendlebury e Stembridge (2013) verificaram a disparidade entre os indicadores quantitativos das publicações e das citações visto que o Brasil publica mais nas áreas das ciências da vida,

entretanto, a sua pesquisa é mais citada nas ciências físicas e tecnológicas. No caso da Física de Altas Energias, considera-se a correlação entre as variáveis em investigação como verdadeira já que, de fato, o aumento da produtividade pode ter sido impulsionado pelo acréscimo do número de artigos em colaboração (diminuição de trabalhos de autoria única) e pela maior participação dos pesquisadores brasileiros nas grandes redes internacionais, conforme comentado anteriormente.

Os resultados da análise da distribuição de autores por artigo mostram que a FAE brasileira possui um comportamento bastante particular. Em termos de autoria múltipla, o campo investigado exibiu percentuais significativos: trabalhos com mais de um autor (88,61%), trabalhos com mínimo de 101 e máximo de 500 autores (4,19%), trabalhos com ≥ 501 indivíduos (8,22%). Mediante Análise de Redes Sociais (ARS), buscou-se aprofundar o conhecimento sobre a colaboração científica em nível individual na Física de Altas Energias. O conjunto de dados correspondeu aos 50 autores mais produtivos (até 293 artigos). Na Figura 6, apresenta-se o grafo principal da FAE nacional no período de 1983-2013.

Figura 6 - Rede de colaboração dos 50 pesquisadores nacionais e coautores internacionais mais produtivos da FAE (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

Na rede de colaboração, os nós representam a comunidade científica da FAE brasileira e as ligações os trabalhos publicados em coautoria. A distribuição dos atores foi realizada com auxílio do *software* UCINET (Netdraw). De maneira a evitar a sobreposição, alguns nós foram moderadamente reposicionados dentro do grafo principal. Adotou-se o mesmo procedimento para a composição das redes de colaboração entre instituições e entre países. Otte e Rousseau (2002) afirmam que a ARS é uma estratégia para investigar as estruturas decorrentes das ações e interações entre os atores sociais.

Conforme classificação de Maltrás-Barba (2003), a estrutura da rede sob investigação é do tipo democrática, na qual todos os pesquisadores participam conjuntamente da divulgação dos resultados científicos por meio das publicações em coautoria. O tamanho de um nó indica a popularidade que ele tem dentro da rede de colaboração. Quanto maior for o número de conexões, maior será o grau de centralidade de um autor. Weber M. é o cientista que apresenta o maior nível de conexão dentro da rede da FAE: grau de centralidade – *degree centrality*- (1.000), proximidade –*closeness*- (1.000), intermediação –*betweenness*- (0.011).

A respeito da densidade da rede de coautoria, o indicador de 0.831 confirma a existência de um grande grupo de indivíduos altamente relacionados. Nas extremidades, observam-se alguns poucos nós com ligações mais fracas. Ao analisar a colaboração na FAE por meio das publicações indexadas na SPIRES entre 1995 e 1999, Newman (2001a, 2001b, 2001c, 2004a) observou o alto nível de agrupamento na área abordada, destacando que a força desses relacionamentos possibilita o acesso à informação dos atores e o desenvolvimento das comunidades científicas.

Nota-se que, os cinco autores com maior número de contribuições no período de 1983-2013 - Wang J., Banerjee S., Kumar A., Liu H. e Jain S. – não apresentaram os maiores graus de centralidade na rede, uma vez que não foi analisada a produção individual deles na íntegra, mas somente aqueles artigos publicados em coautoria com brasileiros. Dentre os 50 autores examinados, Pol M. E. do CBPF destacou-se como a única representante brasileira. A pesquisadora exibiu alto grau de conexão: *degree centrality* (0.940), *closeness* (0.961), *betweenness* (0.009). Comprovou-se que o grande *cluster* dentro do grafo principal é produto da participação dos autores da FAE brasileira nos grupos de pesquisa multinacionais DØ¹⁵ do FERMILAB nos EUA e CMS e DELPHI do CERN na Suíça. O predomínio de cientistas estrangeiros na rede de colaboração confirma a internacionalização da pesquisa na disciplina.

¹⁵ O experimento também conhecido como DZero estuda as interações de prótons e antiprótons em altas energias por meio do acelerador de partículas circular Tevatron. Trata-se de uma intensa busca por pistas subatômicas que revelem a origem do universo (FERMILAB, 2015, documento *on-line*).

4.2.2 Coautoria entre instituições da FAE brasileira (1983-2013)

Em estudo dos 6.350 artigos que compõem o *corpus* principal da investigação foram identificadas 1.175 instituições (170 brasileiras e 1.005 estrangeiras), representando uma média de 17,05 entidades por trabalho no período de 1983-2013. A elevada alíquota de instituições estrangeiras, 1.005 (85,54%), realça a forte internacionalização da pesquisa brasileira da FAE. Mediante análise da distribuição das medidas, confirmou-se a oscilação do número de instituições por artigo. O valor central da mediana indica que 50% dos artigos tem menos de 2 instituições e que 50% dos artigos tem mais de 2 instituições. Mais uma vez, o fato de a média apresentar uma dimensão maior do que a mediana e a moda implica uma distribuição assimétrica, o que é confirmado pelo coeficiente com valor positivo (3,42). O papel dos *outliers* (trabalhos com ≥ 100 instituições) foi determinante para o acréscimo da média. Na análise de colaboração entre instituições foram somente avaliadas entidades diferentes. Aprecia-se que apenas 5.886 artigos apresentaram instituições vinculadas ao campo C1. Os 464 restantes, 254 (1983-1992) e 210 (1993-2002), não incluíram informações referentes ao endereço na WoS. A parcela de trabalhos com insuficiência de dados (7,30%) foi desconsiderada nas análises de instituições e países. Na Tabela 12, observa-se a distribuição de instituições por artigo da FAE brasileira indexado na WoS.

Tabela 12 - Distribuição de instituições por artigo da FAE brasileira indexado na WoS (1983-2013)

	1983-1992	1993-2002	2003-2013	1983-2013
Média de instituições	3,74	6,38	22,91	17,05
Mediana	1	2	2	2
Moda	1	1	2	1
Assimetria	4,96	3,21	2,72	3,42
N. mínimo de instituições	1	1	1	1
N. máximo de instituições	54	65	227	227
N. de artigos	295	1.743	3.848	5.886
N. de artigos sem filiação	254	210	..	464

Fonte: dados da pesquisa

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Na análise por série temporal, comprovou-se o crescimento constante da média de instituições por artigo; 1983-1992 (3,74), 1993-2002 (6,38), 2003-2013 (22,91). Em termos comparativos, a média de 17,05 para o período de 1983-2013 se mostra superior aos 11

exibidos por Calero (2009) para os artigos em coautoria institucional da Física de Partículas espanhola indexados no SCI entre 2000 e 2005 e aos 3,6 apresentados por Vanz (2009) para os trabalhos em colaboração da Física brasileira no período de 2004-2006. O número máximo de entidades por registro variou de 54 em 1983-1992 para 227 em 2003-2013, ocasionando intervalos altos para os três períodos (53, 64, 226).

Com base nas mensurações descritivas acima apresentadas, percebeu-se que a colaboração entre instituições na FAE brasileira acontece de maneira acentuada, confirmando a presença de grandes consórcios de entidades com base na porcentagem de artigos com ≥ 51 (11,64%) do total. Em estudo da coautoria internacional na Física e subcampos por meio dos artigos indexados no SCI e *Physics Briefs* no período de 1981-1985, Braun et al. (1992) alegam que a ciência se tornou uma verdadeira associação de empresas e instituições acadêmicas, independentemente das fronteiras geográficas e geopolíticas.

Uma análise mais detalhada dos artigos com o maior número de instituições coautoras (227, 226) mostrou que os mesmos foram publicados nos periódicos *Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics* e *European Physical Journal C* pelo grupo da Colaboração ATLAS do CERN no biênio 2012-2013. Na Tabela 13, apresenta-se a frequência de artigos publicados em colaboração institucional por períodos.

Tabela 13 - Número de instituições vinculadas aos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)

N. de instituições	1983-1992			1993-2002			2003-2013			1983-2013		
	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %
1	160	54,24	54,24	664	38,10	38,10	1.044	27,13	27,13	1.868	31,74	31,74
2	61	20,68	74,92	516	29,60	67,70	1.082	28,12	55,25	1.659	28,19	59,93
3	20	6,78	81,70	229	13,14	80,84	624	16,22	71,46	873	14,83	74,76
4	12	4,07	85,77	77	4,42	85,26	224	5,82	77,29	313	5,32	80,08
5 a 10	6	2,03	87,80	88	5,05	90,31	184	4,78	82,07	278	4,72	84,80
11 a 15	28	9,49	97,29	17	0,98	91,28	39	1,01	83,08	84	1,43	86,23
16 a 20	3	1,02	98,31	17	0,98	92,26	9	0,23	83,32	29	0,49	86,72
21 a 50	1	0,34	98,65	32	1,84	94,10	64	1,66	84,98	97	1,65	88,37
≥ 51	4	1,36	100,00	103	5,91	100,00	578	15,02	100,00	685	11,64	100,00
Total	295	100,00	..	1.743	100,00	..	3.848	100,00	..	5.886	100,00	..

Fonte: dados da pesquisa

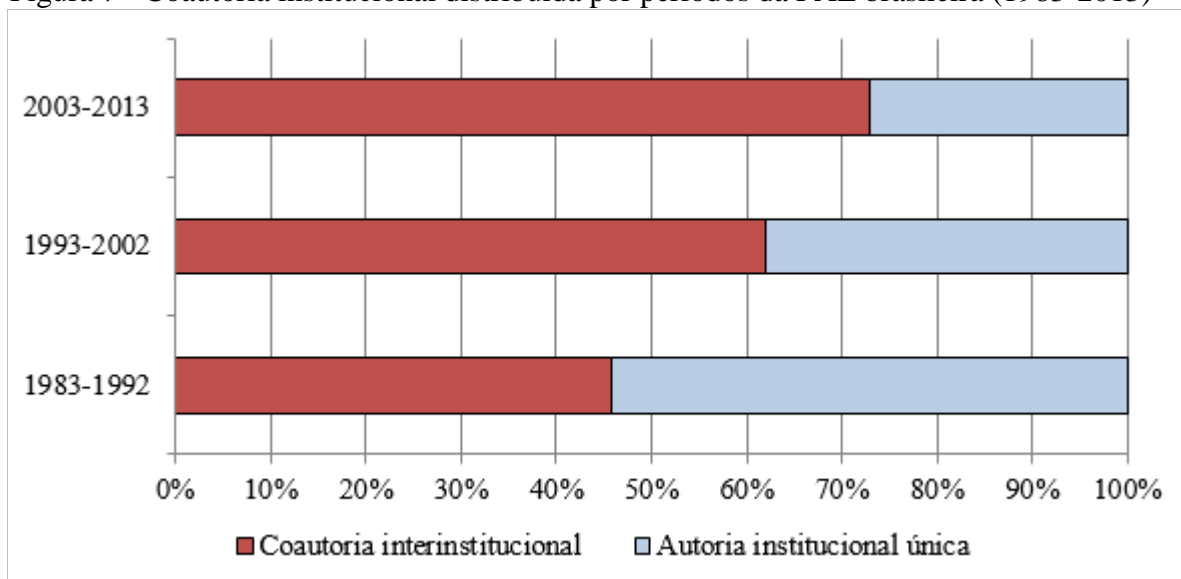
Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Ao investigar a colaboração entre instituições na FAE brasileira no período de 1983-2013, notou-se que apenas 31,74% dos artigos foram escritos por uma única instituição. A taxa encontrada é superior aos 16,72% apresentados por Calero (2009) para os trabalhos da Física de Partículas e Campos espanhola escritos sem coautoria no período de 2000-2005 e levemente inferior aos 33,90% exibidos por Vanz (2009) para os artigos da Física brasileira indexados no SCI entre 2004 e 2006. Na série temporal ponderada, houve um decréscimo consecutivo da alíquota de trabalhos sem coautoria institucional; (54,24%) em 1983-1992, (38,10%) em 1993-2002, (27,13%) em 2003-2013.

A diminuição percentual do número de *papers* com autoria institucional única se contrapõe com o aumento do número de artigos com ≥ 51 entidades: (1,36%) em 1983-1992, (5,91%) em 1993-2002, (15,02%) em 2003-2013. A partir do considerável crescimento do último período, infere-se uma maior participação das instituições brasileiras nos grandes projetos multinacionais da FAE. Décadas passadas, Price (1976) sustentava a ideia de que um número reduzido de laboratórios especializados como, por exemplo, o Brookhaven nos Estados Unidos, viabiliza a colaboração entre pesquisadores de diferentes instituições por meio da troca de informações e conhecimentos. Observa-se que 68,26% dos trabalhos apresenta colaboração entre duas ou mais entidades. Verificou-se que 15,56% dos registros apresentam ≥ 10 instituições. A porcentagem é amplamente superior aos 3,3% registrados por Vanz (2009).

A colaboração científica entre instituições ou países em diversos campos aumentou consideravelmente nos últimos anos, sendo que algumas áreas como a Biomedicina e a Física Experimental de Altas Energias já não são a exceção à regra em termos de coautoria (LUUKKONEN et al., 1993; GLÄNZEL; SCHUBERT, 2004). Por outro lado, a parcela de artigos de autoria única não afasta a possibilidade de que tenha existido colaboração em níveis secundários: entre indivíduos no mesmo grupo de pesquisa ou departamento; entre departamentos na mesma instituição (SUBRAMANYAM, 1983; KATZ; MARTIN, 1997). Na Figura 7, apresenta-se a coautoria institucional por períodos da FAE brasileira.

Figura 7 - Coautoria institucional distribuída por períodos da FAE brasileira (1983-2013)

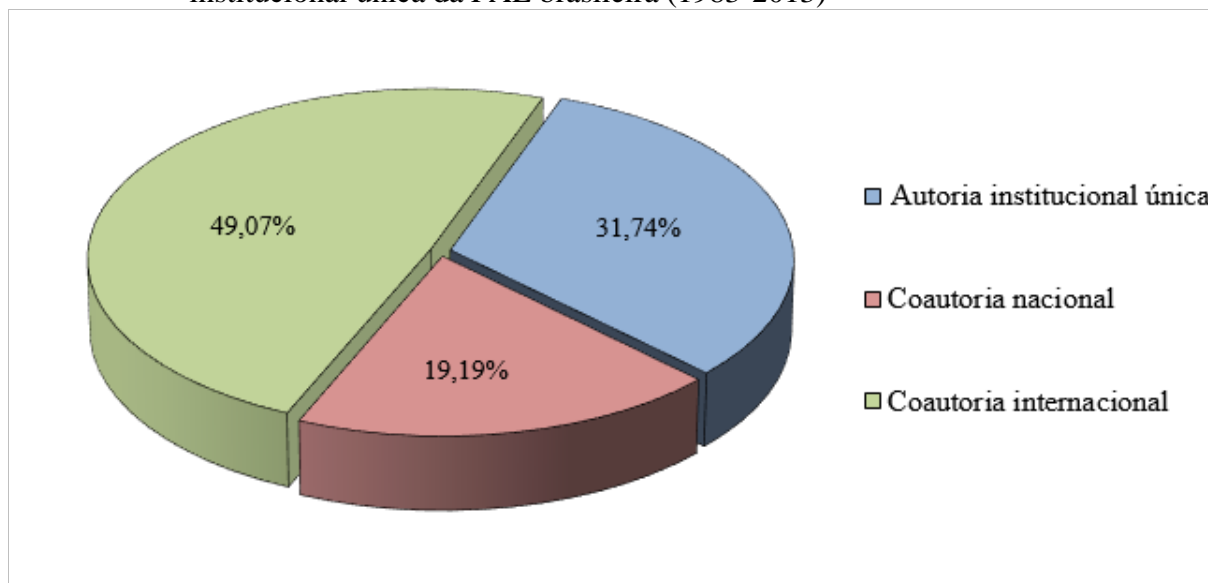


Fonte: dados da pesquisa

Em estudo da colaboração entre instituições por série temporal, verificou-se o crescimento contínuo do número de publicações em coautoria: 1983-1992 (45,76%), 1993-2002 (61,90%), 2003-2013 (72,87%). Os resultados seguem a tendência da colaboração entre indivíduos destacada anteriormente. Em contrapartida, o percentual do número de documentos com autoria institucional única diminuiu ao longo dos anos.

A colaboração científica da FAE brasileira expressa nos 4.018 artigos publicados no período de 1983-2013 constitui-se de 1.130 trabalhos (28,12%) escritos em coautoria entre pesquisadores filiados a instituições nacionais e 2.888 (71,88%) escritos em coautoria entre pesquisadores filiados a instituições nacionais e internacionais. Quando considerado o total de artigos avaliados (5.886), os trabalhos em colaboração nacional representam 19,19%, enquanto a proporção de publicações em colaboração internacional é de 49,07%. No Gráfico 4, visualiza-se a distribuição dos artigos indexados na WoS segundo o tipo de colaboração, incluindo o percentual de publicações em autoria institucional única.

Gráfico 4 - Proporção de artigos em colaboração nacional, internacional e com autoria institucional única da FAE brasileira (1983-2013)

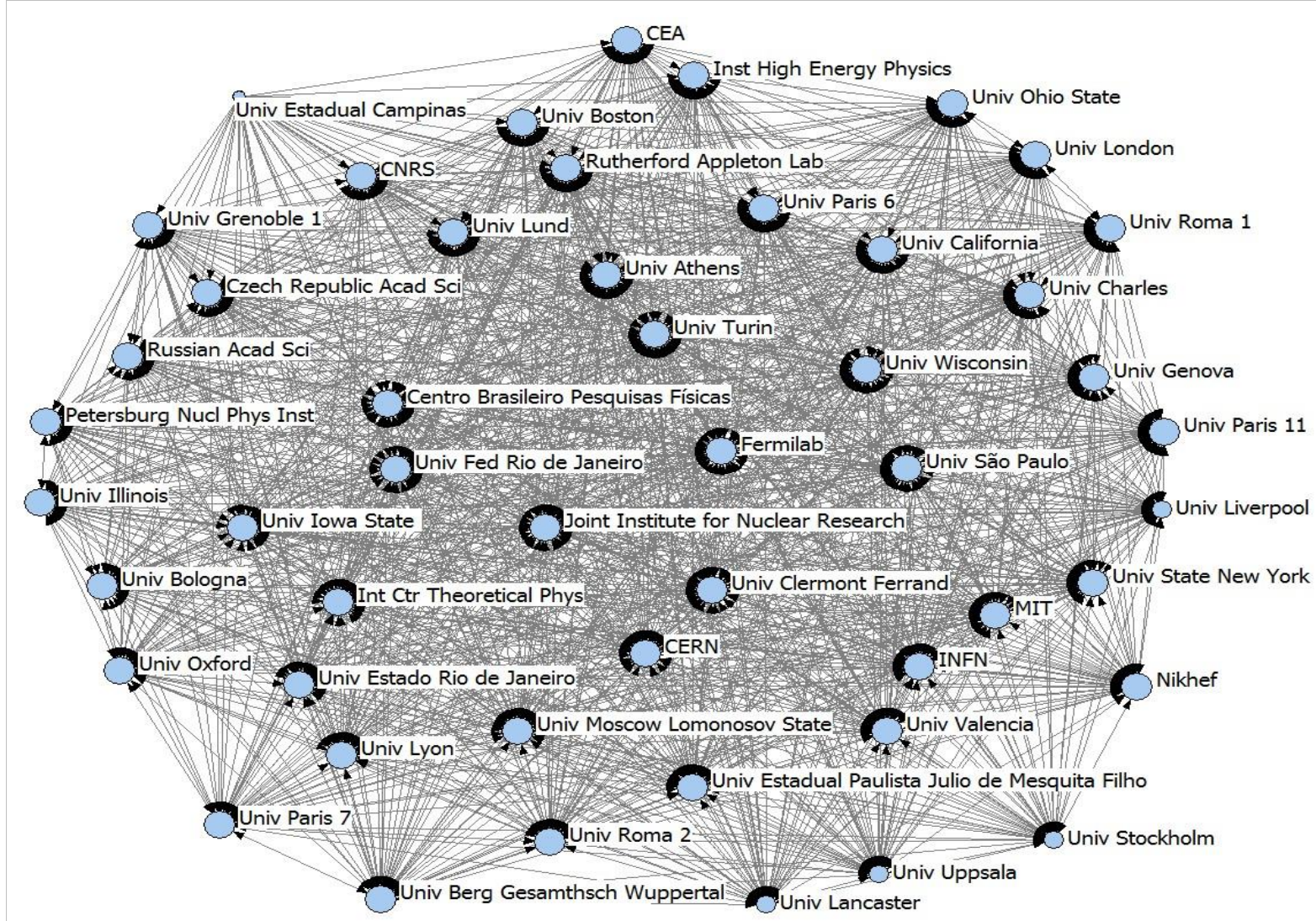


Fonte: dados da pesquisa

O predomínio de cientistas filiados a entidades estrangeiras na rede de colaboração institucional da FAE brasileira confirma, mais uma vez, o alto índice de internacionalização da pesquisa na disciplina investigada. A parcela de artigos em coautoria nacional é amplamente inferior aos 41,4%, 43,4% e 44,3% exibidos por Vanz e Stumpf (2012) para as publicações em colaboração entre instituições brasileiras indexadas na WoS nos anos de 2004, 2005 e 2006 respectivamente. Nagpaul e Sharma (1994) expressam que a Física Nuclear e a Física de Partículas são os dois subcampos mais importantes da Física em termos de colaboração transnacional. Assim como em outros países, o nível de coautoria internacional na FAE brasileira é consistentemente mais alto do que na ciência em geral.

Por intermédio de ARS, buscou-se aprofundar o conhecimento sobre a colaboração científica institucional na FAE. O conjunto de dados correspondeu às 50 entidades nacionais e internacionais mais produtivas (até 368 artigos). Na Figura 8, apresenta-se o grafo correspondente à rede de coautoria das instituições com maior número de contribuições no período de 1983-2013.

Figura 8 - Rede de colaboração das 50 instituições nacionais e coautoras internacionais mais produtivas da FAE (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

De acordo com a classificação de Maltrás-Barba (2003), a estrutura da rede em estudo é do tipo democrática, na qual todas as instituições participam simultaneamente da divulgação das descobertas científicas por meio dos trabalhos em colaboração. Wasserman e Faust (1994) comentam que em ARS, o ambiente social é definido pelas relações estabelecidas a partir da interação entre as unidades. O tamanho e o posicionamento dos nós indicam o peso das instituições com referência ao número de artigos publicados em coautoria. Verificou-se que da totalidade de entidades do grafo, 45 possuem o mesmo nível de conexão dentro da rede da FAE: grau de centralidade – *degree centrality*- (0.980), proximidade –*closeness*- (0.987), intermediação –*betweenness*- (0.005). As cinco instituições nacionais com maior número de contribuições na série temporal analisada foram distinguidas dentro desse seletivo grupo (USP, CBPF, UNESP, UFRJ, UERJ). Em termos de relacionamentos, o grafo evidencia a robustez estrutural da rede institucional da FAE nacional.

A respeito da densidade da rede de coautoria, o indicador de 0.997 confirma a existência de um grande *cluster* de instituições altamente conectadas. Nas extremidades, visualizam-se alguns poucos nós em tamanho menor com ligações mais fracas: UNICAMP (Brasil), Univ. Stockholm e Univ. Uppsala (Suécia), Univ. Lancaster e Univ. Liverpool (Inglaterra). O nível de agrupamento institucional na FAE revela a alta concentração da pesquisa em um número reduzido de instituições, com destaque preponderante para as universidades. Alguns centros especializados de países com tradição na Física Nuclear e na Física de Altas Energias emergem no grafo principal: CNRS e CEA (França), INFN (Itália), *Joint Institute for Nuclear Research* e *Institute for High Energy Physics* (Rússia). O papel de laboratórios experimentais norte-americanos e europeus na constituição de parcerias institucionais, FERMILAB (EUA) e CERN (Suíça), é claramente discernível. As seis entidades nacionais mais produtivas da rede de coautoria pertencem aos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. A disposição espacial das instituições brasileiras supõe pensar que o CBPF, a UFRJ e a UERJ cooperam mais entre elas no RJ e a USP e a UNESP mais em SP, evidenciando-se que a proximidade geográfica é um dos fatores principais na colaboração (KATZ, 1994).

Com relação aos parceiros da FAE no período observado, a lista das primeiras instituições que publicaram em coautoria com universidades e institutos brasileiros inclui nomes conhecidos no mundo da investigação científica. Em análise da colaboração nacional entre 1998 e 2007, Adams e King (2009) descobriram que as principais coautoras do Brasil são instituições consideradas referência na pesquisa de excelência internacional, sendo elas: Univ. Paris 6 e CNRS (França), INFN (Itália), Univ. Oxford (Inglaterra), Univ. Lund

(Suécia). Com base na filiação dos autores das publicações da FAE mundial indexadas na SPIRES em 2005, Mele et al. (2006) realçam a importância da contribuição do *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* para a área em termos de financiamento. Vanz (2009) destaca a representatividade da Física na colaboração do Brasil com algumas instituições estrangeiras com o *Joint Institute for Nuclear Research* da Rússia, 89,7% do total. Outras entidades mencionadas pela autora - *Institute for High Energy Physics* (87,5%), INFN (80%), Univ. Lund (71,6%) – são claramente distinguidas no grafo principal da FAE. Os resultados denotam a maturidade e a qualidade do campo analisado, que segundo Chaves et al. (2007) refletem no número de colaborações internacionais e publicações em coautoria com centros prestigiosos.

Com a finalidade de estimar a colaboração científica somente entre instituições nacionais da FAE, analisou-se o conjunto de artigos publicados em coautoria entre diferentes entidades brasileiras.

Em estudo dos 2.998 artigos nacionais que compõem o *corpus* principal da investigação foram identificadas 154 instituições, representando uma média de 1,49 entidades por trabalho no período de 1983-2013. Os resultados mostram um decréscimo significativo da média em relação à Tabela 12. O valor da média revela a baixa dispersão da pesquisa da FAE entre as instituições nacionais. Novamente, as medidas descritivas obtidas indicam uma distribuição assimétrica, o que é confirmado pelo coeficiente com valor positivo (1,56). A mediana e a moda são constantes (1), confirmando a tênue colaboração institucional quando consideradas somente as entidades nacionais. O número máximo de instituições por artigo na série temporal foi registrado em cinco. Na Tabela 14, observa-se a distribuição de instituições brasileiras por artigo da FAE indexado na WoS.

Tabela 14 - Distribuição das instituições nacionais por artigo da FAE brasileira indexado na WoS (1983-2013)

	1983-1992	1993-2002	2003-2013	1983-2013
Média de instituições	1,15	1,35	1,60	1,49
Mediana	1	1	1	1
Moda	1	1	1	1
Assimetria	2,29	2,04	1,30	1,56
N. mínimo de instituições	1	1	1	1
N. máximo de instituições	3	5	5	5
N. de artigos	187	929	1.882	2.998

Fonte: dados da pesquisa

Na análise por série temporal, observou-se um moderado crescimento da média de instituições por artigo; 1983-1992 (1,15), 1993-2002 (1,35), 2003-2013 (1,60). O número máximo de entidades por registro variou de 3 em 1983-1992 para 5 em 2003-2013, ocasionando intervalos baixos (2, 4, 4) em relação aos dados apresentados na Tabela 12. A escassa representatividade do número de instituições nacionais (14,46%) com relação à totalidade de ocorrências pode ser considerada outro indicador da forte colaboração internacional da pesquisa brasileira da FAE em termos de coautoria.

Uma análise mais detalhada dos nove artigos com o maior número de instituições nacionais coautoras (5) mostrou que os mesmos foram publicados nos periódicos internacionais *Physical Review D* (2), *Journal of High Energy Physics* (2), *Modern Physics Letters A* (2), *European Physical Journal C*, *European Physical Journal A*, *International Journal of Modern Physics A* nos períodos 1993-2002 (3) e 2003-2013 (6). Na Tabela 15, apresenta-se a frequência de artigos publicados em colaboração institucional em nível nacional e autoria única por períodos.

Tabela 15 - Número de instituições nacionais vinculadas aos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)

N. de instituições	1983-1992			1993-2002			2003-2013			1983-2013		
	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %
1	160	85,56	85,56	664	71,47	71,47	1.044	55,47	55,47	1.868	62,31	62,31
2	26	13,90	99,46	217	23,36	94,83	607	32,25	87,72	850	28,35	90,66
3	1	0,53	100,00	40	4,31	99,13	180	9,56	97,29	221	7,37	98,03
4	..	..	..	5	0,54	99,67	45	2,39	99,68	50	1,67	99,70
5	..	..	..	3	0,32	100,00	6	0,32	100,00	9	0,30	100,00
Total	187	100,00	..	929	100,00	..	1.882	100,00	..	2.998	100,00	..

Fonte: dados da pesquisa

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Ao investigar a colaboração científica em nível nacional da FAE brasileira no período de 1983-2013, observou-se um elevado número de artigos escritos por uma única instituição (62,31%). A alíquota encontrada é amplamente superior aos 31,74% apresentados na Tabela 13. Na série temporal avaliada, houve um decréscimo consecutivo da taxa de trabalhos sem coautoria nacional; (85,56%) em 1983-1992, (71,47%) em 1993-2002, (55,47%) em 2003-2013.

A queda percentual do número de *papers* com autoria institucional única se contrapõe com o acréscimo do número de artigos com 2 entidades (13,90%) em 1983-1992, (23,36%) em 1993-2002, (32,25%) em 2003-2013. O mesmo fenômeno foi observado com a percentagem de trabalhos publicados por 3 instituições nos diferentes períodos: (0,53%), (4,31%) e (9,56%) respectivamente. A respeito das publicações com 4 entidades, registrou-se um moderado crescimento entre 1993-2002 (0,54%) e 2003-2013 (2,39%). Nos artigos com 5 instituições, a taxa se manteve estável (0,32%).

Apesar do aumento do número de publicações em coautoria da FAE por período analisado, nota-se a prevalência dos artigos de autoria única em nível nacional. A taxa de trabalhos em colaboração entre 2 ou mais instituições (37,69%) é pouco representativa quando comparada aos 68,26% exibidos na Tabela 13. Infere-se a preferência pela colaboração institucional em nível internacional na Física de Altas Energias brasileira por causa dos custos econômicos. Bourdieu (2004) entende que o grau de autonomia de uma ciência depende do grau de necessidade de recursos econômicos que ela exige para se concretizar. Por outro lado, Chaves e Shellard (2005) expressam que a FAE ainda precisa definir políticas coerentes e consistentes que permitam a sua consolidação em termos de colaboração: extensão do investimento, manutenção da infraestrutura, criação de Laboratórios Nacionais, absorção de tecnologia, incentivo às investigações, ampliação do número de programas de pós-graduação.

Através de ARS, procurou-se aprofundar o conhecimento sobre a colaboração científica da FAE em nível nacional. Os dados ponderados na análise corresponderam às 50 instituições brasileiras mais produtivas (até 12 artigos). Na Figura 9, apresenta-se o grafo correspondente à rede de coautoria das instituições nacionais com maior número de contribuições no período de 1983-2013.

A rede composta pelas instituições nacionais com ≥ 12 artigos totalizou 50 nós e 664 laços. O tamanho e o posicionamento dos nós indicam o peso das entidades com relação ao número de trabalhos publicados em coautoria. A baixa densidade (0.271) confirma a escassa robustez estrutural da rede de colaboração das instituições nacionais da FAE em relação à apresentada na Figura 8.

A partir de análise da estrutura da rede, verificou-se a existência de quatro *clusters* conforme regiões geográficas do Brasil na série temporal estudada. Esse indicador mostra que a proximidade entre dois ou mais parceiros serve como estímulo para a colaboração (KATZ, 1994). As instituições com maior grau de centralidade (*degree centrality*), proximidade (*closeness*) e intermediação (*betweenness*) pertencem à região Sudeste (*cluster* azul): CBPF (0.740, 0.851, 0.068); UNESP (0.740, 0.851, 0.073); USP (0.720, 0.841, 0.078); UFRJ (0.680, 0.822, 0.063). Observa-se que a USP e a UNESP apresentam o maior grau de intermediação (0.078 e 0.073), significando que esses atores desempenham o papel de conectar os diferentes grupos existentes e de controlar as informações que circulam na rede e o trajeto que elas podem percorrer (MARTELETO, 2001; OTTE; ROUSSEAU, 2002). Já a UFRJ ostenta o menor grau de proximidade dentre as quatro instituições (0.822), indicando que ela está menos relacionada com os outros nós. Verificou-se que as quatro entidades citadas são também as que detêm as primeiras posições no *ranking* de produtividade. Nesse agrupamento, nota-se uma supremacia de instituições (universidades públicas e centros de pesquisa) do eixo Rio de Janeiro-São Paulo. Percebe-se que existe uma intensa colaboração entre esses dois tipos de entidades. Em nível estadual, notou-se uma maior desconcentração da atividade científica em São Paulo, visto que as instituições do interior contribuem substancialmente para a produtividade da FAE. Segundo a FAPESP (2011), o bom desempenho do estado é consequência de políticas públicas bem-sucedidas. A agência de fomento citada acrescenta que o mesmo dinamismo não ocorre em igual proporção em outros estados como Rio de Janeiro e Belo Horizonte, onde as pesquisas se concentram nas capitais.

O *cluster* marrom encontra-se representado pelas instituições da região Nordeste, dentre elas: UFPB, UFRN, UFMA e UFCG. A UFPB apresenta o maior grau de centralidade do grupo (0.540). Além disso, é a quinta instituição mais produtiva, servindo de ponte para conectar as entidades periféricas da região com o *cluster* principal. O *cluster* verde é conformado por instituições da região Sul, sendo algumas delas: UFRGS, UEL, UFSC, UFSM, UNIPAMPA e UFPel. A UFRGS exibe o maior grau de centralidade, proximidade e intermediação dentro desse conglomerado (0.340, 0.692, 0.020). O posicionamento da entidade destacada no grafo principal denota uma preferência pela colaboração com

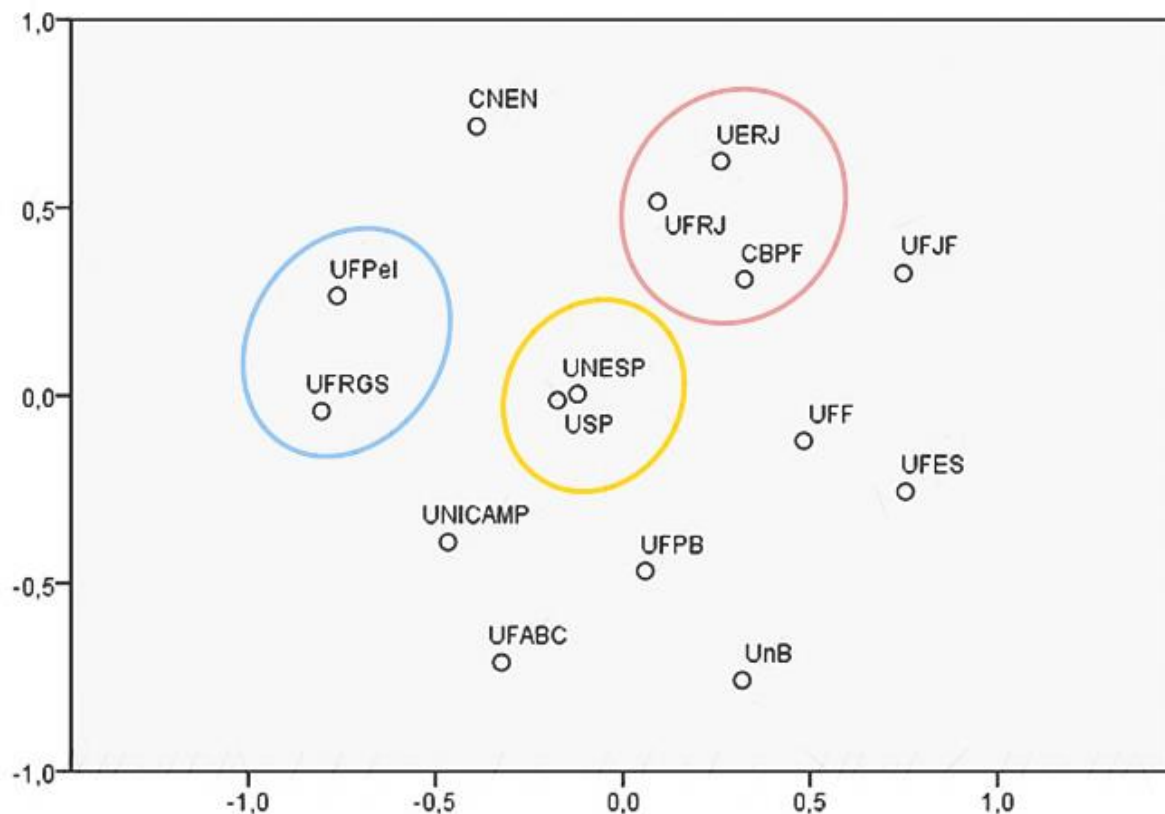
universidades e centros de pesquisa paulistas. Em nível estadual, constatou-se uma maior descentralização da atividade científica no Rio Grande do Sul, dado que as instituições do interior - UFSM, FURG, UNIPAMPA, UFPel - contribuem abertamente para a produção da FAE. No RS, a proximidade regional motiva a colaboração, dando-se importância para a comunicação informal e a interação face-a-face (KATZ, 1994). Bozeman e Lee (2003) certificam que a maioria dos cientistas colabora mais com aqueles que fazem parte do seu ambiente cotidiano, podendo ter como causa a redução de custos e a promoção de pesquisas que não poderiam ser facilmente realizadas por comunicações remotas. Esse padrão de colaboração regional foi detectado por Katz (1994) quando comprovou que as colaborações diminuem exponencialmente com a distância geográfica que separa os cientistas institucionais. O *cluster* vermelho exhibe o conjunto de instituições do Centro-Oeste: UnB, CEFET, IFECT, UFMT, CNPq. A disposição dos nós no grafo indica uma maior colaboração com entidades das regiões Sudeste e Nordeste. Por último, na parte superior da Figura 9 distingue-se em amarelo a única entidade representante da região Norte (UFPA), demonstrando maior proximidade com as instituições do núcleo central (*cluster* azul) em termos de colaboração.

Em comparação com os dados da Tabela 9, percebeu-se uma variação no *ranking* institucional, o CBPF e a UERJ descenderam para o terceiro e sétimo lugar respectivamente, enquanto a UNESP e a UFPB subiram para o segundo e quinto. Esses dados indicam que as duas primeiras entidades são mais representativas na rede de colaboração internacional e as duas últimas na rede de colaboração nacional.

Com o objetivo de identificar padrões de colaboração entre as 15 instituições nacionais mais produtivas da FAE no período de 1983-2013, realizaram-se análises de Escalonamento Multidimensional (MDS) e de Agrupamento (*cluster*).

Conforme Hair et al. (2009), as técnicas MDS posicionam os objetos A e B de modo que a distância entre eles no espaço multidimensional seja menor do que a distância entre quaisquer outros pares de objetos. Os mapas perceptuais resultantes exibem a posição relativa de todos os objetos. Na análise MDS, optou-se pelo método PROXSCAL e modelo de transformação do tipo Spline. No Gráfico 5, observa-se o mapa MDS das 15 entidades com maior número de contribuições da rede de colaboração nacional da FAE.

Gráfico 5 - Mapa MDS das 15 instituições mais produtivas da rede de colaboração nacional da FAE (1983-2013)

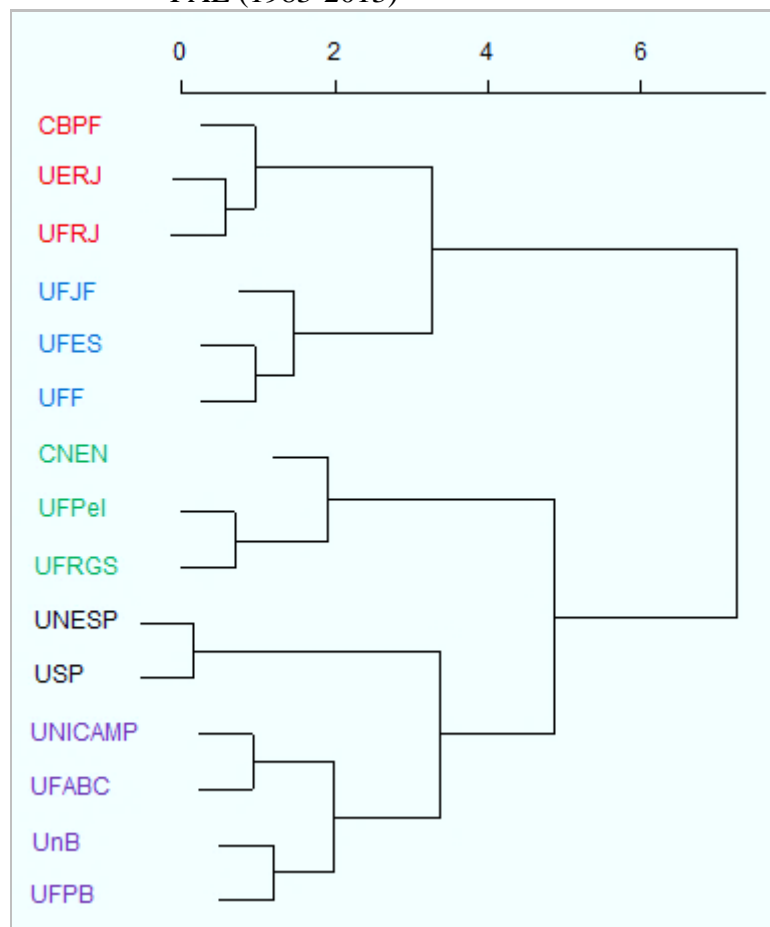


Fonte: dados da pesquisa

O *Stress*, que mede a qualidade de ajuste entre as distâncias de configuração e as disparidades (MANLY, 2008), foi de 0,09029. O agrupamento das instituições mais produtivas no mapa perceptual revela um padrão regional de colaboração. Esse indicador confirma a teoria de que a proximidade geográfica propicia a interação entre dois ou mais parceiros. Aprecia-se a conformação de grupos em nível estadual: USP e UNESP (São Paulo); UERJ, UFRJ e CBPF (Rio de Janeiro); UFPel e UFRGS (Rio Grande do Sul).

Manly (2008) explica que o princípio da análise de *clusters* é agrupar os objetos em classes de modo que objetos similares estejam na mesma classe. No estudo de agrupamentos, optou-se pelo método de Ward e distância euclidiana quadrada. No Gráfico 6, observa-se o dendrograma obtido da análise de agrupamentos hierárquica para as 15 instituições com maior número de contribuições da rede de colaboração nacional da FAE.

Gráfico 6 - Dendrograma da colaboração institucional em nível nacional da FAE (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

O dendrograma gerado confirma os resultados apresentados na análise MDS a respeito da preferência por estabelecer parcerias com aquelas instituições geograficamente mais próximas. Identificaram-se agrupamentos em diferentes níveis de distância. Em torno de 3,50 têm-se dois *clusters*: o primeiro conformado por entidades do Rio de Janeiro (CBPF, UERJ, UFRJ, UFF); Espírito Santo (UFES); Minas Gerais (UFJF) e o segundo composto por instituições de São Paulo (USP, UNESP, UNICAMP, UFABC); Paraíba (UFPB); Distrito Federal (UnB). Em nível de distância próximo de cinco, destaca-se a integração de entidades gaúchas como a UFRGS e UFPel. Níveis menores de separação revelam a interação entre as universidades públicas e os centros de pesquisa como o CBPF e o CNEN.

4.2.3 Coautoria entre países da FAE brasileira (1983-2013)

Em análise dos 6.350 artigos que compõem o *corpus* principal da pesquisa foram identificadas 77 nações, representando uma média de 4,87 países por publicação no período

de 1983-2013. Os resultados das medições indicam uma distribuição assimétrica, o que é confirmado pelo coeficiente com valor positivo (2,90). Os valores da mediana e a moda quase não sofreram alterações. O valor de 1 indica que a metade dos artigos foram escritos somente por pesquisadores brasileiros. O número máximo de países por artigo na série temporal foi registrado em 43. Aprecia-se que apenas 5.886 artigos apresentaram países vinculados ao campo C1. Os 464 restantes não incluíram informações referentes ao endereço na WoS. A parcela de trabalhos com insuficiência de dados (7,30%) foi desconsiderada nas análises de instituições e países. Na Tabela 16, observa-se a distribuição de países por artigo da FAE brasileira indexado na WoS.

Tabela 16 - Distribuição dos países por artigo da FAE brasileira indexado na WoS (1983-2013)

	1983-1992	1993-2002	2003-2013	1983-2013
Média de países	2,29	2,98	5,92	4,87
Mediana	1	1	2	1
Moda	1	1	1	1
Assimetria	3,65	3,18	2,43	2,90
N. mínimo de países	1	1	1	1
N. máximo de países	20	22	43	43
N. de artigos	295	1.743	3.848	5.886
N. de artigos sem filiação	254	210	..	464

Fonte: dados da pesquisa

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Na análise por série temporal, comprovou-se o crescimento contínuo da média de países por artigo; 1983-1992 (2,29), 1993-2002 (2,98), 2003-2013 (5,92). Em termos comparativos, a média de 4,87 para o período de 1983-2013 se mostra superior aos 3,9 apresentados por Calero (2009) para as publicações em coautoria internacional da Física de Partículas espanhola indexadas no SCI entre 2000 e 2005 e aos 1,9 exibidos por Vanz (2009) para os trabalhos em colaboração da Física brasileira entre 2004 e 2006. O número máximo de nações por registro variou de 20 em 1983-1992 para 43 em 2003-2013.

Com base nas estatísticas descritivas acima apresentadas, verificou-se novamente que a colaboração internacional na FAE brasileira acontece de maneira expressiva, confirmando a existência de grandes redes de países com base na alíquota de artigos com ≥ 4 (37,26%) da totalidade. Para a viabilização dos experimentos relacionados com os aceleradores e detectores de partículas, a FAE requer a utilização conjunta de grandes instalações e instrumentos complexos, demandando a participação de especialistas de diferentes áreas e o

aporte econômico de vários países (BORDONS; GÓMEZ, 2003; VANZ; STUMPF, 2010). De acordo com Leta e Cruz (2003), a redução de custos nas pesquisas e a multidisciplinaridade de algumas áreas são provavelmente os aspectos que mais estimulam a colaboração científica. Braun et al. (1992) afirmam que nas Ciências Espaciais, FAE, Astrofísica e Física Nuclear o custo das investigações é superior ao orçamento local da maioria dos países.

Uma análise mais detalhada dos artigos com o maior número de países coautores (43) mostrou que os mesmos foram publicados nos periódicos *Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics* e *European Physical Journal C* pelo grupo da Colaboração CMS do CERN no ano de 2013. Na Tabela 17, apresenta-se a frequência de artigos publicados em colaboração internacional e autoria única por períodos.

Tabela 17 - Número de países vinculados aos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)

(continua)

Autor	1983-1992			1993-2002			2003-2013			1983-2013		
	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %
Brasil	187	63,39	..	929	53,30	..	1.882	48,91	..	2.998	50,93	..
Brasil + 1 país	54	18,31	18,31	481	27,60	27,60	836	21,73	21,73	1.371	23,29	23,29
Brasil + 2 países	15	5,08	23,39	117	6,71	34,31	309	8,03	29,76	441	7,49	30,78
Brasil + 3 países	4	1,36	24,75	26	1,49	35,80	103	2,68	32,44	133	2,26	33,04
Brasil + 4 países	..	..	..	21	1,20	37,01	38	0,99	33,42	59	1,00	34,04
Brasil + 5 países	3	1,02	25,77	13	0,75	37,75	25	0,65	34,07	41	0,70	34,74
Brasil + 6 países	13	4,41	30,17	15	0,86	38,62	22	0,57	34,65	50	0,85	35,59
Brasil + 7 países	9	3,05	33,23	3	0,17	38,79	8	0,21	34,85	20	0,34	35,93
Brasil + 8 países	3	1,02	34,24	4	0,23	39,02	3	0,08	34,93	10	0,17	36,10
Brasil + 9 países	2	0,68	34,92	10	0,57	39,59	1	0,03	34,96	13	0,22	36,32
Brasil + 10 países	..	..	..	2	0,11	39,71	6	0,16	35,11	8	0,14	36,46
Brasil + 11 países	..	..	..	3	0,17	39,88	1	0,03	35,14	4	0,07	36,52
Brasil + 12 países	1	0,34	35,26	8	0,46	40,34	23	0,60	35,74	32	0,54	37,07
Brasil + 13 países	..	..	..	8	0,46	40,80	13	0,34	36,08	21	0,36	37,43
Brasil + 14 países	..	..	..	5	0,29	41,08	24	0,62	36,70	29	0,49	37,92
Brasil + 15 países	..	..	..	4	0,23	41,31	48	1,25	37,95	52	0,88	38,80
Brasil + 16 países	..	..	..	5	0,29	41,60	55	1,43	39,38	60	1,02	39,82
Brasil + 17 países	..	..	..	..	..	..	45	1,17	40,54	45	0,76	40,59
Brasil + 18 países	1	0,34	35,60	..	..	..	33	0,86	41,40	34	0,58	41,16
Brasil + 19 países	3	1,02	36,61	16	0,92	42,52	58	1,51	42,91	77	1,31	42,47
Brasil + 20 países	..	..	..	29	1,66	44,18	4	0,10	43,01	33	0,56	43,03
Brasil + 21 países	..	..	..	44	2,52	46,70	1	0,03	43,04	45	0,76	43,80
Brasil + 24 países	..	..	..	..	..	..	5	0,13	43,17	5	0,08	43,88
Brasil + 25 países	..	..	..	..	..	..	1	0,03	43,20	1	0,02	43,90
Brasil + 26 países	..	..	..	..	..	..	2	0,05	43,25	2	0,03	43,93
Brasil + 29 países	..	..	..	..	..	..	1	0,03	43,27	1	0,02	43,95

(conclusão)

Autor	1983-1992			1993-2002			2003-2013			1983-2013		
	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %
Brasil + 30 países	3	0,08	43,35	3	0,05	44,00
Brasil + 31 países	3	0,08	43,43	3	0,05	44,05
Brasil + 32 países	4	0,10	43,53	4	0,07	44,12
Brasil + 33 países	7	0,18	43,72	7	0,12	44,24
Brasil + 34 países	2	0,05	43,77	2	0,03	44,27
Brasil + 35 países	2	0,05	43,82	2	0,03	44,31
Brasil + 36 países	10	0,26	44,08	10	0,17	44,48
Brasil + 37 países	58	1,51	45,59	58	0,99	45,46
Brasil + 38 países	75	1,95	47,54	75	1,27	46,74
Brasil + 39 países	103	2,68	50,21	103	1,75	48,49
Brasil + 40 países	26	0,68	50,89	26	0,44	48,93
Brasil + 41 países	5	0,13	51,02	5	0,08	49,01
Brasil + 42 países	3	0,08	51,00	3	0,05	49,07
Total	108	..	36,61	814	..	46,70	1.966	..	51,00	2.888	..	49,07
Total Geral	295	100,00	..	1.743	100,00	..	3.848	100,00	..	5.886	100,00	..

Fonte: dados da pesquisa

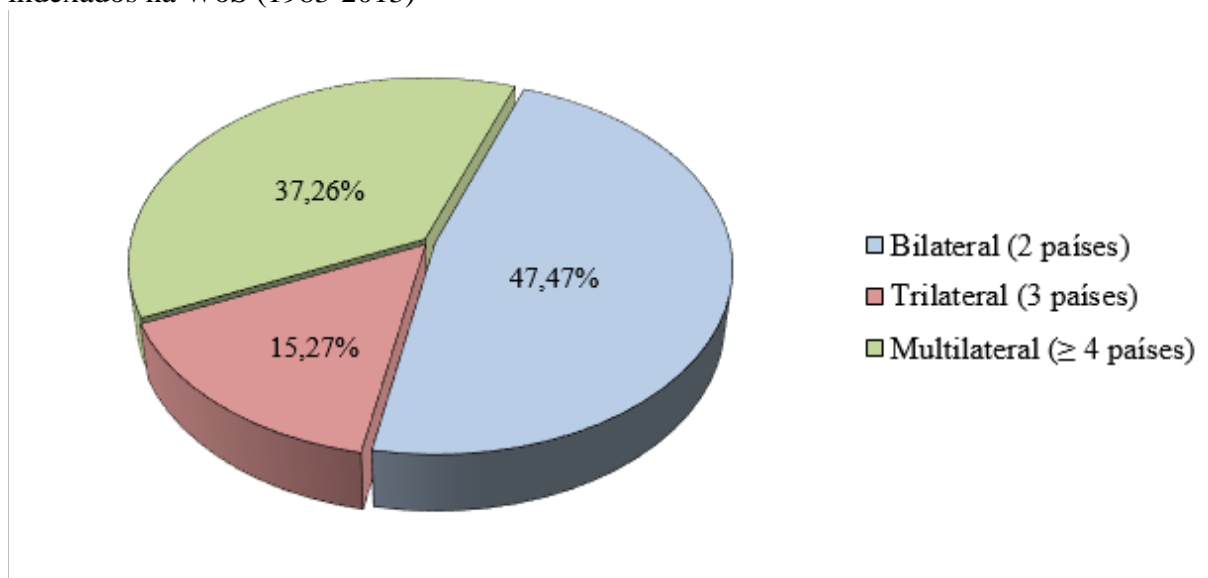
Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Ao estudar a colaboração científica internacional da FAE brasileira no período de 1983-2013, percebeu-se que somente 50,93% dos artigos foram escritos por um único país. A proporção é superior aos índices de colaboração internacional verificados na produção científica brasileira em anos recentes, onde a coautoria com autores de outros países ocorreu em aproximadamente 30% das publicações (VANZ; STUMPF, 2012; LETA; THUIS; GLÄNZEL, 2013). A taxa de 49,07% registrada também é superior aos 29,4% apresentados por Braun et al. (1992) para os artigos em coautoria da Física de Partículas brasileira indexados no SCI e *Physics Briefs* no período de 1981-1985 e aos 40% exibidos por Vanz (2009) para os artigos em coautoria da Física nacional indexados na WoS entre 2004 e 2006. No entanto, o índice de colaboração internacional da FAE é inferior aos 71% apresentados por Calero (2009) para as publicações em coautoria da Física de Partículas espanhola indexadas no SCI entre 2000 e 2005. Na série temporal avaliada, houve um decréscimo consecutivo do número de artigos de autoria única; (63,39%) em 1983-1992, (53,30%) em 1993-2002, (48,91%) em 2003-2013.

A diminuição percentual do número de *papers* sem coautoria internacional se contrapõe com o aumento do número de artigos com ≥ 2 países: (36,61%) em 1983-1992, (46,70%) em 1993-2002, (51,00%) em 2003-2013. No último período, nota-se a maior participação da FAE brasileira nas grandes redes de colaboração. Luukkonen, Persson e Sivertsen (1992) alertam que quanto menos desenvolvida a infraestrutura científica de um país, maior a tendência para a colaboração internacional. Os autores alegam que as razões econômicas, envolvendo a construção e manutenção de instalações internacionais onerosas para o trabalho experimental, podem em grande parte, explicar a elevada taxa de colaboração internacional na Física e áreas afins.

O número de documentos em colaboração internacional da FAE brasileira no SCI entre 1983-2013 é de 2.888 artigos. Levando em consideração a amplitude da coautoria; os trabalhos assinados pelo Brasil e outro país, denominada colaboração bilateral, alcança 1.371 documentos; os assinados por três países, colaboração trilateral, 441 documentos e os assinados por ≥ 4 países, colaboração multilateral, 1.076 documentos. No Gráfico 7, aprecia-se o número de nações nos artigos em coautoria internacional da FAE brasileira.

Gráfico 7 - Número de países nos artigos em coautoria internacional da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)

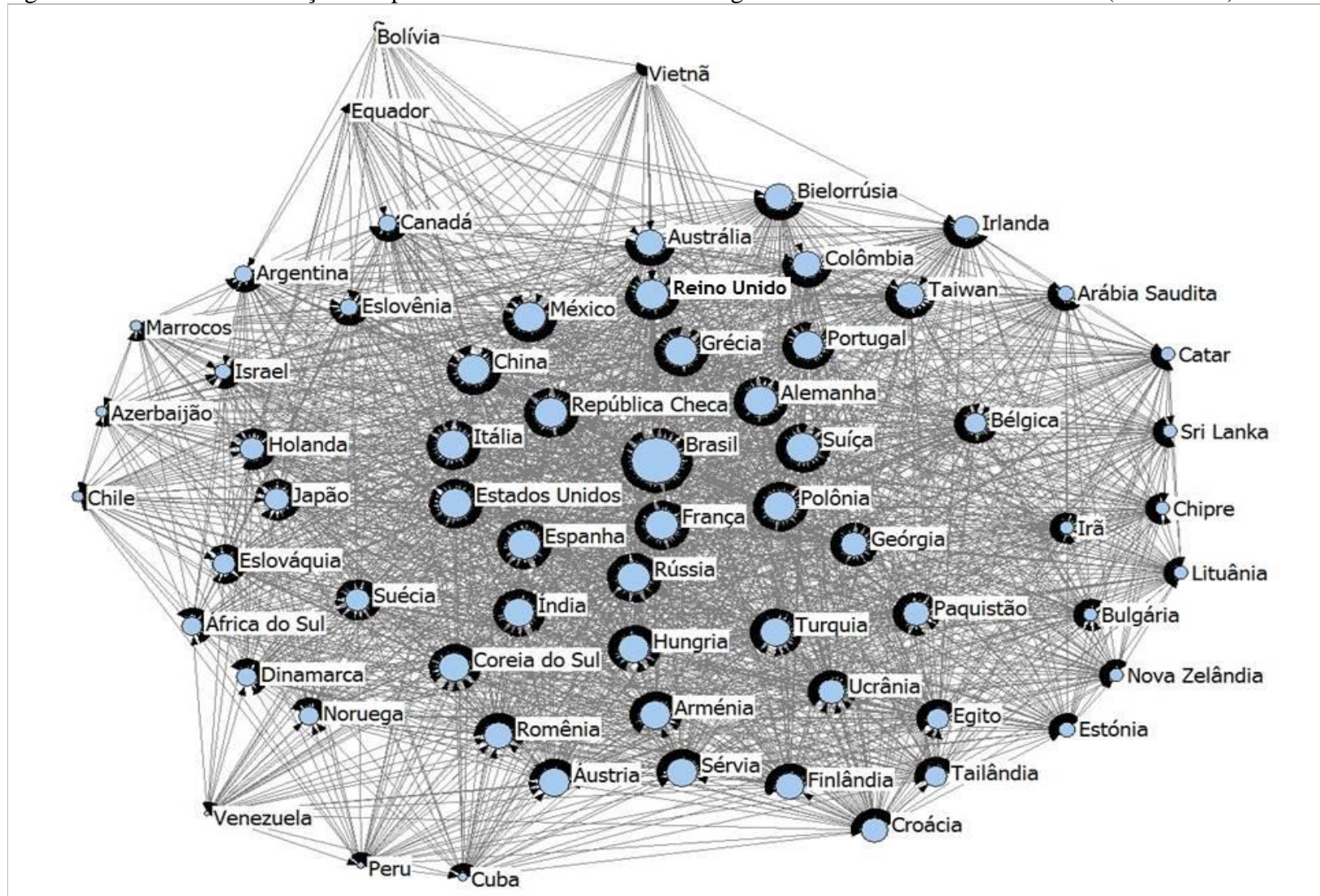


Fonte: dados da pesquisa

Os resultados revelam que pouco menos da metade dos artigos (47,47%) são escritos por autores provenientes de dois países. Os trabalhos assinados por três países representam 15,27% da totalidade de publicações em colaboração internacional. Nota-se uma expressiva taxa de artigos com ≥ 4 países (37,26%). A alíquota é amplamente superior aos 9,2% registrados por Vanz (2009) para os artigos em colaboração multilateral da produção científica brasileira no período de 2004-2006. Conforme destacado pela autora, esse resultado confirma o padrão de colaboração internacional diferenciado da FAE em relação a outras áreas científicas.

Quando reagrupados os artigos em colaboração internacional da FAE brasileira, observou-se que os documentos assinados entre 2 a 5 países representam 69,39% do total de publicações. Já os documentos assinados por ≥ 6 países representam 30,61% da produção. Em relação ao primeiro conjunto, a percentagem é inferior aos 76,96% apresentados por Calero (2009). A respeito da segunda categoria, a taxa é superior aos 23,04% exibidos pela autora citada. Infere-se que a FAE brasileira concentra mais sua colaboração na denominada “Grande Rede” do que a Física de Partículas espanhola. Na Figura 10, apresenta-se o grafo correspondente à rede de colaboração dos países com maior número de publicações em coautoria (até 8 artigos) com o Brasil no período de 1983-2013.

Figura 10 - Rede de colaboração dos países com maior volume de artigos em coautoria da FAE brasileira (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

A rede composta pelos países mais produtivos (≥ 8 artigos) totalizou 65 nós e 3.452 laços. O tamanho e o posicionamento dos nós indicam o peso dos países com relação ao número de trabalhos publicados em coautoria. A respeito da densidade, o indicador de 0.830 ratifica a robustez estrutural da rede de colaboração internacional da FAE observada nas análises de coautoria entre autores e coautoria institucional. Dentro do grafo principal, foram identificados 33 grupos ou *cliques*, sendo que a totalidade deles está representada por um número expressivo de atores (≥ 20 países). Marteleto (2001) comenta que os *cliques* estão constituídos por aqueles elos que mantêm relações mais estreitas ou mais íntimas. A autora acrescenta que, em uma rede composta de atores de origens diferentes, alguns deles desempenham, por algum tempo, o papel de ponte, fazendo com que a informação circule pelo ambiente total da rede.

A rede de coautoria da FAE brasileira mostra-se compacta. Coincidentemente com a pesquisa de Braun et al. (1992), no centro do grafo destaca-se o predomínio de países europeus com ligações mais fortes. Na periferia, observa-se um número baixo de nós com ligações mais fracas. Alguns deles constituem *clusters* regionais, sendo o caso de Venezuela, Peru e Cuba. Mais uma vez, reforça-se a teoria de que a proximidade geográfica, a cultura, a língua, os costumes e as questões sociopolíticas são fatores que afetam o nível de colaboração entre dois ou mais países (KATZ, 1994). Esse fenômeno também foi observado por Braun et al. (1992) ao estudar a topologia e dinâmica da rede de colaboração internacional da Física de Partículas no período de 1981-1985.

Por apreenderem um número maior de vínculos, os países com maior grau de centralidade (*degree centrality*), proximidade (*closeness*) e intermediação (*betweenness*) no período foram: Brasil, Alemanha, China, Espanha, Estados Unidos, França, Grécia, Itália, México, República Tcheca, Polônia e Reino Unido com (0.985, 0.990, 0.008). A Rússia e a Suíça também foram identificadas dentre os países com maior *betweenness*. O nível de agrupamento na FAE revela a alta centralização da investigação científica em um número relativamente baixo de países, com destaque para aqueles com maior tradição na área: Estados Unidos (América do Norte); França, Itália, Alemanha, Rússia, Reino Unido (Europa).

Com o objetivo de gerar diferentes informações, utilizaram-se indicadores absolutos e relativos no estudo da colaboração internacional da FAE brasileira. A partir de dados brutos, na Tabela 18 exibe-se a relação dos 20 países (até 391 artigos) que mais colaboraram com o Brasil no período contemplado.

Tabela 18 - Países com maior volume de publicações em colaboração da FAE brasileira (1983-2013)

País	Artigos em coautoria	%
Estados Unidos	1.399	6,10
Rússia	1.042	4,56
França	994	4,34
Alemanha	991	4,32
Reino Unido	961	4,19
Itália	959	4,18
Espanha	818	3,57
Polônia	704	3,07
Suíça	693	3,02
China	660	2,88
Rep. Tcheca	635	2,77
Holanda	623	2,72
Portugal	565	2,47
Grécia	508	2,22
Suécia	482	2,10
Áustria	460	2,01
Colômbia	441	1,92
México	424	1,85
Índia	420	1,83
Bélgica	391	1,71

Fonte: dados da pesquisa

Os indicadores absolutos revelam que os Estados Unidos é o principal parceiro do Brasil em termos de coautoria no período de 1983-2013, representando 6,10% do total da colaboração internacional. A alíquota é inferior aos 13,4% exibidos por Vanz (2009) e aos 16,69% apresentados por Calero (2009) para as coautorias da Física brasileira e espanhola com esse país respectivamente. Por outro lado, nota-se uma forte presença de nações europeias dentre as primeiras 20 mais colaborativas. A Rússia é a segunda nação com maior participação nas publicações da FAE brasileira, constituindo 4,56% da totalidade de ocorrências. A seguir, tem-se a colaboração com países de ampla trajetória na pesquisa experimental e integrantes do grupo de Estados-Membros do CERN, sendo eles: França (4,34%), Alemanha (4,32%), Reino Unido (4,19%), Itália (4,18%). De acordo com Mele et al. (2006) e Krause, Lindqvist e Mele (2007), esses colaboradores do Brasil estão entre os países mais proeminentes da produção mundial da Física de Altas Energias. Logo após, vislumbram-se Espanha (3,57%), Polônia (3,07%), Suíça (2,88%). A nona posição é ocupada por uma nação asiática, a China com 2,88% de colaboração. Dentre os países sul-americanos com maior volume de publicações em coautoria, destaca-se a Colômbia com 1,92% da totalidade de casos.

Os principais países colaboradores da FAE são basicamente os mesmos que foram identificados por Vanz (2009), Adams e King (2009), FAPESP (2011) nas coautorias da ciência brasileira. O predomínio das relações de cooperação com os parceiros citados pode ser explicado pelos acordos e programas de apoio à pesquisa colaborativa internacional que são firmados pelo Brasil. Com os Estados Unidos, mantem-se convênios de colaboração desde 1950; com a Alemanha desde 1964; com a França, Portugal e Reino Unido desde 1968; com a Holanda desde 1971; com a China desde 1982; com a Espanha desde 1992; com a Itália desde 1998 (ABC, 2015, documento *on-line*).

A baixa participação dos Estados Unidos nos artigos da FAE implica uma redução da dependência científica do Brasil e uma consolidação dos vínculos com parceiros, na sua maioria, da Europa. Esse indicador ratifica a tendência nacional (todas as áreas) observada no estudo de Vanz (2009). Os grandes projetos internacionais outorgam à comunidade científica brasileira a oportunidade, principalmente em laboratórios americanos e europeus, de novas investigações em colaboração com diversos países no campo da Física de Partículas. No APÊNDICE C, apresenta-se a relação completa dos países colaboradores do Brasil em FAE. A partir de dados relativos, na Tabela 19 exibe-se a lista dos 20 parceiros com maior Cosseno de Salton (até 10,0) no período de 1983-2013.

Tabela 19 - Países com maior força de colaboração da FAE brasileira (1983-2013)

País	Artigos em coautoria	Produção FAE (1983-2013) [1]	Cosseno Salton
Colômbia	441	725	20,6
Rep. Tcheca	635	2.271	16,7
Sérvia	294	524	16,1
Geórgia	304	665	14,8
Bielorrússia	295	716	13,8
Portugal	565	2.699	13,6
Equador	117	123	13,2
Armênia	361	1.236	12,9
Eslovênia	327	1.093	12,4
Grécia	508	3.078	11,5
Lituânia	142	241	11,5
Polônia	704	6.375	11,1
Áustria	460	2.787	10,9
Romênia	347	1.595	10,9
Holanda	623	5.399	10,6
Estônia	141	289	10,4
México	424	2.748	10,2
Espanha	818	10.187	10,2
Noruega	325	1.621	10,1
Argentina	346	1.869	10,0

Fonte: WoS. Dados da pesquisa

Nota: [1] Informações coletadas em 03/07/2015.

Em estudos bibliométricos, o uso de indicadores absolutos é amplamente aceito como ferramenta útil na mensuração do desempenho científico. No entanto, o uso de indicadores relativos e normalizados pode revelar facetas ocultas de uma variável. Em análises de colaboração, os dados brutos indicam o total de artigos em coautoria sem considerar o tamanho dos atores. Em contrapartida, dados relativos ponderam a força dos vínculos observando o volume de produção de cada parceiro (VANZ; STUMPF, 2010b). Nesse seguimento, Luukkonen et al. (1993, p. 15, tradução nossa) asseveram que:

[...] em uma análise de colaboração, é imprescindível a utilização de ambas as medidas, absolutas e relativas. A última normaliza diferenças de tamanho dos países. Cada uma produz um tipo diferente de informação. Medidas absolutas produzem respostas para perguntas como quais são os países centrais na rede internacional da ciência, se laços de colaboração revelam um centro – relações periféricas, e quais são os países parceiros mais importantes de outros. Medidas relativas fornecem respostas a questões de intensidade de relações de colaboração.

No estudo da colaboração internacional por indicadores relativos, utilizou-se o Cosseno de Salton para medir a intensidade dos vínculos entre os países coautores. Dentre os parceiros que apresentaram índice maior que (10,0) tem-se 16 europeus e 4 latino-americanos, sendo eles: Colômbia (20,6), Equador (13,2), México (10,2) e Argentina (10,0). Nota-se a ausência dos Estados Unidos, principal parceiro do Brasil quando utilizados indicadores absolutos.

A força da colaboração entre países foi classificada conforme critérios adotados por Leta, Glänzel e Thijs (2006): relação forte (medida de Salton $\geq 2,5$); relação média (medida de Salton ≥ 1 e $< 2,5$); relação fraca (medida de Salton < 1). Percebe-se que o Brasil mantém laços fortes ($\geq 2,5$) com todos os colaboradores acima apresentados.

A análise da força da colaboração pelo Cosseno de Salton revela um processo de desconcentração e diversificação das colaborações do Brasil, com presença significativa de países do leste da Europa - Rep. Tcheca (16,7), Sérvia (16,1), Geórgia (14,8), Bielorrússia (13,8), Arménia (12,9), Eslovênia (12,4), Lituânia (11,5), Polónia (11,1), Áustria (10,9), Romênia (10,9), Estônia (10,4) – nas publicações em coautoria. Fatores de proximidade geográfica podem justificar a intensidade da colaboração com países da América Latina; culturais e linguísticos com Portugal (13,6); históricos e políticos com Holanda (10,6). A existência de acordos com a Colômbia desde 1972, o México desde 1975, o Equador desde 1982 e a Argentina desde 1996 também é um fator muito importante para aprimorar a colaboração para o desenvolvimento em nível regional (ABC, 2015, documento *on-line*). No

APÊNDICE D, apresenta-se a relação completa dos países coautores da FAE brasileira e força da colaboração medida pelo Cosseno de Salton no período de 1983-2013.

4.3 INDICADORES DE IMPACTO

Nesta subseção apresentam-se os resultados sobre os documentos citantes com relação às variáveis: ano de publicação, idioma, tipologia documentária, categoria de assunto e periódico. Além disso, são exibidos indicadores referentes à instituição e ao país de filiação dos autores que citaram artigos da FAE brasileira indexados na WoS no período de 1983-2013.

4.3.1 Distribuição das citações por artigo da FAE brasileira (1983-2013)

Os 6.350 artigos da produção científica da FAE nacional publicados no período de 1983-2013 receberam 78.812 citações provenientes de 41.152 documentos, representando uma média de 12,41 citações por trabalho. Em termos de visibilidade, infere-se que a forte internacionalização da pesquisa na área contribuiu para a elevada porcentagem de artigos citados (87,65%). Através de análise da distribuição das medidas, corroborou-se a disparidade do número de citações por artigo. O valor central da mediana significa que 50% dos artigos recebeu menos de 6 citações e que 50% dos artigos recebeu mais de 6 citações. O valor superior da média, quando comparado aos valores da mediana e moda, sugere uma distribuição assimétrica com coeficiente positivo de 7,72. Mais uma vez, os *outliers* (484, 415, 413 citações) causaram o aumento da média. Na Tabela 20, aprecia-se a distribuição de citações por publicação da FAE indexada na WoS.

Tabela 20 - Distribuição das citações nacionais e internacionais por artigo da FAE brasileira indexado na WoS (1983-2013)

	1983-1992	1993-2002	2003-2013	1983-2013
Média de citações	13,56	14,68	11,10	12,41
Mediana	5	7	5	6
Moda	0	0	0	0
Assimetria	7,55	4,84	9,00	7,72
N. mínimo de citações	0	0	0	0
N. máximo de citações	415	328	484	484
Total de citações	7.446	28.672	42.694	78.812
N. de artigos	549	1.953	3.848	6.350

Fonte: dados da pesquisa

Apesar do decréscimo da média no último período (11,10), observou-se um aumento consecutivo do número de citações realizadas aos artigos da FAE: 1983-1992 (7.446), 1993-2002 (28.672), 2003-2013 (42.694). Em termos comparativos, a média de 12,41 para a série temporal de 1983-2013 se mostra superior aos 5,87 apresentados por Calero (2009) para os artigos da Física de Partículas espanhola no SCI entre 2000-2005 e inferior aos 14,6 exibidos por Lehmann, Laudrup e Jackson (2003) para as publicações da FAE (Experimental, Teórica, Fenomenológica) indexadas na SPIRES. O número máximo de citações por artigo variou de 415 em 1983-1992 para 484 em 2003-2013, ocasionando intervalos altos para os três períodos.

Uma análise mais detalhada dos artigos com o maior número de citações (≥ 400) mostrou que o *Properties and performance of the prototype instrument for the Pierre Auger Observatory* (484), relacionado com a detecção e o estudo dos raios cósmicos, foi publicado em 2004 no periódico *Nucl. Instrum. Meth. A* pela Colaboração Auger¹⁶. O *SU(3) circle-times-U(1) model for electroweak interactions* (415), vinculado à pesquisa das interações eletrofracas, foi publicado em 1992 no *Physical Review D* pela USP. O *The upgraded DØ detector* (413), relacionado com o estudo da natureza fundamental da matéria, foi publicado em 2006 no *Nucl. Instrum. Meth. A* pela Colaboração DØ do FERMILAB nos EUA. Na Tabela 21, apresenta-se a frequência do número de citações nacionais e internacionais da FAE brasileira por séries temporais.

¹⁶ Físicos brasileiros da USP, CBPF, UFRJ, UNICAMP, UFABC, UFBA e UFF participam desse projeto internacional de pesquisa que tem como um dos seus principais objetivos científicos a medição de raios cósmicos de altíssima energia. O observatório Pierre Auger se encontra localizado em Malargue, Argentina (CBPF, 2011).

Tabela 21 - Número de citações nacionais e internacionais vinculadas aos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)

N. de citações	1983-1992			1993-2002			2003-2013			1983-2013		
	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %	N. artigos	%	Σ %
0	67	12,20	12,20	208	10,65	10,65	509	13,23	13,23	784	12,35	12,35
1	60	10,93	23,13	183	9,37	20,02	416	10,81	24,04	659	10,38	22,73
2	58	10,56	33,69	121	6,20	26,22	374	9,72	33,76	553	8,71	31,44
3	46	8,38	42,07	105	5,38	31,59	295	7,67	41,43	446	7,02	38,46
4	28	5,10	47,17	114	5,84	37,43	240	6,24	47,66	382	6,02	44,48
5	37	6,74	53,91	93	4,76	42,19	218	5,67	53,33	348	5,48	49,96
6 a 10	97	17,67	71,58	377	19,30	61,49	645	16,76	70,09	1.119	17,62	67,58
11 a 20	73	13,30	84,88	343	17,56	79,06	594	15,44	85,53	1.010	15,91	83,48
21 a 30	31	5,65	90,52	154	7,89	86,94	246	6,39	91,92	431	6,79	90,27
31 a 50	26	4,74	95,26	142	7,27	94,21	181	4,70	96,62	349	5,50	95,77
51 a 100	15	2,73	97,99	93	4,76	98,98	102	2,65	99,27	210	3,31	99,07
101 a 200	7	1,28	99,27	18	0,92	99,90	21	0,55	99,82	46	0,72	99,80
≥ 201	4	0,73	100,00	2	0,10	100,00	7	0,18	100,00	13	0,20	100,00
Total	549	100,00	..	1.953	100,00	..	3.848	100,00	..	6.350	100,00	..

Fonte: dados da pesquisa

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Ao investigar o impacto da FAE brasileira no período de 1983-2013, observou-se que apenas 12,35% dos artigos da produção científica nunca foram citados. A alíquota identificada é inferior aos 29% apresentados por Lehmann, Laudrup e Jackson (2003) para as publicações da FAE na SPIRES e aos 38,31% exibidos por Calero (2009) para os artigos da Física de Partículas espanhola no SCI. Lehmann, Laudrup e Jackson (2003) alegam que devido ao custo operacional dos experimentos, ao controle rigoroso da pesquisa e ao grande número de coautores é de se esperar uma menor fração de artigos minimamente citados em FAE. Nas séries temporais analisadas, percebeu-se a variabilidade do percentual de trabalhos sem citação; (12,20%) em 1983-1992, (10,65%) em 1993-2002, (13,23%) em 2003-2013. Os resultados revelam a predominância de artigos no intervalo das 6 a 10 citações (17,62%). Verificou-se que 67,58% dos trabalhos receberam até 10 citações. A taxa é inferior aos 74% registrados por Lehmann, Laudrup e Jackson (2003).

De acordo com o esquema de classificação da SPIRES, 12 artigos da FAE brasileira foram rotulados como “famosos” (250-499 citações), 47 como “muito bem conhecidos” (100-249 citações), 221 como “bem conhecidos” (50-99 citações), 1.954 como “conhecidos” (10-49 citações), 3.332 como “menos conhecidos” (1-9 citações), 784 como “desconhecidos” (0 citações). Em termos comparativos, os indicadores se mostram superiores aos identificados por Collazo-Reyes, Luna-Morales e Russell (2004) para as publicações da Física de Partículas mexicana na SPIRES entre 1971 e 2000: 6 (>100 citações), 19 (>50 citações), 202 (>10 citações) e 811 (1 a 9 citações). Na Tabela 22, aprecia-se o impacto e a dinâmica de crescimento das citações da FAE nacional no período analisado.

Tabela 22 - Impacto da produção científica da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)
(continua)

Ano de publicação	Artigos citados	Taxa de crescimento (%)	Total de citações por ano	Citações acumuladas por ano	Crescimento acumulado por ano (%)
1983	23	..	598	598	0,76
1984	27	17,39	382	980	1,24
1985	29	7,41	279	1.259	1,60
1986	43	48,28	466	1.725	2,19
1987	35	-18,60	336	2.061	2,62
1988	42	20,00	858	2.919	3,70
1989	81	92,86	679	3.598	4,57
1990	44	-45,68	791	4.389	5,57
1991	60	36,36	863	5.252	6,66
1992	98	63,33	2.194	7.446	9,45

(conclusão)					
Ano de publicação	Artigos citados	Taxa de crescimento (%)	Total de citações por ano	Citações acumuladas por ano	Crescimento acumulado por ano (%)
1993	88	-10,20	1.744	9.190	11,66
1994	102	15,91	1.499	10.689	13,56
1995	117	14,71	2.054	12.743	16,17
1996	141	20,51	2.891	15.634	19,84
1997	175	24,11	2.511	18.145	23,02
1998	198	13,14	3.072	21.217	26,92
1999	221	11,62	3.077	24.294	30,83
2000	209	-5,43	4.017	28.311	35,92
2001	221	5,74	3.587	31.898	40,47
2002	273	23,53	4.220	36.118	45,83
2003	239	-12,45	4.496	40.614	51,53
2004	255	6,69	4.978	45.592	57,85
2005	224	-12,16	3.542	49.134	62,34
2006	243	8,48	4.222	53.356	67,70
2007	295	21,40	3.983	57.339	72,75
2008	267	-9,49	4.021	61.360	77,86
2009	241	-9,74	2.978	64.338	81,63
2010	281	16,60	4.062	68.400	86,79
2011	383	36,30	4.246	72.646	92,18
2012	465	21,41	4.136	76.782	97,42
2013	446	-4,09	2.030	78.812	100,00
Total	5.566	13,26 (média)	78.812	..	..

Fonte: dados da pesquisa

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Confirmou-se que, 5.566 artigos da FAE brasileira publicados entre 1983 e 2013 receberam um total de 78.812 citações. As taxas de crescimento mais elevadas foram registradas em 1986 (48,28%), 1989 (92,86%) e 1992 (63,33%). Por outro lado, identificaram-se nove ocorrências com valores negativos: duas (1983/1992), duas (1993/2002), cinco (2003/2013). Apesar disso, o aumento do número de citações na FAE no período não foi afetado, visto que a média anual da taxa foi de 13,26%.

O crescimento do volume de citações da área estudada tornou-se mais evidente quando as informações decorrentes dos indicadores de impacto foram agrupadas em três períodos (1983-1992, 1993-2002, 2003-2013). O primeiro representa 9,45% (7.446 citações), o segundo 36,38% (28.672 citações) e o terceiro 54,17% (42.694 citações) da totalidade. Verificou-se um acentuado acréscimo do número de citações no período de 1993-2002, já que

a taxa de crescimento com relação ao período anterior foi de 285,06%. Mesmo que a alíquota tenha diminuído para 48,90% em 2003-2013, como consequência da insuficiência de tempo dos documentos para adquirir e absorver informações a partir do momento em que são publicados (MEADOWS, 1999), confirmou-se o eficiente desempenho da pesquisa brasileira na última série temporal.

4.3.2 Ano de publicação dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)

O conjunto de citações recebidas pelos artigos da FAE nacional indexados na WoS no período de 1983-2013 provém de 41.152 documentos, representando uma média de 1.247 citantes por ano. Na Tabela 23, apresenta-se a distribuição temporal dos documentos citantes por ano, a média da taxa de crescimento e o aumento acumulado anual dos trabalhos.

Tabela 23 - Distribuição dos documentos citantes da produção científica da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)

(continua)				
Ano de publicação	Documentos citantes	Taxa de crescimento (%)	Citantes acumulados por ano	Crescimento acumulado por ano (%)
1983	4	..	4	0,01
1984	27	575,00	31	0,08
1985	46	70,37	77	0,19
1986	70	52,17	147	0,36
1987	106	51,43	253	0,61
1988	121	14,15	374	0,91
1989	154	27,27	528	1,28
1990	158	2,60	686	1,67
1991	197	24,68	883	2,15
1992	227	15,23	1.110	2,70
1993	306	34,80	1.416	3,44
1994	418	36,60	1.834	4,46
1995	495	18,42	2.329	5,66
1996	585	18,18	2.914	7,08
1997	685	17,09	3.599	8,75
1998	783	14,31	4.382	10,65
1999	1.077	37,55	5.459	13,27
2000	1.175	9,10	6.634	16,12
2001	1.417	20,60	8.051	19,56
2002	1.459	2,96	9.510	23,11

(conclusão)

Ano de publicação	Documentos citantes	Taxa de crescimento (%)	Citantes acumulados por ano	Crescimento acumulado por ano (%)
2003	1.596	9,39	11.106	26,99
2004	1.864	16,79	12.970	31,52
2005	1.920	3,00	14.890	36,18
2006	1.961	2,14	16.851	40,95
2007	2.258	15,15	19.109	46,44
2008	2.445	8,28	21.554	52,38
2009	2.702	10,51	24.256	58,94
2010	2.771	2,55	27.027	65,68
2011	3.352	20,97	30.379	73,82
2012	3.647	8,80	34.026	82,68
2013	3.902	6,99	37.928	92,17
2014	3.216	-17,58	41.144	99,98
2015	8	-99,75	41.152	100,00
Total	41.152	32,17 (média)	..	..

Fonte: dados da pesquisa

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Ao longo da série temporal, observou-se uma significativa disparidade do número de documentos citantes publicados. Em 1983, a WoS indexou somente 4 trabalhos. Em 2013, a produção atingiu o seu pico máximo, 3.902 publicações. O decréscimo verificado em 2014 fundamenta-se principalmente pela escassez de tempo das publicações de 2013 para serem assimiladas pela comunidade científica e referenciadas em novas pesquisas. Apesar das taxas de crescimento com valores negativos registradas em 2014 (-17,58%) e 2015 (-99,75%), o aumento do número de documentos citantes no período de 1983-2015 não foi afetado, já que a média anual da taxa foi de 32,17%.

O crescimento do número de documentos citantes é mais notório quando analisado por períodos (1983-1992, 1993-2002, 2003-2013). O primeiro representa 2,93% (1.110 citantes), o segundo 22,15% (8.400 citantes) e o terceiro 74,93% (28.418 citantes) do total. Constatou-se um significativo aumento dos documentos citantes no período de 1993-2002, visto que a taxa de crescimento com relação a 1983-1992 foi de 656,76%. Ainda que o percentual tenha diminuído para 238,31% em 2003-2013, a produção triplicou no último período.

4.3.3 Idiomas dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)

O estudo da distribuição dos idiomas dos 41.152 documentos citantes publicados por pesquisadores nacionais e internacionais revelou a variabilidade da produção por língua, sendo identificados nove idiomas: inglês, chinês, português, russo, espanhol, francês, romeno, galês e alemão.

Corroborou-se a hegemonia absoluta do idioma inglês, já que foi utilizado em 99,70% dos documentos citantes. A alíquota apresentada é semelhante aos 99,98% da parcela de artigos em inglês da FAE brasileira publicados entre 1983 e 2013. A predominância da língua franca da comunicação científica nos documentos citantes confirma o grau de internacionalização da área analisada. O chinês com 0,13% ocupa o segundo lugar no *ranking* de língua. O português e o russo com 0,06% compartilham o terceiro.

4.3.4 Tipologia dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)

Os documentos citantes dos artigos da FAE nacional indexados na WoS também foram analisados quanto à sua tipologia. Ressalta-se a variabilidade do conjunto de registros por tipo de documento. Adverte-se que o total de ocorrências não reflete o total de documentos citantes, visto que um mesmo trabalho pode ser categorizado em mais de um tipo de documento nas coleções da Thomson Reuters.

No volume de dados avaliados, percebeu-se a supremacia do artigo de periódico como o principal tipo de documento citante da produção da FAE brasileira, dado que foi utilizado em 80,48% da totalidade de ocorrências. Em menor proporção, o trabalho de evento com 13,88% ocupa a segunda posição no *ranking* referente à tipologia documentária. O artigo de revisão com 4,48% situa-se na terceira. Nota-se que apenas três tipos de documentos outorgaram 98,84% das citações aos artigos de pesquisadores nacionais entre 1983 e 2015.

Com relação aos padrões de comunicação em FAE, Goldschmidt-Clermont (2002) destaca a importância do artigo de revista para a comunidade científica visto que ele tem a função principal de publicar oficialmente os resultados das investigações no campo. Segundo a autora, os artigos desempenham funções complementares relacionadas com a seleção de material de valor e com a manutenção de padrões de qualidade tanto em conteúdo quanto em apresentação.

A presença do trabalho de evento e do artigo de revisão dentre os principais tipos de documentos citantes é justificada pela importância desses canais de comunicação para os

pesquisadores da FAE. A respeito do primeiro, Goldschmidt-Clermont (2002) comenta que ele contém o registro completo das comunicações e discussões e, portanto, são de grande utilidade, principalmente para aqueles que não tiveram o privilégio de assistir à conferência, congresso, encontro etc. A respeito do segundo, a autora explica que ele desempenha o papel de resumir o estado de subcampos. Juntamente com os índices de autor e de assunto, o artigo de revisão auxilia os especialistas na localização dos artigos de periódico que eles precisam.

4.3.5 Áreas temáticas dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)

O estudo dos documentos citantes da produção científica da FAE brasileira através do campo WC teve como objetivo a classificação dos registros pela categoria de assunto das fontes utilizadas para publicação. Enfatiza-se que um mesmo trabalho pode ser agrupado em mais de uma área temática, motivo pelo qual, o total das ocorrências identificadas não corresponde ao total de documentos citantes do conjunto de artigos da FAE nacional. Na Tabela 24, exibe-se a relação das categorias de assunto com maior número de publicações citantes (até 95 documentos) no período de 1983-2015.

Tabela 24 - Categorias de assunto dos documentos citantes da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)

(continua)			
Categoria de assunto WC	Área [1]	N. de artigos	%
Física de Partículas e Campos	Física	23.930	36,24
Astronomia & Astrofísica	Geociências e C. Espaciais	13.978	21,17
Física Multidisciplinar	Física	11.194	16,95
Física Nuclear	Física	5.930	8,98
Física Matemática	Física	2.692	4,08
Ciência & Tecnologia Nuclear	Engenharia	1.295	1,96
Instrumentos & Instrumentação	Física	1.174	1,78
Espectroscopia	Química	969	1,47
Física Aplicada	Física	746	1,13
Física Atômica, Molecular & Química	Física	693	1,05
Ótica	Física	563	0,85
Física da Matéria Condensada	Física	305	0,46
Engenharia Elétrica & Eletrônica	Engenharia	232	0,35
Matemática Aplicada	Matemática	174	0,26
Física de Fluidos e Plasmas	Física	161	0,24
Radiologia, Medicina Nuclear & Imagem Médica	Medicina Clínica e Experimental II	156	0,24
Ciências Multidisciplinares	..	114	0,17
Matemática	Matemática	110	0,17

(conclusão)			
Categoria de assunto WC	Área [1]	N. de artigos	%
Químico-física	Química	106	0,16
Química Inorgânica & Nuclear	Química	95	0,14
Outros	..	1.410	2,14
Total	..	66.027	100,00

Fonte: dados da pesquisa

Legenda: [1] conforme classificação de áreas da ciência desenvolvida por Glänzel e Schubert (2003).

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Em análise da classificação de área dos documentos citantes, identificaram-se 150 categorias de assunto WC. Verificou-se que a Física de Partículas e Campos, categoria utilizada na estratégia de busca para coleta dos artigos da FAE brasileira, é a mais representativa nos trabalhos citantes, 36,24% da totalidade de ocorrências no período de 1983-2015. Outras áreas com destacada participação são Astronomia & Astrofísica (21,17%), Física Multidisciplinar (16,95%), Física Nuclear (8,98%), Física Matemática (4,08%). Apesar da grande dispersão dos documentos por área temática; observa-se uma alta concentração da produção em um número reduzido de WCs; 87,42% em 5 categorias de assunto (Tabela 24). A forte influência da Astronomia & Astrofísica e da Física Nuclear no desenvolvimento da pesquisa em FAE ao longo da história justifica o maior impacto da produção científica nacional nesses campos.

Ao investigar a distribuição dos documentos citantes por área de conhecimento conforme a classificação proposta por Glänzel e Schubert (2003), constatou que a Física com 73,47% é a disciplina que apreende o maior número de citações da FAE brasileira quando computadas as 20 categorias de assunto mais produtivas. Em seguida, destacaram-se a Geociências e Ciências Espaciais com 21,67%, a Engenharia com 2,37%, a Química com 1,81%, a Matemática com 0,44% e a Medicina Clínica e Experimental II com 0,24%. De acordo com as tabelas de classificação da CAPES/CNPq, constatou-se que quatro campos pertencem à grande área Ciências Exatas e da Terra (Física, Geociências e Ciências Espaciais, Química, Matemática), um à Engenharias (Engenharia) e um à Ciências da Saúde (Medicina Clínica e Experimental II).

4.3.6 Periódicos dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)

Os 41.152 documentos citantes da FAE brasileira indexada na WoS no período de 1983-2013 foram divulgados através de 1.630 canais de comunicação, destacando-se a

representatividade do periódico científico como meio de difusão. Em avaliação do conjunto dos 35 principais periódicos, observou-se que 97,14% dos documentos publicados estão concentrados em veículos internacionais de língua inglesa (quatro multilíngues). No conjunto estudado, os títulos editados na Europa foram responsáveis pela publicação de 15.750 artigos, 49,80% do total da produção. Na sequência, situaram-se os Estados Unidos com 13.109 (41,45%), a Ásia com 2.364 (7,48%) e a América do Sul com 402 (1,27%). Os resultados mostraram a supremacia da Europa com relação à quantidade de periódicos editados, 60,00% (21 títulos) da totalidade de casos. A continuação, destacaram-se os Estados Unidos com 9 (25,71%), a Ásia com 4 (11,43%) e a América do Sul com 1 (2,86%). A internacionalização da FAE nacional, medida pela publicação dos documentos citantes em periódicos estrangeiros e pelo uso do idioma inglês, torna-se mais notória visto que foi identificada apenas uma revista brasileira dentre as 35 mais produtivas. Na Tabela 25, exibem-se os principais periódicos utilizados para publicação dos documentos citantes da produção da FAE brasileira na série temporal avaliada.

Tabela 25 - Principais periódicos de publicação dos documentos citantes da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)

(continua)

Título do periódico	N. de artigos citantes	%	Σ %	País	Idioma	FI 2 anos (2013)	Maior Quartil [5]
Physical Review D	8.771	21,31	21,31	EUA	Inglês	4.864	Q1
Journal of High Energy Physics	3.049	7,41	28,72	Itália	Inglês	6.220	Q1
Physics Letters B	2.675	6,50	35,22	Holanda	Inglês	6.019	Q1
The European Physical Journal C	1.394	3,39	38,61	Alemanha	Inglês	5.436	Q1
Nuclear Physics B	1.162	2,82	41,43	Holanda	Inglês	3.946	Q2
Physical Review Letters	1.083	2,63	44,06	EUA	Inglês	7.728	Q1
Physical Review C	1.030	2,50	46,57	EUA	Inglês	3.881	Q1
Classical and Quantum Gravity	1.030	2,50	49,07	Inglaterra	Multilíngue	3.103	Q1
International Journal of Modern Physics A	925	2,25	51,32	Singapura	Inglês	1.086	Q3
Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A-Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment	837	2,03	53,35	Holanda	Multilíngue	1.316	Q2
Modern Physics Letters A	774	1,88	55,23	Singapura	Inglês	1.338	Q2
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	704	1,71	56,94	Inglaterra	Inglês	5.877	Q1
Nuclear Physics B-Proceedings Supplements [1]	682	1,66	58,60	Holanda	Inglês	..	..
Journal of Physics G-Nuclear and Particle Physics	643	1,56	60,16	Inglaterra	Inglês	2.838	Q2
General Relativity and Gravitation	590	1,43	61,59	EUA	Inglês	1.725	Q2
Nuclear Physics A	566	1,38	63,97	Holanda	Inglês	2.499	Q2
International Journal of Modern Physics D	500	1,22	64,19	Singapura	Inglês	1.420	Q3
International Journal of Theoretical Physics	478	1,16	65,35	EUA	Inglês	1.186	Q3
Astrophysics and Space Science	410	1,00	66,34	Holanda	Inglês	2.401	Q2
Brazilian Journal of Physics	402	0,98	67,32	Brasil	Inglês	0.683	Q4
Journal of Mathematical Physics	389	0,95	68,27	EUA	Inglês	1.176	Q3
Journal of Physics A-Mathematical and Theoretical	358	0,87	69,14	Inglaterra	Inglês	1.687	Q2
Physical Review A	331	0,80	69,94	EUA	Inglês	2.991	Q1

(conclusão)

Título do periódico	N. de artigos	%	Σ %	País	Idioma	FI 2 anos (2013)	Maior Quartil [5]
Zeitschrift Fur Physik C-Particles and Fields [2]	322	0,78	70,72	Alemanha	Inglês	..	..
Acta Physica Polonica B*	308	0,75	71,47	Polônia	Multilíngue	..	..
Journal of Physics A-Mathematical and General	286	0,69	72,17	Inglaterra	Inglês	1.577	Q2
Physics Letters A	271	0,66	72,82	Holanda	Multilíngue	1.626	Q2
Astroparticle Physics	270	0,66	73,48	Holanda	Inglês	4.450	Q1
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	248	0,60	74,08	Inglaterra	Inglês	5.226	Q1
Annals of Physics	223	0,54	74,62	EUA	Inglês	3.065	Q1
Astrophysical Journal	214	0,52	75,14	EUA	Inglês	6.280	Q1
Physics of Atomic Nuclei	183	0,44	75,59	Rússia	Inglês	0.595	Q4
Physics Reports-Review Section of Physics Letters	176	0,43	76,02	Holanda	Inglês	22.910	Q1
The European Physical Journal A	176	0,43	76,44	Alemanha	Inglês	2.421	Q2
International Journal of Modern Physics E-Nuclear Physics	165	0,40	76,85	Singapura	Inglês	0.842	Q4
Outros	9.527	23,15	100,00	..	..	..	..
Total	41.152	100,00	..	..	..	..	..

Fonte: WoS, JCR. Os dados sobre o FI foram coletados do JCR em 06/08/2015.

Legenda: [1] Suplemento de Nuclear Physics B. [2] A partir de 1998, continuado por The European Physical Journal C - Particles and Fields. [3] Dentre os quartis atribuídos pelas categorias de assunto que podem abranger um mesmo periódico, considerou-se a maior classificação alcançada. * Revistas que não tiveram FI (2013) divulgado pelo JCR.

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Ainda que os periódicos listados na Tabela 25 representem apenas 2,15% dos títulos citantes, evidencia-se o protagonismo dos mesmos visto que concentraram 76,85% (31.625 documentos) do total de publicações. Além disso, corroborou-se a importância, em termos de produtividade, dos veículos mais tradicionais da área conforme apontado por Aman (2013): *Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics*, *Nuclear Physics B*, *Physics Letters B*, *European Physical Journal C* e *Physical Review Letters*. Conjuntamente, as seis revistas de núcleo ou *core journals* publicaram 44,06% (18.134) dos documentos citantes. A taxa se mostra inferior aos 83% apresentados por Mele et al. (2006) para a produção científica da FAE mundial de 2005.

Dentre as 32 revistas FAE com FI divulgado pelo JCR em 2013, identificaram-se 14 títulos no Q1, 11 no Q2, 4 no Q3 e 3 no Q4. Nota-se que os seis periódicos com maior número de publicações encontram-se muito bem posicionados, 5 no Q1 e 1 (*Nuclear Physics B*) no Q2. Os índices mostraram que o PRD, veículo mais utilizado pelos pesquisadores dos documentos citantes, publicou o triplo do que o segundo colocado, o JHEP. Em análise da distribuição dos artigos da FAE mundial por periódico no período de 2005-2006, Krause, Lindqvist e Mele (2007) descobriram que 41% da literatura é publicada pelo PRD, confirmando a sua popularidade entre a comunidade científica. Ainda, os autores constataram a influência do JHEP e *Physics Letters B* para o campo, visto que ambos apreenderam 34% das publicações. A alíquota de 21,31% do PRD registrada na Tabela 25 é levemente inferior aos 29,89% apresentados por Calero (2009) para os artigos da Física de Partículas espanhola no SCI entre 2000 e 2005.

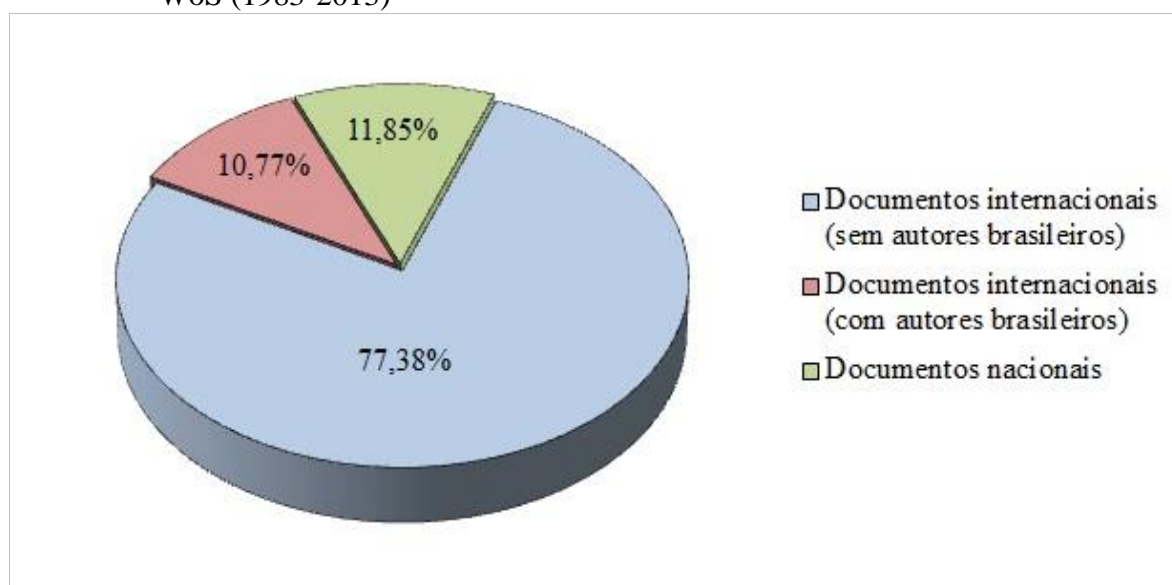
Constatou-se que o *Physics Reports-Review Section of Physics Letters* com 22.910 é o periódico citante com o FI mais alto. A revista publicada pela Elsevier desde 1971, encontra-se localizada no Q1 na categoria Física Multidisciplinar e veicula relatórios sobre todas as temáticas da área. Esses trabalhos visam tornar seus pontos principais compreensíveis para os não especialistas. Por outro lado, observa-se que o único título de periódico nacional dentre os 35 citantes mais produtivos é o *Brazilian Journal of Physics*. Publicado pela SBF desde 1971, encontra-se situado no Q4 na Física Multidisciplinar. Atualmente, é editado em parceria com a Springer e noticia resultados de pesquisa de ponta em vários tópicos da física.

4.3.7 Procedência dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)

O número de documentos internacionais citantes da produção científica da FAE brasileira foi de 36.277, representando 88,15% da totalidade. A alíquota é amplamente

superior aos 11,85% (4.875) dos documentos nacionais citantes. Consideram-se citantes internacionais os documentos produzidos por autores estrangeiros, incluindo os trabalhos em colaboração com o Brasil. Por outro lado, os citantes nacionais correspondem às publicações produzidas exclusivamente por pesquisadores filiados a instituições brasileiras. No Gráfico 8, aprecia-se o impacto da atividade científica da FAE no âmbito nacional e internacional.

Gráfico 8 - Procedência dos documentos citantes dos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

Dentre os documentos internacionais, 31.843 (77,38%) provêm de autores estrangeiros, enquanto 4.434 (10,77%) procedem das colaborações com o Brasil. Da mesma maneira, os cientistas da FAE nacional foram responsáveis pela publicação de 9.309 documentos citantes (22,62%) no período de 1983-2015. A superioridade de pesquisadores filiados a instituições estrangeiras nos documentos citantes da produção científica local ressalta a internacionalização da pesquisa na área estudada.

4.3.8 Países dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)

Os artigos da FAE brasileira indexados na WoS no período de 1983-2013 foram citados por pesquisadores de 112 nações, representando uma média de 919,46 documentos citantes por país. Através de análise da distribuição das medidas, verificou-se a disparidade do número de documentos citantes por país. O valor central da mediana indica que 50% das nações publicou menos de 183 e que 50% das nações publicou mais de 183. Adverte-se que o

total de ocorrências não reflete o total de documentos citantes, dado que uma mesma publicação pode apresentar dois ou mais países coautores. No APÊNDICE E, exibe-se a relação completa das nações citantes da produção científica no campo abordado. Na Tabela 26, mostram-se as 50 com maior número de publicações.

Tabela 26 - Principais países dos documentos citantes da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)

País	N. de documentos	%	País	N. de documentos	%
Estados Unidos	10.554	10,25	Bélgica	1.116	1,08
Brasil	9.309	9,04	Hungria	1.073	1,04
Alemanha	6.322	6,14	Finlândia	1.029	1,00
Itália	5.139	4,99	Colômbia	1.007	0,98
Reino Unido	4.581	4,45	Turquia	985	0,96
Rússia	4.430	4,30	Irã	905	0,88
França	4.182	4,06	Romênia	888	0,86
China	4.151	4,03	Austrália	879	0,85
Espanha	3.457	3,36	Noruega	869	0,84
Índia	3.193	3,10	Dinamarca	819	0,80
Suíça	3.092	3,00	Armênia	761	0,74
Japão	2.870	2,79	Eslováquia	745	0,72
Polônia	2.254	2,19	Eslovênia	726	0,70
Canadá	2.108	2,05	Chile	708	0,69
Holanda	1.878	1,82	Ucrânia	637	0,62
Coreia do Sul	1.861	1,81	África do Sul	614	0,60
Rep. Tcheca	1.673	1,62	Sérvia	567	0,55
Suécia	1.661	1,61	Geórgia	561	0,54
México	1.561	1,52	Irlanda	555	0,54
Portugal	1.543	1,50	Paquistão	538	0,52
Grécia	1.419	1,38	Bielorrússia	526	0,51
Taiwan	1.195	1,16	Croácia	522	0,51
Argentina	1.177	1,14	Bulgária	388	0,38
Áustria	1.160	1,13	Equador	352	0,34
Israel	1.119	1,09	Marrocos	338	0,33

Fonte: dados da pesquisa

A quantidade expressiva de nações citantes revela o alto impacto da pesquisa da FAE no âmbito internacional. Esse resultado demonstra a influência e o prestígio dos autores locais dentro da comunidade científica (VANZ; CAREGNATO, 2003).

Os índices confirmaram que os Estados Unidos com 10.554 publicações é o país com maior número de documentos citantes, representando 10,25% da totalidade. O fato de os EUA serem o principal parceiro do Brasil em termos de coautoria (dados brutos) no período de

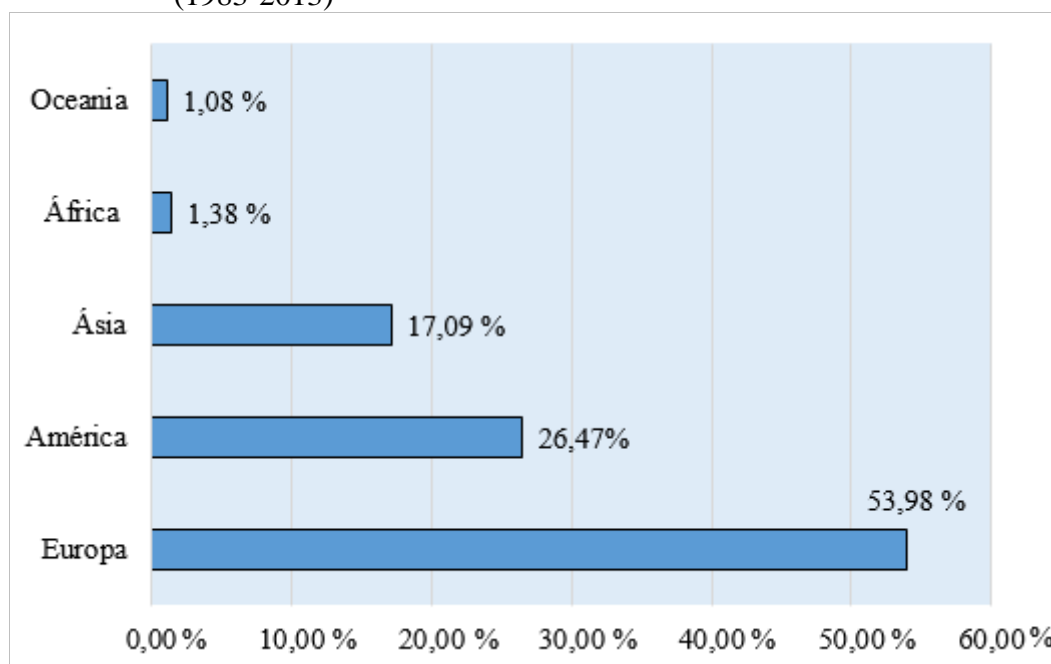
1983-2013 e de os pesquisadores locais participarem ativamente nos grandes projetos internacionais do FERMILAB e BNL pode justificar parcialmente o reconhecimento da atividade científica em FAE. A forte ligação entre as duas nações também foi salientada por Adams e King (2009) e por Vanz e Stumpf (2012) ao analisar a colaboração brasileira nos períodos de 1998-2007 e 2004-2006 respectivamente. Por outro lado, o volume de documentos citantes norte-americanos apurados pode estar atrelado à posição de privilégio que os EUA ocupam na rede de colaboração internacional da Física de Partículas (BRAUN et al., 1992) e no *ranking* mundial de produtividade (MELE et al., 2006).

O Brasil com 9.309 documentos ocupa a segunda posição dentre os países citantes, representando 9,04% do total. O destaque do País entre os citantes pode ser fundamentado pela origem dos artigos da produção científica em FAE, ainda que a totalidade das publicações tenha sido veiculada em periódicos internacionais de língua inglesa e que 49,07% tenha sido produzida em colaboração com pesquisadores de outras nações. Outro fator que pode ter contribuído para a distinção do Brasil no *ranking* é a autocitação, ou seja, as citações outorgadas pelos próprios físicos da FAE aos seus trabalhos.

A Alemanha com 6.322 publicações ocupa o terceiro lugar dentre as nações citantes, representado 6,14% da totalidade. A quantidade de documentos alemães que citaram artigos da FAE brasileira é extremamente significativa, uma vez que a nação detém a segunda posição no *ranking* mundial de produtividade da área (MELE et al., 2006). Em disciplinas como a Física de Partículas, o desenvolvimento da pesquisa depende da interação com grandes laboratórios experimentais. O fato de os cientistas nacionais utilizarem as instalações do DESY para realização dos experimentos e de o Brasil manter convênios de colaboração com a Alemanha desde 1964 pode explicar em parte o número considerável de citações recebidas pela investigação em FAE.

O alcance da produção científica da FAE brasileira indexada na WoS também pode ser examinado em relação aos continentes dos documentos citantes. No Gráfico 9, aprecia-se a distribuição das publicações por região geográfica.

Gráfico 9 - Continentes dos documentos citantes da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

Nota-se que a Europa, principal coautora dos artigos nacionais no período de 1983-2013, é também a região que concentra o maior número de documentos citantes: 55.579 (53,98%). A hegemonia do continente europeu está atrelada à contribuição científica dos Estados-Membros do CERN e à maior tradição na pesquisa experimental de alguns países como Alemanha e Itália. Dentre os dez primeiros países citantes das publicações da FAE, identificaram-se seis nações europeias: Alemanha com 6.322 documentos (6,14%), Itália com 5.139 (4,99%), Reino Unido com 4.581 (4,45%), Rússia com 4.430 (4,30%), França com 4.182 (4,06%), Espanha com 3.457 (3,36%).

A América com 27.259 documentos (26,47%) é a segunda principal região citante dos artigos da FAE local. Confirmou-se a alta participação dos Estados Unidos e do Brasil, juntos apreendem 19.863 trabalhos, representando 72,87% da totalidade de documentos citantes do continente. A continuação, colocaram-se Canadá com 2.108 (2,05%), México com 1.561 (1,52%), Argentina com 1.177 (1,14%), Colômbia com 1.007 (0,98%). Apesar da proximidade geográfica, observou-se um baixo número de citações dos países vizinhos da América do Sul.

A Ásia com 17.604 documentos (17,09%) ocupa a terceira posição dentre os continentes citantes. No *ranking* dos dez países com maior quantidade de publicações, distinguem-se a China com 4.151 (4,03%) e a Índia com 3.193 (3,10%). Na sequência, posicionam-se Japão com 2.870 (2,79%), Coreia do Sul com 1.861 (1,81%), Taiwan com

1.195 (1,16%), Israel com 1.119 (1,09%). A prevalência de documentos citantes dos países integrantes do BRICS (China e Índia) pode ser relacionada ao potencial de crescimento demonstrado por ambos nas últimas décadas. Por outro lado, o volume de publicações do Japão é decorrência do seu bom posicionamento no *ranking* mundial de produtividade e da sua forte tradição no campo da FAE experimental. Os denominados “Tigres Asiáticos” (Coreia do Sul e Taiwan) integram o bloco das nações mais produtivas.

A África com 1.421 documentos (1,38%) é a quarta região citante dos artigos da FAE brasileira. Trata-se de um conjunto de países com escassa atividade na área, sobressaindo-se a África do Sul com 614 (0,60%). Por fim, tem-se a Oceania (Austrália e Nova Zelândia) com 1.117 documentos citantes (1,08%).

4.3.9 Instituições dos documentos citantes da FAE brasileira (1983-2013)

Os artigos da FAE brasileira indexados na WoS entre 1983 e 2013 foram citados por pesquisadores de 5.910 entidades, representando uma média de 49,62 documentos citantes por instituição. O total de ocorrências não retrata o total de documentos citantes, visto que uma mesma publicação pode apresentar duas ou mais instituições coautoras. Na Tabela 27, exibem-se as 50 entidades citantes com maior número de publicações.

Tabela 27 - Principais instituições dos documentos citantes da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)

(continua)					
Instituição	N. de doc.	%	Instituição	N. de doc.	%
INFN (ITA)	3.323	1,13	Univ. Illinois (USA)	1.391	0,47
Univ. São Paulo (BRA)	2.415	0,82	Univ. Roma 1 (ITA)	1.355	0,46
CERN (CHE)	2.323	0,79	MIT (USA)	1.345	0,46
JINR (RUS)	2.151	0,73	Univ. Charles (CZE)	1.327	0,45
CBPF (BRA)	1.865	0,64	ITEP (RUS)	1.316	0,45
CEA Saclay (FRA)	1.683	0,57	Univ. Wisconsin (USA)	1.303	0,44
Univ. Paris 11 (FRA)	1.635	0,56	Univ. Estado Rio de Janeiro (BRA)	1.274	0,43
Univ. Texas (USA)	1.516	0,52	Univ. Paris 7 (FRA)	1.272	0,43
IHEP (RUS)	1.498	0,51	Lab. Rutherford Appleton (UK)	1.265	0,43
Univ. Fed. Rio de Janeiro (BRA)	1.489	0,51	Univ. Lyon 1 (FRA)	1.230	0,42
Fermilab (USA)	1.469	0,50	Nikhef (NLD)	1.221	0,42
Lab. Brookhaven (USA)	1.466	0,50	Univ. State Iowa (USA)	1.198	0,41
Univ. Estadual Paulista (BRA)	1.459	0,50	Univ. Oxford (UK)	1.182	0,40
Univ. Bologna (ITA)	1.446	0,49	Univ. Indiana (USA)	1.174	0,40
CNRS (FRA)	1.424	0,49	Univ. State Moscow (RUS)	1.170	0,40

			(conclusão)		
Instituição	N. de doc.	%	Instituição	N. de doc.	%
Univ. California (USA)	1.159	0,40	Univ. Grenoble 1 (FRA)	1.066	0,36
Univ. Valencia (ESP)	1.156	0,39	Univ. Lund (SWE)	1.066	0,36
Univ. State Michigan (USA)	1.141	0,39	Univ. Lancaster (UK)	1.064	0,36
Univ. Michigan (USA)	1.132	0,39	Univ. Manchester (UK)	1.057	0,36
Univ. Tokyo (JPN)	1.131	0,39	PNPI (RUS)	1.045	0,36
Univ. Paris 6 (FRA)	1.108	0,38	DESY (DEU)	1.042	0,36
Univ. State Ohio (USA)	1.102	0,38	Univ. Uppsala (SWE)	1.017	0,35
Univ. State New York (USA)	1.088	0,37	Univ. Washington (USA)	1.016	0,35
Lab. Argonne (USA)	1.079	0,37	Univ. Athens (GRC)	1.006	0,34
Acad. Sci. Czech Republic (CZE)	1.074	0,37	Univ. Liverpool (UK)	1.006	0,34

Fonte: dados da pesquisa

A quantidade significativa de instituições citantes demonstra a alta visibilidade da atividade científica da FAE no âmbito nacional e internacional. No *ranking* de produtividade das instituições citantes, verificou-se que das 50 com maior desempenho, somente 10% (5) são brasileiras (USP, CBPF, UFRJ, UNESP, UERJ). A universidade com 64% e o centro de pesquisa com 36% são os setores citantes mais produtivos. Os EUA com 15 (11 universidades e 4 centros de pesquisa) é o país mais representativo.

Os indicadores atestaram que o INFN (ITA) com 3.323 publicações é a instituição com maior número de documentos citantes, representando 1,13% do total. O fato de o INFN ser o principal parceiro das entidades brasileiras em termos de coautoria no período de 1983-2013 pode fundamentar o número relevante de citações. Em análise da colaboração nacional entre 1998 e 2007, Adams e King (2009) perceberam que as principais coautoras do Brasil são instituições consideradas de referência na pesquisa internacional, sendo uma delas o INFN. Com base na filiação dos autores das publicações da FAE mundial indexadas na SPIRES em 2005, Mele et al. (2006) destacaram a importância do *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* para a área em termos de financiamento e produtividade.

A USP (BRA) com 2.415 documentos ocupa a segunda posição dentre as instituições citantes, representando 0,82% da totalidade. O protagonismo da entidade paulista pode estar associado à posição de privilégio que ocupa no *ranking* nacional de produtividade em razão do forte e contínuo investimento da FAPESP para a realização das pesquisas científicas. O CERN (CHE) com 2.323 documentos assume a terceira posição dentre as citantes, representando 0,79% do total. A ação do laboratório multinacional na constituição de parcerias institucionais é notoriamente perceptível. A colaboração com países de ampla trajetória na investigação experimental e integrantes do grupo de Estados-Membros do CERN

pode justificar o número considerável de documentos citantes dos artigos brasileiros. O JINR (RUS) com 2.151 documentos ocupa a quarta posição entre as entidades citantes, representando 0,73% da totalidade. O fato de o JINR ser a segunda instituição estrangeira com maior número de trabalhos em coautoria da FAE brasileira legitima a quantidade de citações. Vanz (2009) destacou a participação da Física na colaboração do Brasil com algumas instituições estrangeiras como o JINR no período de 2004-2006, chegando a 89,7% do total. O CBPF (BRA) com 1.865 publicações é a quinta instituição com maior número de documentos citantes, representando 0,64% da totalidade. O centro de pesquisa ocupa a segunda posição no *ranking* nacional de produtividade da área abordada entre 1983 e 2013. O fato de a instituição ter participação ativa em vários projetos de pesquisa nacionais e internacionais pode explicar a parcela de citações.

5 CONCLUSÃO

A produção científica da FAE nacional apresentou crescimento significativo ao longo do período, registrando uma média anual de 14,27%. A expansão da atividade na área pode ter sido consequência de vários fatores: ampliação do número de PPGs em Astronomia e Física com linhas de pesquisa FAE, professores titulados e grupos CNPq; participação do Brasil nas colaborações internacionais; instituição da RENAFAE.

A distribuição dos artigos por categoria de assunto mostrou a centralização dos resultados científicos em um número reduzido de revistas, dado que foram identificadas apenas 15 WC. A Astronomia & Astrofísica com 45,63%, a Física Nuclear com 18,66% e a Física Multidisciplinar com 8,45% de participação foram as mais representativas nas publicações brasileiras. A prevalência das duas primeiras decorre não somente da significativa influência para a FAE no contexto histórico, mas também do interesse mútuo por alguns campos de pesquisa tais como; matéria escura, neutrinos, *big bang*, astropartículas, colisões de íons pesados.

As decorrências revelaram o domínio do idioma inglês, que foi utilizado em 99,98% dos artigos. Por outro lado, constatou-se que a totalidade da produção está concentrada em periódicos estrangeiros de alto FI, com destaque para os europeus, responsáveis por 46,67% das publicações. Em termos de produtividade, destacaram-se as revistas de maior tradição: *Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics* e *European Physical Journal C*. A baixa dispersão da atividade entre os 35 títulos analisados pôde ser confirmada perante a inaplicabilidade da Lei de Bradford. A preferência dos cientistas locais desvela a forte internacionalização da pesquisa em FAE.

Os autores mais produtivos são filiados a entidades do eixo Rio de Janeiro-São Paulo e pertencem à subárea experimental. A distribuição do número de contribuições por indivíduo mostrou que 19,07% dos cientistas são altamente produtivos (> 100 artigos). A análise de regressão comprovou que a Lei de Lotka é invalidada em disciplinas caracterizadas pela alta colaboração. No que se refere à autoria institucional, os dados indicam que 95,90% da atividade está concentrada em órgãos públicos federais e estaduais. A universidade com 80,92% é o setor mais produtivo da FAE local. O protagonismo das instituições paulistas e cariocas é fortemente perceptível dado que apreendem 75,52% da produção. A USP, CBPF, UNESP, UFRJ e UERJ foram as entidades mais participativas no período.

A colaboração entre indivíduos apresentou crescimento constante ao longo da série temporal, representando uma média de 155,89 autores por artigo. O estudo por amostragem

revelou que a parcela de publicações de autoria única (11,39%) está vinculada à Física Teórica. A intensidade da coautoria entre cientistas nacionais constatou a existência de grandes grupos ou *teamwork* com base na parcela de artigos com ≥ 500 autores (8,25%). O predomínio de pesquisadores estrangeiros na rede de colaboração confirmou a internacionalização na disciplina e a participação dos brasileiros nos experimentos multinacionais. Percebeu-se que tanto o crescimento do número de artigos quanto o de colaborações se ajustam ao modelo de regressão linear, indicando a forte correlação entre as variáveis.

A colaboração entre instituições registrou crescimento contínuo, representando uma média de 17,05 entidades por artigo. A força da coautoria institucional confirmou a presença de grandes consórcios com base na alíquota de artigos com ≥ 51 entidades (11,64%). O decréscimo da média para (1,49), quando consideradas somente as instituições nacionais denota a preferência pela colaboração internacional em razão do custo e complexidade dos experimentos. As análises de MDS e *cluster* revelaram um padrão regional de colaboração no âmbito nacional, confirmando a teoria de que a proximidade geográfica propicia a interação entre dois ou mais parceiros.

A colaboração internacional evidenciou crescimento ininterrupto na série temporal, representando uma média de 4,87 países por publicação. A proporção de coautorias da FAE (49,07%) é superior aos 30% verificados na produção científica brasileira em anos recentes. Em relação à amplitude, as decorrências manifestaram o alto grau de participação da área na colaboração multilateral ou *Big Science*, caracterizada pelo envolvimento de vários países em projetos experimentais ou de observação em grande escala. Os indicadores absolutos revelaram que os Estados Unidos com 6,10% é o principal parceiro do Brasil em termos de coautoria. Apesar disso, a baixa alíquota elucida a redução da dependência científica do Brasil e a consolidação dos vínculos com parceiros, na sua maioria, da Europa (Rússia, França, Alemanha, Reino Unido, Itália). Os indicadores relativos (Cosseno de Salton) expõem um processo de desconcentração e diversificação das colaborações nacionais, com presença relevante da Colômbia e países do leste europeu (Rep. Tcheca, Sérvia, Geórgia, Bielorrússia).

Os indicadores de impacto mostraram que os 6.350 artigos da produção científica da FAE nacional receberam 78.812 citações provenientes de 41.152 documentos, representando uma média de 12,41 citações por publicação. Os resultados expressaram que 87,65% dos trabalhos receberam uma ou mais citações. As características gerais revelaram um volume considerável de publicações, com média anual de crescimento de 32,17%; uma prevalência do artigo de periódico dentre os tipos de documentos e do inglês dentre os idiomas dos citantes.

A distribuição dos trabalhos por categoria de assunto evidenciou a interdisciplinaridade em FAE, visto que foram identificadas 150 WC. A Física de Partículas e Campos com 36,24%, a Astronomia & Astrofísica com 21,17%, a Física Multidisciplinar com 16,95%, a Física Nuclear com 8,98% e a Física Matemática com 4,08% foram as mais representativas nos documentos citantes. Apesar da grande dispersão das publicações por área temática, as decorrências expuseram que 87,42% da produção está concentrada em somente cinco categorias.

A respeito das revistas responsáveis pela veiculação dos citantes, comprovou-se que 49,80% dos documentos foram publicados por títulos editados na Europa. Em termos de produtividade, verificou-se a importância dos periódicos de maior prestígio no campo: *Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics*, *Physics Letters B* e *European Physical Journal C*. Os trabalhos internacionais representam 88,15% da totalidade de citações. A presença de apenas uma revista brasileira dentre as 35 mais produtivas ratifica a internacionalização da pesquisa em FAE.

Estados Unidos com 10,25% da produção é o país com maior número de documentos citantes. O fato de os EUA serem o principal parceiro do Brasil e de os pesquisadores locais participarem nos experimentos do FERMILAB e BNL pode justificar parcialmente o prestígio retribuído aos *papers* da FAE. Por outro lado, o volume de trabalhos citantes pode estar atrelado à posição de privilégio que os EUA ocupam na rede de colaboração internacional e no *ranking* de produtividade. O Brasil com 9,04% ocupa a segunda posição dentre os países citantes. O realce do País pode ser sustentado pela origem dos artigos e pela autocitação. O alcance da produção científica da FAE brasileira indexada na WoS em relação aos continentes dos citantes indicou que a Europa com 53,98% é a região que concentra o maior número de documentos. A hegemonia do continente europeu encontra-se vinculada à contribuição dos Estados-Membros do CERN e à maior tradição na pesquisa experimental de alguns países como Alemanha, Itália, Reino Unido, França, Rússia.

A quantidade significativa de instituições citantes demonstrou a alta visibilidade da atividade científica da FAE no âmbito nacional e internacional. No *ranking* de produtividade, verificou-se que das 50 com maior desempenho, somente 10% são brasileiras (USP, CBPF, UFRJ, UNESP, UERJ). Os EUA com 15 entidades é o país mais representativo. O INFN da Itália com 1,13% é a instituição com maior número de documentos citantes. O fato de o INFN ser o principal coautor das entidades brasileiras pode explicar o volume de citações. A abrangência do impacto em relação às instituições estrangeiras citantes revelou baixa

concentração da atividade, entretanto, permitiu apreender conceitos referentes à expansão da ciência nacional.

Por tanto, espera-se que o presente estudo possa contribuir para a ampliação do conhecimento da FAE local e servir de instrumento para aperfeiçoar políticas e investimentos em diferentes âmbitos como cursos de pós-graduação, infraestrutura nacional, colaboração internacional e inovação tecnológica. Os indicadores utilizados demonstraram que o campo investigado é reconhecido internacionalmente visto que a totalidade dos artigos da produção científica e a grande maioria dos documentos citantes foram publicados em revistas de alto FI na área da Física de Partículas. Conjuntamente, o aumento da participação dos pesquisadores locais nas colaborações multinacionais e a intensificação das atividades científicas na subárea experimental pode conceder ao Brasil o *status* dos países desenvolvidos. Novas pesquisas poderão ampliar a compreensão sobre aspectos relacionados à comunicação científica e tendências temáticas no contexto analisado. A continuação, relacionam-se algumas propostas para futuros trabalhos:

- a) aprofundar a análise sobre a prevalência dos artigos de autoria única em nível nacional da Física de Altas Energias;
- b) comparar o impacto da atividade local com o impacto dos demais BRICS por meio de indicadores normalizados com base na parcela de artigos altamente citados;
- c) identificar frentes de pesquisa a partir das citações recebidas pelo Brasil e demais países considerados emergentes;
- d) cotejar o número de artigos nacionais sem coautoria do BRICS, com a finalidade de elucidar padrões de colaboração.

REFERÊNCIAS

ABBASI, A. et al. Evolutionary dynamics of scientific collaboration networks: multi-levels and cross-time analysis. **Scientometrics**, Amsterdam, v. 89, n. 2, p. 687-710, 2011.

ABC – AGÊNCIA BRASILEIRA DE COOPERAÇÃO. **Acordos vigentes**. Brasília DF, 2015. Disponível em: <http://www.abc.gov.br/CooperacaoTecnica/AcordosVigentes>. Acesso em: 13 jul. 2015.

ADAMS, J.; KING, C. **Global Research Report: Brazil**. Research and collaboration in the new geography of science. Leeds: Thomson Reuters, 2009.

ADAMS, J.; PENDLEBURY, D.; STEMBRIDGE, B. **Building Bricks**: Exploring the global research and innovation impact of Brazil, Russia, India, China and South Korea. Thomson Reuters, 2013.

ALMEIDA, E. C. E. de; GUIMARÃES, J. A. Brazil's growing production of scientific articles – how are we doing with review articles and other qualitative indicators? **Scientometrics**, Amsterdam, v. 97, n. 2, p. 287-315, 2013.

ALVAREZ, G. R., VANZ, S. A. de S. Cenário das publicações brasileiras em Física de Altas Energias. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE BIBLIOMETRIA E CIENTOMETRIA, 4., 2014, Recife. **Anais...** Recife, 2014.

AMAN, V. The potential of preprints to accelerate scholarly communication: a bibliometric analysis based on selected journals. **arXiv preprint arXiv:1306.4856**, 2013. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1306.4856>>. Acesso em 16 abr. 2014.

ArXiv. **About ArXiv**. 2014. Disponível em: <<http://arxiv.org/>>. Acesso em: 22 maio 2014.

AYMAR, R. Scholarly Communication in High-Energy Physics: past, present and future innovations. **European Review**, v. 17, n. 1, p. 33-51, 2009.

BAVELAS, J. B. The social psychology of citations. **Canadian Psychological Review**, Calgary, v.19, n.2, p. 158-163, 1978.

BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às Ciências Sociais**. 5. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2002.

BEAVER, D. de B. Reflections on scientific collaboration (and its study): past, present, and future. **Scientometrics**, Amsterdam, v. 52, n. 3, p. 365-377, 2001.

BORDONS, M.; GÓMEZ, I. Collaboration networked in science. In: CRONIN, B.; ATKINS, H. B. (Ed.). **The web of knowledge**: a festschrift in honor of Eugene Garfield. New Jersey: ASIS, 2000. p. 197-214.

BORDONS, M.; ZULUETA, M. A. Evaluación de la actividad científica através de indicadores bibliométricos. **Revista Española de Cardiología**, Madrid, v. 52, n. 10, p. 790-800, out. 1999.

BOURDIEU, P. **Os usos sociais da ciência: por uma sociologia clínica do campo científico**. São Paulo: Editora UNESP, 2004.

BOZEMAN, B.; LEE, S. The impact of research collaboration on scientific productivity. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE, 2003, Denver. **Proceedings...** Denver: AAAS, 2003.

BRADFORD, S. C. **Documentação**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1953.

BRAUN, T. et al. International co-authorship patterns in physics and its subfields, 1981-1985. **Scientometrics**, Amsterdam, v. 24. n. 2, 181-200, 1992.

BUSH, V. As we may think. **Atlantic Monthly**, v.176, n. 1, p. 101-108, 1945. Disponível em: <<http://www.theatlantic.com/unbound/flashbks/computer/bushf.htm>>. Acesso em: 12 jun. 2014.

CALERO, A. I. B. **La colaboración e la visibilidad en las disciplinas de Física en Science Citation Index y arXiv (2000-2005)**. 2009. 476 f. Tese (Doutorado)-Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Biblioteconomía y Documentación, Getafe, 2009.

CAPES - COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **Documento de área 2013**. Brasília, D. F., 2013a. Disponível em: <http://www.capes.gov.br/images/stories/download/avaliacaotrienal/Docs_de_area/Astronomia_Fisica_ATT27SET.pdf> Acesso em: 29 out. 2014.

_____. **Relatório de avaliação 2010-2012 Trienal 2013**. Brasília, D. F., 2013b. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/component/content/article/44-avaliacao/4652-astronomiafisica>>. Acesso em: 24 mar. 2015.

CBPF - CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS. **Plano Diretor do CBPF 2011-2015**. Rio de Janeiro: CBPF, 2011. Disponível em: <http://portal.cbpf.br/attachments/o_cbpf/pdfs/PlanoDiretor.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2014.

CERN - EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH. **What is CMS?** Disponível em: <<http://cms.web.cern.ch/news/what-cms>>. Acesso em: 13 maio 2015.

CHADEGANI et al. A comparison between two main academic literature collections: Web of Science and Scopus databases. **Asian Social Science**, v. 9, n. 5, p. 18-26, 2013.

CHAIMOVICH, H. Brasil, ciência, tecnologia: alguns dilemas e desafios. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 14, n. 40, p. 134-143, dez. 2000.

CHAVES, A.; SHELLARD, R. C. **Física para o Brasil: pensando o futuro**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2005. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/publicacoes/FisicaBrasil_De05.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2015.

CHAVES, A. et al. **Relatório apresentado ao Ministério da Ciência e Tecnologia sobre alguns aspectos da Física brasileira**. 2002. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/arquivos/RelatorioMCT.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2014.

_____. **Física para um Brasil Competitivo**. Brasília, D. F., 2007. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/publicacoes/FisicaCapes.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2014.

CHOMPALOV, I.; GENUTH, J.; SHRUM, W. The organization of scientific collaborations. **Research Policy**, v 31, p. 749-767, 2002.

CNPq - CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. **Currículo Lattes**. 2014. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/>>. Acesso em: 19 nov. 2014.

COLLAZO-REYES, F.; LUNA-MORALES, M. E. Física mexicana de partículas elementales: organización, producción científica y crecimiento. **Interciencia**, v. 27, n. 7, p. 347-353, 2002.

COLLAZO-REYES, F.; LUNA-MORALES, M. E.; RUSSELL, J. M. Publication and citation patterns of the Mexican contribution to a “Big Science” discipline: Elementary particle physics. **Scientometrics**, v. 60, n. 2, p. 131-143, 2004.

DGP - DIRETÓRIO DOS GRUPOS DE PESQUISA NO BRASIL LATTES. **Base corrente**. Brasília, D.F., 2014. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/web/dgp>>. Acesso em: 16 out. 2014.

DOE - DEPARTMENT OF ENERGY. **Office of Science**: laboratories. 2015. Disponível em: <<http://science.energy.gov/laboratories/>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

DUARTE, R. P. Cooperação Internacional para o Desenvolvimento em Ciência e Tecnologia: a participação brasileira na Organização Europeia para Pesquisa Nuclear (CERN). **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 3, n. 4, p. 133-151, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.cl/pdf/jotmi/v3n4/art11.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2013.

FALAGAS, M. E. et al. Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses. **The Federation of American Societies for Experimental Biology Journal**, v. 22, n. 2, p. 338-342, 2008.

FAPESP - FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Análise da produção científica a partir de indicadores bibliométricos. In: **Indicadores de ciência, tecnologia e inovação em São Paulo 2010**. São Paulo: FAPESP, 2011. cap. 4.

_____. Trabalhos indexados das universidades brasileiras com maior volume de produção. **Revista da FAPESP**, São Paulo, n. 194, abr. 2012. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/04/10/volume-e-visibilidade/>>. Acesso em: 29 maio 2015.

FERMILAB – Fermi National Accelerator Laboratory. **The DØ Experiment**. 2015. Disponível em: <<http://www-d0.fnal.gov/>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

GARFIELD, E. Is citation analysis a legitimate evaluation tool? **Scientometrics**, Amsterdam, v.1, n. 4, p. 359-375, 1979.

GENTIL-BECCOT, A.; MELE, S.; BROOKS, T. C. Citing and reading behaviours in high-energy physics. *Scientometrics*, v. 84, n. 2, p. 345–355, 2010.

GLÄNZEL, W. **Bibliometrics as a research field**: a course on theory and application of bibliometric indicators. [s. l.]: [s. n.], 2003.

_____. Seven myths in bibliometrics. About facts and fiction in quantitative science studies. **Proceedings of WIS**, Berlin, p. 1-10, 2008.

GLÄNZEL, W.; SCHUBERT, A. A new classification scheme of science fields and subfields designed for bibliometric evaluation purposes. *Scientometrics*, Amsterdam, v. 56, n. 3, p. 357-367, 2003.

_____. Analyzing scientific networks through coauthorship. In: MOED, H. F.; GLÄNZEL, W.; SCHMOCH, U. **Handbook of quantitative science and technology research**. Netherlands: Kluwer Academic, 2004. p. 257-276.

GOLDEMBERG, J. **100 anos de Física no Brasil**. Rio de Janeiro: CBPF, 1973.

GOLDSCHMIDT-CLERMONT, L. Communication patterns in high-energy physics. **High Energy Physics Libraries Webzine**, n. 6/2002. Disponível em: <http://scholar.google.com.br/scholar?cluster=14704071346888558677&hl=pt-BR&as_sdt=0,5>. Acesso em: 23 maio 2014.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HOCHMAN, G. A ciência entre a comunidade e o mercado: leituras de Kuhn, Bourdieu, Latour e Knorr-Cetina. In: PORTOCARRERO, V. (Org.). **Filosofia, história e sociologia das ciências**: abordagens contemporâneas. Rio de Janeiro: Fiocruz, 1994.

HORTA, J. S. B. Avaliação da Pós-graduação: com a palavra os Coordenadores dos Programas. **Perspectiva**, Florianópolis, v. 24, n. 1, p. 19-47, jan/jun. 2006.

HURD, J. M. The Transformation of Scientific Communication: a model for 2020. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 51, n. 14, p. 1279–1283, 2000.

INSPIRE. **About INSPIRE**. 2014. Disponível em: <<http://inspirehep.net/info/general/project/index>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

INSTITUTE OF PHYSICS. **Bibliometric evaluation and international benchmarking of the UK's physics research**. London: IOP, 2012. Disponível em: <https://www.iop.org/publications/iop/2012/page_53959.html>. Acesso em: 05 dez. 2014.

JCR - JOURNAL CITATION REPORTS. **Impact factor**. Leeds: Thomson Reuters, 2012. Disponível em: <http://admin-apps-webofknowledge.ez45.periodicos.capes.gov.br/JCR/help/h_impfact.htm>. Acesso em: 24 abr. 2015.

KATZ, J. S. Geographical proximity and scientific collaboration. *Scientometrics*, Amsterdam, v. 31, n. 1, p. 31-43, 1994.

KATZ, J. S.; MARTIN, B. R. What is research collaboration? **Research Policy**, Amsterdam, n. 26, p. 1-18, 1997.

KLING, R.; McKIM, G. Not just a matter of time: field differences and the shaping of electronic media in supporting scientific communication. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 51, n. 14, p.1306–1320, 2000.

KRAUSE, J.; LINDQVIST, C. M.; MELE, S. **Quantitative study of the geographical distribution of the authorship of High-Energy Physics journals**. CERN-OPEN-2007-014, 2007. Disponível em: <http://cds.cern.ch/record/1033099/files/cer002691702.pdf?origin=publication_detail>. Acesso em: 22 jul. 2014.

KRETSCHMER, H.; ROUSSEAU, R. Author inflation leads to a breakdown of Lotka's law. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, New York, v. 52, n. 8, p. 610-614, 2001.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1997.

LEFEVRE, C. **Technology Transfer @ CERN: from research to everyday life**. 2007. Disponível em: <<http://cds.cern.ch/record/1106357>>. Acesso em: 23 out. 2014.

_____. **CERN: European Organization for Nuclear Research**. 2010. Disponível em: <<http://cds.cern.ch/record/1278456>>. Acesso em: 23 out. 2014.

LEHMANN, S.; LAUTRUP, B.; JACKSON, A. D. Citation Networks in High Energy Physics. **Physical Review E**, v. 68, n. 2, 2003.

LEITE, P.; MUGNAINI, R.; LETA, J. A new indicator for international visibility: exploring Brazilian scientific community. **Scientometrics**, Amsterdam, v. 88, n. 1, p. 311-319, 2011.

LÉPINE-SZILY, A. **Relatório sobre o acordo Brasil-CERN**. 2011. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/relatorios/2011/9_NUC_CERN.pdf>. Acesso em: 25 out. 2014.

LETA, J. Indicadores de desempenho, ciência brasileira e a cobertura das bases informacionais. **Revista USP**, São Paulo, n.89, p. 62-77, mar./maio 2011.

LETA, J.; CRUZ, C. H. de B. A produção científica brasileira. In: VIOTTI, E. B.; MACEDO, M. M. **Indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil**. Campinas: Ed. Unicamp. 2003. p. 121-168.

LETA, J.; GLÄNZEL, W.; THIJS, B. Science in Brazil. Part 2: A macro-level comparative study. **Scientometrics**, v. 67, n. 1, p. 67-86, 2006.

LETA, J.; THIJS, B.; GLÄNZEL, W. A macro-level study of science in Brazil: seven years later. **Encontros Bibli**, Florianópolis, v. 18, n. 36, p. 51-66, jan./abr. 2013.

LEYDESDORFF, L. Theories of citation? **Scientometrics**, Amsterdam, v. 43, n. 1, p. 5-25, 1998.

LIMA, R. A. de; VELHO, L. M. L. S.; FARIA, L. I. L. de. Indicadores bibliométricos de cooperação científica internacional em bioprospecção. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 12, n. 1, p. 50-64, jan./abr. 2007.

LUUKKONEN, T. et al. The measurement of international scientific collaboration. **Scientometrics**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 15-36, 1993.

LUUKKONEN, T.; PERSSON, O.; SIVERTSEN, G. Understanding patterns of international scientific collaboration. **Science, Technology & Human Values**, Thousand Oaks, v. 17, n. 1, p. 101-126, 1992.

MACHADO, M. V. T. **Consulta sobre área da Física de Altas Energias** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <gonzalarubenalvarez@gmail.com> em 19 mar. 2015.

MACROBERTS, M. H.; MACROBERTS, B. R. Problems of citation analysis: a critical review. **Journal of the American Society for Information Science**, Washington, DC, v. 40, n. 5, p. 342-349, 1989.

MALTRÁS BARBA, B. **Los indicadores bibliométricos: fundamentos y aplicación al análisis de la ciencia**. Madrid: Trea, 2003.

MANLY, B. J. F. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MARTELETO, R. M. Análise de redes sociais – aplicação nos estudos de transferência da informação. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 71-81, jan./abr., 2001.

MEADOWS, J. **A comunicação científica**. Brasília, DF: Briquet de Lemos, 1999.

MELE, S. et al. Quantitative analysis of the publishing landscape in High-Energy Physics. **Journal of High Energy Physics**, 2006.

MOTOYAMA, S. À guisa de introdução – Ciência e Tecnologia no Brasil: para onde? In: _____. **Prelúdio para uma história: ciência e tecnologia no Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004. p. 17-58.

MOURA, A. M. M. de. **A interação entre artigos e patentes: um estudo cientométrico da comunicação científica e tecnológica em Biotecnologia**. 269 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação, Porto Alegre, 2009.

MUELLER, S. P. M. O impacto das tecnologias de informação na geração do artigo científico: tópicos para estudo. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 309-317, set./dez. 1994.

_____. A Ciência, o Sistema de Comunicação Científica e a Literatura Científica. In: CAMPELLO, B. S.; CENDÓN, B. V.; KREMER, J. M. (Org.). **Fontes de informação para pesquisadores e profissionais**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000. p. 20-34.

_____. A comunicação científica e o movimento de acesso livre ao conhecimento. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 27-38, maio/ago. 2006.

_____. Literatura científica, comunicação científica e Ciência da Informação. In: TOUTAIN, L. M. B. B. (Org.). **Para entender a ciência da informação**. Salvador: EDUFBA, p. 125-144, 2007.

MUGNAINI, R. **Caminhos para adequação da avaliação da produção científica brasileira: impacto nacional versus internacional**. 2006. 254 f. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

NAGPAUL, P.; SHARMA, L. Research output and transnational cooperation in physics subfields: a multidimensional analysis. **Scientometrics**, v. 31, n. 1, p. 97-122, 1994.

NEWMAN, M. E. J. The structure of scientific collaboration networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 98, n. 2, p. 404-409, jan. 2001a.

_____. Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamental results. **Physical Review E**, New York, v. 64, n. 1, 2001b.

_____. Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality. **Physical Review E**, New York, v. 64, n. 1, 2001c.

_____. Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 101, sup. 1, p. 5200-5205, abr. 2004a.

_____. Fast algorithm for detecting community structure in networks. **Physical Review E**, New York, v. 69, n. 6, 2004b.

O'CONNELL, H. B. A Tony Thomas-inspired guide to INSPIRE. In: **American Institute of Physics Conference Series**. Batavia, 2010. p. 265-270. Disponível em: <<http://www.osti.gov/scitech/biblio/978881>>. Acesso em: 16 abr. 2014.

_____. **The horse that drank: electronic communication and the High Energy Physics community**. SLAC-PUB-8566, 2000. Disponível em: <<http://slac.stanford.edu/cgi-wrap/getdoc/slac-pub-8566.pdf>>. Acesso em 15 abr. 2014.

OLIVEIRA, A. C. de; DÓREA, J. G.; DOMENE, S. M. A. Bibliometria na avaliação da produção científica da área de nutrição registrada no Cibran: período de 1984-1989. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 239-242, set./dez. 1992.

OTTE, E.; ROUSSEAU, R. Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. **Journal of Information Science**, Cambridge, v. 28, n. 6, p. 441-453, 2002.

PACKER, A. L. Os periódicos brasileiros e a comunicação da pesquisa nacional. **Revista USP**, São Paulo, n. 89, p. 26-61, mar./maio, 2011.

PAVAN, C.; STUMPF, I. R. C. Avaliação pelos pares nas revistas brasileiras de Ciência da Informação. **Encontros Bibli.**, Florianópolis, v. 14, n. 28, p. 73-92, 2009.

PINHEIRO, L. V. R. Lei de Bradford: uma reformulação conceitual. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 12, n. 2, p. 59-80, jul./dez., 1983.

POBLACION, D. A.; OLIVEIRA, M. de. *Input e output*: insumos para o desenvolvimento da pesquisa. In: POBLACION, D. A.; WITTER, G. P.; SILVA, J. F. M. da (Org.). **Comunicação e produção científica**: contexto, indicadores e avaliação. São Paulo: Angellara, 2006.

PRICE, D. J. de S. **O desenvolvimento da ciência**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976.

ROMANCINI, R. O que é uma citação? a análise de citações na ciência. **InTexto**, Porto Alegre, v. 2, n. 23, p. 20-35, jul./dez. 2010.

ROUSSEAU, R. Indicadores bibliométricos e econométricos para a avaliação de instituições científicas. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 149-158, maio/ago. 1998.

SANCHO, R. Indicadores bibliométricos utilizados en la evaluación de la ciencia y la tecnología: revisión bibliográfica. **Revista Española de Documentación Científica**, Madrid, v. 13, n. 3/4, p. 842-865, 1990.

SANTORO, A. F. S.; NOVAES, S. F. **Física de Altas Energias**: características e particularidades da área. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Física, 2003. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/comissao_pc/HEPDOCC.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2014.

SBF - SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA. **A Física no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, Instituto de Física da USP, 1987.

_____. **Relatório A Física e o desenvolvimento nacional**. Brasília, D.F.: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2012.

SCHWARTZMAN, S. **Um espaço para a ciência**: a formação da comunidade científica no Brasil. Brasília: MCT, 2001.

SENA, N. K. *Open archives*: caminho alternativo para a comunicação científica. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 71-78, set./dez. 2000.

SHELLARD, R. C. **Física de Altas Energias no Brasil**. Tlaxcala: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2011.

SNPG – SISTEMA NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO. **Cursos recomendados/reconhecidos e cadernos de indicadores**. 2015. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/avaliacao/dados-do-snpg>>. Acesso em 26 fev. 2015.

SØNDERGAARD, T. F; ANDERSEN, J.; HJØRLAND, B. Documents and the communication of scientific and scholarly information: revising and updating the UNISIST model. **Journal of Documentation**, v. 59, n. 3, p. 278-320, 2003.

SPINAK, E. Indicadores bibliométricos. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 141-148, maio/ago, 1998.

SUBRAMANYAM, K. Bibliometric studies of research collaboration: a review. **Journal of Information Science**, v. 6, p. 33-38, 1983.

VANZ, S. A. de S. **As redes de colaboração científica no Brasil: (2004-2006)**. 2009. 204 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17169>>. Acesso em: 26 set. 2013.

VANZ, S. A. de S.; CAREGNATO, S. E. Estudos de citação: uma ferramenta para entender a comunicação científica. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 295-307, 2003.

VANZ, S. A. de S.; STUMPF, I. R. C. Colaboração científica: revisão teórico conceitual. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v.15, n.2, p.42-55, maio./ago. 2010a. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pci/v15n2/a04v15n2.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2013.

_____. Procedimentos e ferramentas aplicados aos estudos bibliométricos. **Informação & Sociedade: Estudos**, João Pessoa, v. 20, n. 2, p. 67-75, maio/ago. 2010b.

_____. Scientific output indicators and scientific collaboration network mapping in Brazil. **Collnet Journal of Scientometrics and Information Management**, 6, p. 1-20, 2012.

VELHO, L. M. L. S. A ciência e seu público. **Transinformação**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 15-32, set./dez., 1997.

_____. Estratégias para um sistema de indicadores de C&T no Brasil. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, n. 13, p. 109-121, dez., 2001.

VIEIRA, C. L.; VIDEIRA, A. A. P. Historia e historiografia da física no Brasil. **Fênix – Revista de História e Registros Culturais**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 3, p. 1-27, jul./set. 2007.

_____. O papel das emulsões nucleares na institucionalização da pesquisa em física experimental no Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 1, 2011.

WAGNER, C. International collaboration in science and technology: promises and pitfalls. In: BOX, L.; ENGELHARD, R. (Eds.). **Science and Technology Policy for Development, Dialogues at the Interface**. London: Anthem Press, 2006.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis: methods and applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

WEBQUALIS. **Estrato Qualis da CAPES**. 2015. Disponível em: <<http://qualis.capes.gov.br/webqualis/principal.seam>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

WEINSTOCK, M. Citation index. In: KENT, A.; LANCOUR, H. (Ed.). **Encyclopedia of Library and Information Science**. New York: M. Dekker, 1971. v. 5, p. 19.

ZIMAN, J. M. **Conhecimento público**. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia, 1979.

APÊNDICE A – Grupos de pesquisa CNPq para Física de Altas Energias*

Área	Instituição	Grupo de Pesquisa CNPq	Ano de formação
Física	CBPF	CMS	2008
Física	CBPF	Colaboração Dzero	1990
Física	CEFET/RJ	Física Experimental e Aplicada	2006
Física	PUC-RIO	Física Experimental de Altas Energias	2013
Física	UERJ	Física Experimental de Altas Energias	1993
Física	UFABC	Teoria de Campos, Física de Partículas, Cosmologia e Gravitação	2006
Física	UFES	Gravitação e Cosmologia	1983
Física	UFRGS	Fenomenologia de Partículas de Altas Energias	1994
Física	UFRJ	Física Experimental de Altas Energias e Tecnologias Associadas	2010
Física	UFRJ	LAPE - Laboratório de Física de Partículas Elementares	1993
Física	UNB	Cosmologia e Astrofísica	1997
Física	UNESP	Fenomenologia de Partículas Elementares e Física de Altas Energias	2005
Física	UNESP	SPRACE	2000
Física	UNICAMP	Grupo de Física de Altas Energias	1980
Física	UNICAMP	Grupo de Física Hadrônica	2012
Física	USP	Laboratório de Instrumentação e Partículas	1972
Engenharia Elétrica	CEFET/RJ	GAIC - Grupo de Automação, Instrumentação e Controle	2009
Engenharia Elétrica	UFRJ	Processamento da Informação	1990

Fonte: DGP (2014)

Nota: * Dados coletados em 01/10/2014.

APÊNDICE B – Grupos de pesquisa CNPq para Física de Partículas e Campos*

Área	Instituição	Grupo de Pesquisa CNPq	Ano de formação
Física	UFS	Física de Partículas e Campos	1997
Física	UFRN	Física de Partículas Elementares e Campos	2011
Física	UNIFESP	Física Teórica e Computacional	2011
Física	UFG	Grupo de Física de Partículas Elementares e Campos	2008
Física	IF-Farroupilha	Grupo de Física e Matemática do Instituto Federal Farroupilha	2014
Física	UFMA	Grupo de Física Teórica de Partículas e Campos do Maranhão	2003
Física	IFF	Núcleo de Estudos em Física	2006
Engenharia Nuclear	CNEN	Instrumentação Nuclear	2000
Engenharia Nuclear	CNEN	Materiais, Sensores e Dispositivos para Instrumentação	2010
Matemática	UFG	Análise Aplicada - CAC	1988

Fonte: DGP (2014)

Nota: * Dados coletados em 01/10/2014.

APÊNDICE C – Países colaboradores da FAE brasileira (1983-2013)

País	Artigos em coautoria	%	País	Artigos em coautoria	%
Estados Unidos	1.399	6,10	Irlanda	203	0,89
Rússia	1.044	4,56	Croácia	195	0,85
França	994	4,34	Israel	192	0,84
Alemanha	991	4,32	Chile	191	0,83
Reino Unido	961	4,19	África do Sul	166	0,72
Itália	959	4,18	Paquistão	159	0,69
Espanha	818	3,57	Irã	148	0,65
Polônia	704	3,07	Marrocos	144	0,63
Suíça	693	3,02	Egito	143	0,62
China	660	2,88	Lituânia	142	0,62
Rep. Tcheca	635	2,77	Bulgária	142	0,62
Holanda	623	2,72	Estônia	141	0,62
Portugal	565	2,47	Azerbaijão	141	0,62
Grécia	508	2,22	Nova Zelândia	140	0,61
Suécia	482	2,10	Chipre	140	0,61
Áustria	460	2,01	Equador	117	0,51
Colômbia	441	1,92	Vietnam	84	0,37
México	424	1,85	Tailândia	57	0,25
Índia	420	1,83	Cuba	44	0,19
Bélgica	391	1,71	Peru	34	0,15
Armênia	361	1,58	Venezuela	23	0,10
Coreia do Sul	354	1,54	Bolívia	17	0,07
Finlândia	351	1,53	Arábia Saudita	15	0,07
Romênia	347	1,51	Sri Lanka	11	0,05
Argentina	346	1,51	Qatar	8	0,03
Hungria	331	1,44	Benin	7	0,03
Japão	329	1,44	Omã	5	0,02
Eslovênia	327	1,43	Uruguai	3	0,01
Noruega	325	1,42	Cazaquistão	3	0,01
Taiwan	323	1,41	Uzbequistão	3	0,01
Turquia	311	1,36	Argélia	2	0,01
Geórgia	304	1,33	Costa Rica	2	0,01
Bielorrússia	295	1,29	Letônia	2	0,01
Sérvia	294	1,28	Bangladesh	1	0,00
Canadá	280	1,22	Nigéria	1	0,00
Dinamarca	271	1,18	Sérvia e Montenegro	1	0,00
Ucrânia	264	1,15	Síria	1	0,00
Eslováquia	257	1,12	..	..	..
Austrália	248	1,08	Total	22.918	100,00

Fonte: dados da pesquisa

APÊNDICE D – Países coautores da FAE brasileira e força da colaboração medida pelo Cosseno de Salton (1983-2013)

(continua)

País	Artigos em coautoria	Produção FAE (1983-2013)	Cosseno Salton
Colômbia	441	725	20,6
Rep. Tcheca	635	2.271	16,7
Sérvia	294	524	16,1
Geórgia	304	665	14,8
Bielorrússia	295	716	13,8
Portugal	565	2.699	13,6
Equador	117	123	13,2
Armênia	361	1.236	12,9
Eslovênia	327	1.093	12,4
Grécia	508	3.078	11,5
Lituânia	142	241	11,5
Polônia	704	6.375	11,1
Áustria	460	2.787	10,9
Romênia	347	1.595	10,9
Holanda	623	5.399	10,6
Estônia	141	289	10,4
México	424	2.748	10,2
Espanha	818	10.187	10,2
Noruega	325	1621	10,1
Argentina	346	1.869	10,0
Eslováquia	257	1.087	9,8
França	994	17.016	9,6
Hungria	331	1.858	9,6
Azerbaijão	141	346	9,5
Chipre	140	360	9,3
Rússia	1.044	19.665	9,3
Suécia	482	4.222	9,3
Turquia	311	1.746	9,3
Finlândia	351	2.355	9,1
Croácia	195	780	8,8
Marrocos	144	424	8,8
Reino Unido	961	19.147	8,7
Paquistão	159	602	8,1
Bélgica	391	3.758	8,0
Nova Zelândia	140	494	7,9
Irlanda	203	1.074	7,8
Itália	959	24.791	7,6
Taiwan	323	2.957	7,5
Alemanha	991	29.183	7,3
Suíça	693	14.715	7,2
Vietnam	84	213	7,2
Chile	191	1.215	6,9
Estados Unidos	1.399	64.516	6,9
Dinamarca	271	2.499	6,8
Egito	143	696	6,8
China	660	14.666	6,8
Coreia do Sul	354	5.057	6,2

(conclusão)

País	Artigos em coautoria	Produção FAE (1983-2013) [1]	Cosseno Salton
Peru	34	52	5,9
África do Sul	166	1.233	5,9
Austrália	248	2.922	5,8
Índia	420	8.671	5,7
Ucrânia	264	3.474	5,6
Bulgária	142	1.171	5,2
Tailândia	57	188	5,2
Cuba	44	144	4,6
Irã	148	1.728	4,5
Israel	192	3.728	3,9
Bolívia	17	34	3,7
Canadá	280	9.232	3,7
Japão	329	18.620	3,0
Sri Lanka	11	21	3,0
Qatar	8	24	2,0
Benin	7	21	1,9
Omã	5	11	1,9
Venezuela	23	361	1,5
Arábia Saudita	15	247	1,2
Costa Rica	2	23	0,5
Uruguai	3	99	0,4
Letônia	2	67	0,3
Síria	1	20	0,3
Argélia	2	265	0,2
Cazaquistão	3	362	0,2
Nigéria	1	43	0,2
Sérvia e Montenegro	1	47	0,2
Uzbequistão	3	307	0,2
Bangladesh	1	92	0,1

Fonte: WoS. Dados da pesquisa

Nota: [1] Informações coletadas em 03/07/2015.

APÊNDICE E – Países citantes da FAE brasileira (1983-2013)

(continua)

País	N. de documentos	%	País	N. de documentos	%
Estados Unidos	10.554	10,25	Sérvia	567	0,55
Brasil	9.309	9,04	Geórgia	561	0,54
Alemanha	6.322	6,14	Irlanda	555	0,54
Itália	5.139	4,99	Paquistão	538	0,52
Reino Unido	4.581	4,45	Bielorrússia	526	0,51
Rússia	4.430	4,30	Croácia	522	0,51
França	4.182	4,06	Bulgária	388	0,38
China	4.151	4,03	Equador	352	0,34
Espanha	3.457	3,36	Marrocos	338	0,33
Índia	3.193	3,10	Egito	319	0,31
Suíça	3.092	3,00	Azerbaijão	313	0,30
Japão	2.870	2,79	Chipre	270	0,26
Polônia	2.254	2,19	Nova Zelândia	238	0,23
Canadá	2.108	2,05	Estônia	217	0,21
Holanda	1.878	1,82	Vietnam	188	0,18
Coreia do Sul	1.861	1,81	Lituânia	178	0,17
Rep. Tcheca	1.673	1,62	Venezuela	156	0,15
Suécia	1.661	1,61	Cuba	150	0,15
México	1.561	1,52	Tailândia	111	0,11
Portugal	1.543	1,50	Peru	91	0,09
Grécia	1.419	1,38	Cazaquistão	86	0,08
Taiwan	1.195	1,16	Argélia	82	0,08
Argentina	1.177	1,14	Malásia	75	0,07
Áustria	1.160	1,13	Arábia Saudita	62	0,06
Israel	1.119	1,09	Singapura	45	0,04
Bélgica	1.116	1,08	Sri Lanka	41	0,04
Hungria	1.073	1,04	Qatar	32	0,03
Finlândia	1.029	1,00	Uzbequistão	28	0,03
Colômbia	1.007	0,98	Uruguai	26	0,03
Turquia	985	0,96	Bolívia	25	0,02
Irã	905	0,88	Costa Rica	24	0,02
Romênia	888	0,86	Benin	23	0,02
Austrália	879	0,85	Mongólia	18	0,02
Noruega	869	0,84	E. Árabes Unidos	17	0,02
Dinamarca	819	0,80	Montenegro	17	0,02
Armênia	761	0,74	Quirguistão	13	0,01
Eslováquia	745	0,72	Jordânia	13	0,01
Eslovênia	726	0,70	Bangladesh	13	0,01
Chile	708	0,69	Omã	12	0,01
Ucrânia	637	0,62	Nigéria	10	0,01
África do Sul	614	0,60	Indonésia	9	0,01

(conclusão)

País	N. de documentos	%	País	N. de documentos	%
Sudão	7	0,01	Iêmen	2	0,00
Tunísia	7	0,01	Botswana	2	0,00
Barbados	5	0,00	Nepal	2	0,00
Líbano	5	0,00	Malta	2	0,00
Kuwait	5	0,00	Macedônia	2	0,00
Namíbia	4	0,00	Letônia	2	0,00
Madagascar	4	0,00	Líbia	1	0,00
Síria	3	0,00	Zâmbia	1	0,00
Jamaica	3	0,00	Bahreim	1	0,00
Lesoto	3	0,00	Iraque	1	0,00
Bósnia & Herzegovina	3	0,00	Quênia	1	0,00
Camarões	3	0,00	Honduras	1	0,00
Filipinas	3	0,00	Panamá	1	0,00
Islândia	2	0,00	Guatemala	1	0,00
Níger	2	0,00	..	..	..
Hong Kong	2	0,00	Total	102.980	100,00

Nota: .. Não se aplica dado numérico.