SciELO Preprints

Estado da publicação: O preprint foi publicado em outro meio.
DOI do preprint publicado: https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2026-0136

Nós entre laços: transformação na estrutura da rede de colaboração científica da pesquisa em Ensino de Física

Daniel Trugillo Martins Fontes, André Machado Rodrigues

https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

Submetido em: 2026-04-16
Postado em: 2026-04-23 (versão 1)
(AAAA-MM-DD)

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

Nós entre laços: transformação na estrutura da rede de colaboração científica da pesquisa em Ensino de Física

Nodes between ties: dynamics of the Physics Education Research collaboration network

Daniel Trugillo Martins Fontes[1,*], André Machado Rodrigues[2]

[1]Universidade Estadual de Campinas, https://orcid.org/0000-0002-4741-2067

[2]Universidade de São Paulo, https://orcid.org/0000-0001-7109-5295

É de conhecimento amplo que a pesquisa em Ensino de Física no Brasil ocorre há pelo menos cinco décadas em um cenário de crescimento das suas práticas científicas. Nesse contexto, o presente trabalho investiga em que medida a expansão da pesquisa em Ensino de Física ocorreu de forma a fragmentar grupos de indivíduos em uma rede de colaboração científica. Os aportes teórico-metodológicos adotados são a teoria de comunidades de prática e a análise de redes sociais, e utilizamos a coautoria como expressão reificada da colaboração científica. O desenho metodológico envolveu análise multi-egocêntrica longitudinal de dezenas de indivíduos mais presentes nas práticas da pesquisa em Ensino de Física, e a avaliação de 1.740 artigos publicados entre 2010 e 2023. Dentre os resultados destacamos uma rede pouco fragmentada em componentes e com um componente que abrange 86% dos indivíduos. Também, que esse grande componente foi formado de forma gradual e progressiva devido a um pequeno número de indivíduos que cruzaram fronteiras socioepistêmicas entre comunidades. Além disso, apontamos que não apenas indivíduos se conectaram em um mesmo componente como também encurtaram as distâncias médias uns dos outros. Ao final, discutimos as implicações dos resultados para a concretização de uma imagem menos metafórica do que possa vir a ser a rede de colaboração científica da constelação de pesquisa em Ensino de Física.

Palavras-chave: Sociologia da ciência, ARS, Comunidade de prática, Rede científica, Rede dinâmica, Coautoria

Abstract: Physics Education research in Brazil has been developed for at least five decades amid the expansion of its scientific practices. Against this backdrop, this study examines whether the growth of this field has led to the fragmentation of groups of researchers within a scientific collaboration network. The study is grounded in Communities of Practice theory and Social Network Analysis, with co-authorship taken as an expression of scientific collaboration. Methodologically, the study combines a longitudinal multi-ego network analysis of dozens of individuals most engaged in Physics Education research practices with an examination of 1,740 papers published between 2010 and 2023. The results reveal a network with low component fragmentation, including a giant component comprising 86% of all individuals. This giant component emerged gradually over time, driven by a small number of individuals who crossed socio-epistemic boundaries between communities. The findings further show that researchers not only became part of the same connected component, but also moved closer to one another by decreasing their average path distances. Finally, we conclude by discussing the implications of these findings for developing a less metaphorical account of the

*Endereço de correspondência: danieltmfontes@gmail.com

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

scientific collaboration network that structures the Physics education research constellation.

Keywords: Sociology of science, SNA, Community of practice, Scientific network, Dynamic network, co-authorship.

1. Apresentação

Este trabalho é fruto de uma pesquisa de doutorado e pós-doutorado que objetiva estudar estruturas e dinâmicas da rede de colaboração científica na pesquisa em Educação em Ciências, particularmente na pesquisa em Ensino de Física. Isto posto, o título do presente artigo faz referência ao tema do XXV Simpósio Nacional de Ensino de Física, ocorrido em 2023, e que teve como tema "Laços e Nós do Ensino de Física" ao fazer alusão ao seu formato em rede. Portanto há um duplo sentido do termo *nós*: se refere tanto ao termo atribuído aos vértices de uma rede quanto a primeira pessoa do plural, no caso, indivíduos envolvidos com a pesquisa em Ensino de Física.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: a próxima seção contextualiza a pergunta de pesquisa, e a seção seguinte explicita a fundamentação para os entendimentos de constelação, comunidade e rede que definirão o desenho metodológico e a interpretação dos resultados. A seção de materiais e métodos traz os elementos essenciais, enquanto uma exposição longa e justificada de cada escolha consta em Fontes [1]. Por fim, discutimos que muitos *nós* se conectaram fruto de um processo gradual e progressivo que reflete práticas sociais e científicas da pesquisa em Ensino de Física.

2. Contexto e problema de pesquisa

Não é novidade que a pesquisa em Ensino de Física no Brasil, compreendida como o conjunto de indivíduos, comunidades, instrumentos e práticas apresenta trajetória consolidada e marcada por múltiplas transformações ao longo do tempo. Entre as características destacamos a ampliação do número de pesquisadores e de pesquisas produzidas, a pluralização de focos temáticos e referencias teórico-metodológicos, a criação e estabelecimento de programas de pós-graduação acadêmicos e profissionais, a formação de coletivos para manter e editar revistas especializadas e a nucleação de grupos de pesquisa em todas as regiões do país [2-13]. Esse movimento de expansão e institucionalização desenvolve-se em um espaço permeado por disputas simbólicas e de capital acadêmico-científico no qual persiste diversas tensões, inclusive, o significado do que venha a ser pesquisa em Ensino de Física [14-18].

É nesse contexto de expansão que se torna pertinente investigar um possível cenário de fragmentação socioepistêmica. Por *fragmentação* entendemos que a pesquisa científica moderna se organiza em torno de disciplinas e especialidades, com formação de comunidades relativamente autônomas que se expressam em associações científicas, grupos de pesquisa, redes acadêmicas, e que interagem para negociarem problemas, evidências e técnicas [19,20]. Essa organização social e científica não necessariamente implica ou decorre de um isolamento dos indivíduos, mas de formas particulares de agrupamento, o que pode levar a fragmentação em alguns casos [21]. Por *socioepistêmica* entendemos que em muitas relações científicas são articuladas dimensões sociais e epistêmicas [22]. Diante do exposto nossa pergunta norteadora é:

Em que medida a expansão da constelação de pesquisa em Ensino de Física está associada a uma fragmentação socioepistêmica?

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

Dentre as variadas relações interpessoais que constituem a pesquisa, destacamos para análise a mais explícita e exigente expressão da colaboração científica: a coautoria em artigos de periódicos. A Figura 1 contribui para visualizar o problema.

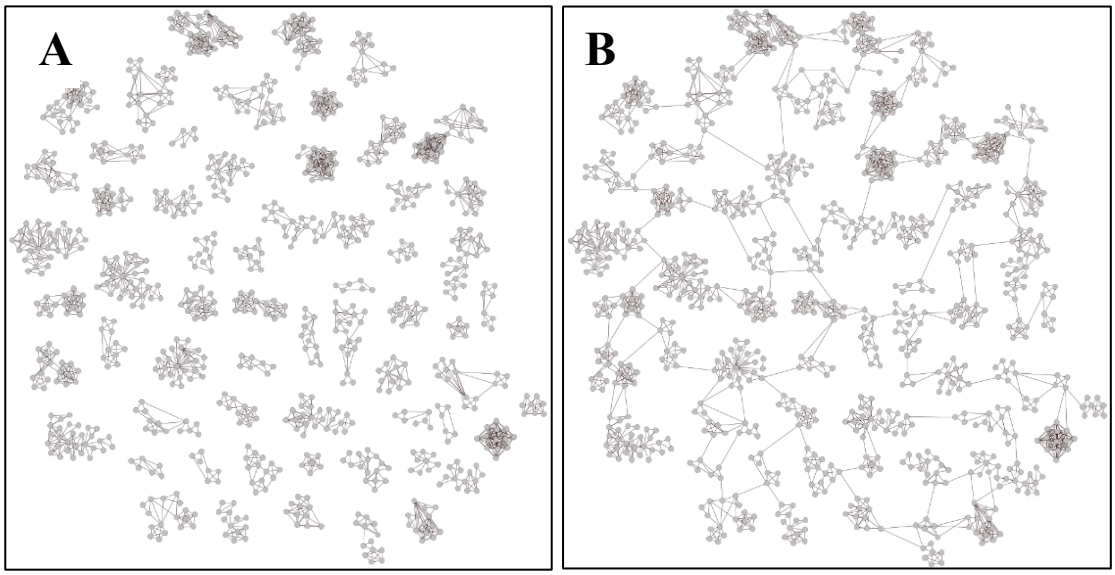


Figura 1: representação de duas diferentes configurações de rede. Os pontos representam indivíduos e as conexões representam coautorias. Em ambos os cenários há a mesma quantidade de indivíduos e conexões.

Na Figura 1A tem-se uma constelação fragmentada em múltiplos coletivos de pesquisadores que, embora colaborem localmente, não conectam partes até então desconectadas da rede. Em um outro extremo, há o cenário B, no qual há um único grande coletivo interligado. Em ambos os casos transcorreu a mesma quantidade de tempo, há a mesma quantidade de indivíduos, conexões e produção científica. Portanto, o que diferencia os cenários não é a quantidade que constitui a estrutura da rede, mas a própria estrutura.

Destacamos que há razões que podem sustentar, simultaneamente, expectativas favoráveis e contrárias à fragmentação socioepistêmica da pesquisa em Ensino de Física. Se, por um lado, houve expansão de cursos de pós-graduação em Ensino de Física, surgimento e nucleação de grupos de pesquisa e diversidade de temáticas de investigação; por outro lado a pesquisa em Ensino de Física mantém múltiplas atividades e eventos de abrangência nacional para colocar pesquisadores em contato, fomentar a colaboração e intercâmbio de conhecimentos, saberes e práticas para além de grupos locais. Portanto, não julgamos possível responder à pergunta de pesquisa apenas de um ponto de vista teórico-conceitual, o que implica na necessidade de análise empírica.

Em suma, investigamos em que medida a pesquisa em Ensino de Física é melhor representada pelo cenário A, pelo cenário B, ou por algum cenário intermediário. Adotamos o aporte teórico-metodológico das comunidades de prática [23] e da análise de redes sociais [24,25] para desenhar a pesquisa e interpretar os resultados.

3. Fundamentação teórica

3.1. Constelação e comunidade de prática

Uma comunidade de prática é um coletivo de indivíduos que, ao partilharem um domínio de interesse, se engajam de forma contínua, produzindo reificações e formando identidades por meio da prática coletiva, apresentando engajamento mútuo,

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

empreendimento conjunto e repertório compartilhado de linguagens, ferramentas e ações [23].

De modo geral, as comunidades de prática podem ser aproximadas dos grupos de pesquisa [26-29]. A razão subjacente a essa aproximação reside no fato de que os membros de um grupo de pesquisa se engajam em formas de aprendizagem explícitas e tácitas, compartilham recursos, soluções, métodos, constroem um senso de identidade, têm autonomia de ações e autogestão, negociam seus próprios horizontes de trabalho e definem suas fronteiras, entre outras características associadas às comunidades de prática [1].

Contudo, ainda que as comunidades (ou grupos de pesquisa) sejam relativamente autônomas, elas estão inseridas em uma malha complexa de relações e atividades da pesquisa científica, constituindo, em conjunto, uma constelação de práticas. As constelações são configurações sociais demasiadamente amplas, diversas ou difusas de tal modo que não é pertinente classificá-las como comunidades [23]. Em Fontes [1] argumentamos que a pesquisa em Ensino de Física pode ser interpretada como uma constelação de práticas, pois é possível associá-la a muitas das características atribuída às constelações, tais como o compartilhamento de raízes históricas, o enfrentamento de condições semelhantes, a competição pelos mesmos recursos, a existência de objetivos relacionados, entre outros.

Perceba que adotamos o conceito *constelação* para referenciar aquilo que outros nomeariam de área ou campo. Nossa escolha é motivada conceitualmente: constelação enfatiza aspectos da identidade e da participação coletiva em um domínio, enquanto a ideia de *área* tem forte apelo institucional; em geral, fazendo referência às áreas de avaliação da pós-graduação no país. Já *campo* é um conceito caro à pesquisa sociológica e muito atrelado ao referencial de Bourdieu carregando um conjunto de pressupostos e perspectivas que não necessariamente compartilhamos [ver 16,17,30]. O conceito de participação é definido a partir dos modos de pertencimento e identificação de um indivíduo no contexto em que está inserido [23]. Ao longo da vida, inclusive em um mesmo momento, indivíduos podem participar de múltiplas comunidades e constelações, apresentando diferentes níveis de participação e engajamento em cada uma delas [31].

Assim, a participação na constelação engloba a ideia de multiafiliação em um espectro de atividades e práticas. Com isso, os indivíduos produzem objetos fronteiriços (ferramentas, conceitos, gráficos, tabelas, documentos etc.), ou seja, formas reificadas que possibilitam o diálogo e refletem a experiência compartilhada entre os membros [23,32]. Assim, participar na comunidade (e na constelação) é entendida em referência aos modos com os quais indivíduos participam de práticas relevantes, de tal forma que há uma correlação positiva entre maior participação e maior identificação.

Em suma, a distinção entre constelação e comunidade é importante pois possibilita interpretar conexões entre os indivíduos em dois níveis: *na* e *entre* comunidades. Nosso foco está nas conexões entre comunidades uma vez que elas se vinculam ao fenômeno da fragmentação na constelação de pesquisa em Ensino de Física (ConstPEF).

3.2. Redes científicas, comunidades e constelação

Assim como nas comunidades de prática, nas redes científicas indivíduos também constroem senso de identidade por meio de relações interpessoais. Contudo, a ideia de rede enfatiza interação e conexão visto que:

> Ao apoiar o mesmo paradigma, os pesquisadores também compartilham compreensões específicas sobre quais técnicas de pesquisa são apropriadas para investigar os problemas e um senso de

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

> identidade que é construído por meio de redes interpessoais e dos processos de compartilhamento de informações. Assim, eles podem ser identificados em comunidades de pesquisa observáveis (Kuhn, 1970: 176-83), alternativamente definidas como comunidades de práticas (Descombe, 2008). A busca por comunidades de prática observáveis possui uma longa história na sociologia da ciência, desde a identificação de colégios invisíveis (Crane, 1972) até análises mais recentes de redes de citações e trajetórias de autoria (Burt 1978/79; Hummon e Carley, 1993; Hummon e Doreian, 1989; Liberman e Wolf, 1998; Lievrouw et al., 1987) [33, p. 44, tradução nossa].

Perceba que constelação e rede são formas complementares de conceber o complexo ecossistema da pesquisa científica moderna. Como expressou Wenger "a questão não é se um determinado grupo é uma rede ou uma comunidade, mas como os dois aspectos coexistem como processos estruturantes" [34, p. 191, tradução nossa].

Na perspectiva de rede, o foco desloca-se para a configuração estrutural das relações interpessoais como elemento explicativo das ações e comportamentos dos indivíduos de modo que a estrutura formada por tais relações criam posições privilegiadas e canais para circulação de recursos delimitando oportunidades e explicitando assimetrias entre os indivíduos [35,36]. Nas redes científicas, como de colaboração e coautoria, os indivíduos

> têm apenas percepções vagas de outros membros, pois conseguem ver apenas seus contatos imediatos, sem uma percepção clara daqueles que estão além deles, embora estejam, ainda assim, conectados indiretamente. Esses círculos não são exclusivos: cientistas podem pertencer a vários deles simultaneamente e de forma sequencial, com alguns se sobrepondo parcialmente [37, p. 156, tradução nossa].

Tais relações interpessoais entre os indivíduos acabam formando colégios invisíveis [19], conceito que pode ser aproximado das constelações de pesquisa, uma vez que destaca interação social a partir de práticas compartilhadas e de fronteiras não rígidas. Nesses círculos de interações sociais, indivíduos "também conectam indiretamente diferentes disciplinas, produzindo uma estrutura em favo de mel da ciência (Crane, 1972)" [37, p. 156, tradução nossa]. A estrutura em favo de mel, além de remeter a ideia de rede, é compatível com o entendimento da constelação de pesquisa pois aponta a existência de comunidades localizadas e mais densas que possuem certa autonomia, e que se intersectam parcialmente formando a constelação.

3.3. Redes de coautoria

Um exemplo relevante das redes científicas são as redes de colaboração, que podem se materializar em redes de coautoria. As redes de coautoria costumam ser interpretadas como vias de circulação de conhecimento explícito e tácito a partir do compartilhamento de recursos materiais e imateriais [1]. Sabe-se que a maior parte das coautorias ocorrem localmente entre indivíduos de um mesmo grupo de pesquisa, departamento ou programa de pós-graduação de modo que tais redes tendem a serem pouco fragmentadas em componentes [38-45]. Uma das explicações para essa concentração de coautoria em coletivos locais reside no fato de que o aumento da distância geográfica diminui a probabilidade de coautoria [46,47], em parte porque tende a menor frequência de interação entre os indivíduos [48].

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

Dito isso, há duas grandes formas de conceber uma rede de coautoria: sociocêntrica ou egocêntrica, a depender de como são conceitualizadas e operacionalizadas as fronteiras. No presente caso, adotamos a perspectiva egocêntrica. Em uma rede egocêntrica elege-se um (ou mais) indivíduos e estes são nomeados *egos*; aqueles conectados aos egos são nomeados *alters*, e no nosso caso, um ego pode se conectar a outro ego. Logo, a fronteira é definida pelos indivíduos com os quais os egos estão diretamente conectados, o que forma a rede. A Figura 2 integra as ideias de redes egocêntricas, constelação e comunidades a fim de materializar o problema de pesquisa nessa perspectiva.

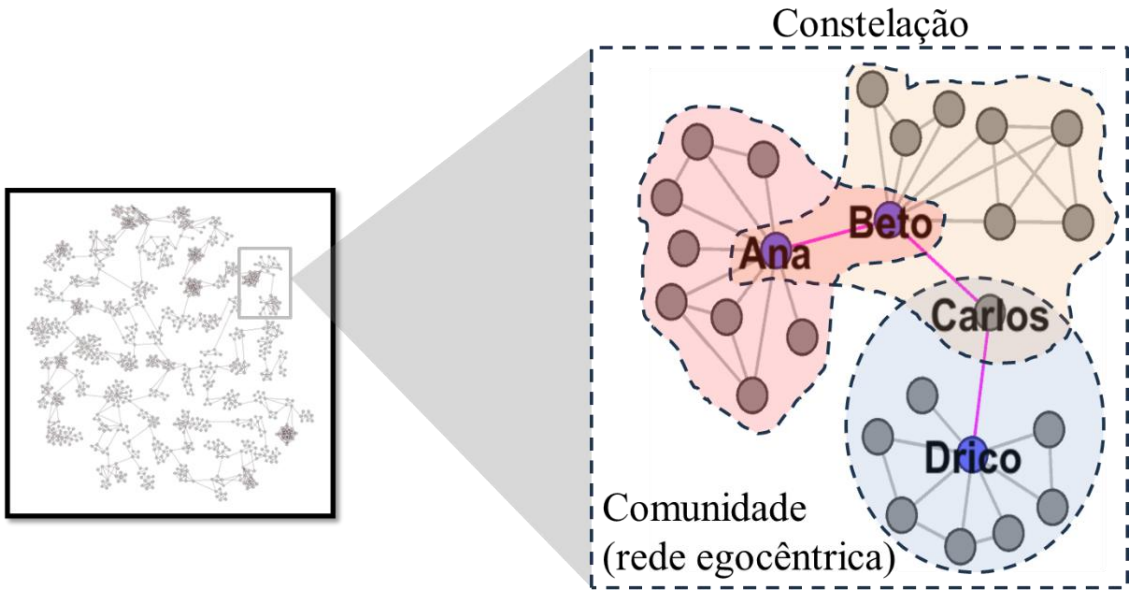


Figura 2: representação esquemática de uma constelação de pesquisa composta por múltiplas redes egocêntricas. Legenda: vértices destacados em azul correspondem aos egos, enquanto os vértices em cinza representam alters.

No exemplo figurativo, Ana, Beto e Drico são egos que ao publicarem *x* artigos em *y* periódicos, suas redes egocêntricas de coautoria formaram uma comunidade em torno de cada um deles. A situação de Carlos é particular pois ele é um indivíduo que é coautor tanto de Beto quanto de Drico. Logo, ele pertence a ambas as redes egocêntricas e às suas respectivas comunidades. Note que embora Ana e Beto sejam coautores, e cada um em alguma medida faça parte da comunidade do outro, eles têm suas respectivas comunidades (conexões em cinza). As conexões destacadas em rosa são coautorias que cruzam as fronteiras da comunidade, no sentido de que um ego foi coautor de outro ego (caso de Ana e Beto) ou porque um alter é coautor de diferentes egos (caso de Carlos).

4. Materiais e métodos

As descrições detalhadas das etapas metodológicas bem como as respectivas justificativas para as escolhas dos indicadores encontram-se em dois capítulos de Fontes [1]. Nas seções seguintes recuperamos apenas as informações essenciais.

4.1. Registro dos indivíduos e definição dos egos

A ideia de participação é uma abstração que em alguns casos pode ser reificada para a identificação empírica de indivíduos. Por exemplo, títulos, vestimentas, tatuagens, diplomas, podem ser utilizados para identificar indivíduos de uma determinada comunidade ou constelação [23]. Assim, considerando a posse de determinado atributo,

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

o envolvimento em tipos específicos de relações, ou a participação em práticas socialmente reconhecidas coletamos todos os indivíduos registrados nos seguintes indicadores:

I) *Organizadores(as) dos eventos científicos da pesquisa em Ensino de Física* (inclui Comissão Organizadora, Comite Científico dentre outras comissões);

II) *Conferencistas em eventos da pesquisa em Ensino de Física* (inclui palestrantes, coordenadores de sessão, membros de mesas-redondas e de rodas de conversa);

III) *Pessoas inscritas em eventos da pesquisa em Ensino de Física*;

IV) *Editores(as) de periódicos nacionais em Ensino de Física* (inclui editoria chefe, adjunta, associada e assistente);

V) *Atuação como parecerista para periódicos nacionais em Ensino de Física*;

VI) *Autores(as) de artigos em Ensino de Física em periódicos nacionais*;

VII) *Autores(as) de artigos em Ensino de Física em periódicos internacionais*;

VIII) *Sócios(as) da Sociedade Brasileira de Física (SBF)*;

IX) *Estudantes de pós-graduação stricto sensu e docentes em programas de pós-graduação em Ensino de Física*.

Para os itens I, II e III, os eventos científicos da pesquisa em Ensino de Física considerados foram o Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) e o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF). Para o item IV e VI foram considerados as editorias e os autores dos periódicos Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Física na Escola (FnE) e Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), sendo que para a RBEF foi incluído apenas autores dos artigos considerados de pesquisa em ensino. Para o item VII foram considerados autores com afiliação Brasil ou Brazil nos periódicos Physics Education (PE), The Physics Teacher (TPT), ou Physical Review Physics – Education Research (PRPER) e, na dúvida, eventuais coautores também foram contabilizados. Para o item V, foi obtido somente a lista de pareceristas da CBEF devido às limitações editoriais da FnE e RBEF quando solicitado. Finalmente, os indicadores VIII e IX, embora previstos conceitualmente, não puderam ser operacionalizados empiricamente por falta de retorno no primeiro caso, e por questões técnicas da coleta e tratamento dos dados no segundo caso. O recorte temporal geral foi de 2010 a 2023. A Figura 3 apresenta um esquema visual dos indicadores, indivíduos encontrados e períodos considerados.

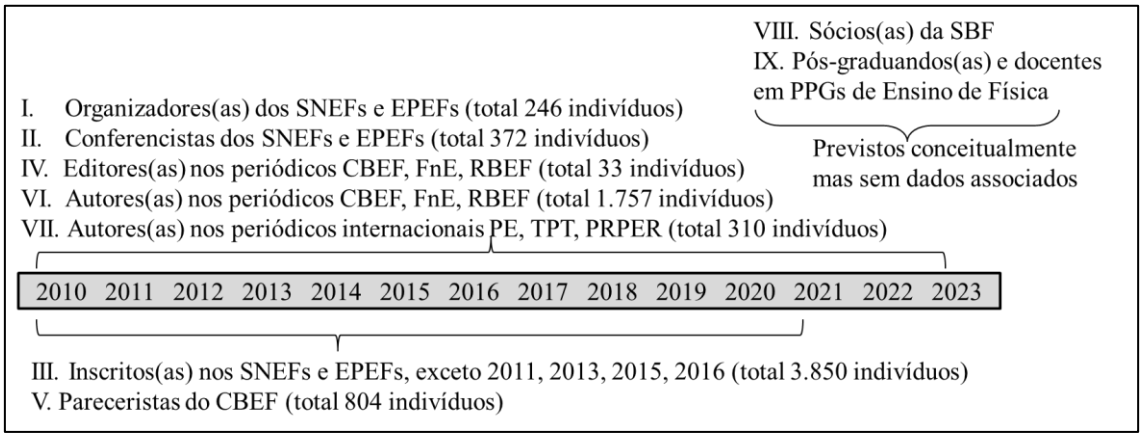


Figura 3: resumo dos indicadores de participação na constelação de pesquisa em Ensino de Física.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

Ao todo foram identificados 5.807 diferentes indivíduos. Ressaltamos *diferentes* pois muitos dos indivíduos estão presentes em mais dos indicadores, tal como esperado conceitualmente.

No entanto, não é razoável que todos os 5.807 indivíduos sejam igualmente presentes nas práticas da ConstPEF, por diversas razões. Alguns estão em processo de formação, outros assumem cargos de poder, outros são aposentados, enquanto outros aparecem apenas pontualmente devido a eventos contingenciais. Assim, a constelação pode ser dividida em regiões do espaço social que refletem em alguma medida a ideia de inserção nas diferentes práticas que a constituem, de modo que indivíduos de diferentes regiões possuam diferentes formas de participação e engajamento.

No caso, a divisão constituiu em selecionar todos os indivíduos ativos que cumpriram pelo menos 75% dos indicadores (isto é 5, 6 ou 7 indicadores) para serem os egos. Indivíduos ativos são aqueles que atualizaram o currículo Lattes até cinco anos antes da coleta, realizada em julho de 2024. No final do processo chegou-se em 67 indivíduos (egos). Os 67 egos estão distribuídos entre sexo feminino (46%) e masculino (54%), afiliados a 34 diferentes instituições em todas as regiões do país, são todos doutores(as) sendo que a maioria obteve o doutorado após o ano 2000 (67%).

4.2. Seleção dos artigos

Obtivemos os currículos Lattes em XML dos 67 egos em julho de 2024. Depois automatizamos a extração dos dados de coautoria em artigos de periódicos e procedemos com a deduplicação de nomes, seguida de verificações manuais para mitigar erros. Eventuais artigos da "ciência dura" como Física e Astronomia não constituíram o *corpus* pois sabe-se que padrões de coautoria e estruturas de colaboração nesses casos diferem significativamente das Ciências Humanas e Sociais, no qual a pesquisa em Ensino de Física mais se aproxima [49,50]. Ao final, o conjunto dos 67 egos publicaram 1.740 artigos únicos entre 2010 e 2023, e estes são os artigos que serviram de fonte para a análise das redes de coautoria.

4.3. Operacionalização das medidas de rede

Formalmente as redes são operacionalizadas por grafos. De modo geral, define-se um grafo G como uma entidade que apresenta dois tipos de informação: o conjunto dos nós ou vértices (V) e o conjunto dos laços ou conexões entre pares de vértices (L):

$$\begin{aligned} G &= (V, L) \\ V &= \{v_1, v_2, ..., v_n\} \\ L &= \{l_1, l_2, ..., l_n\} \end{aligned} \tag{1}$$

No caso de redes de coautoria, os pares não são ordenados, isto é, a conexão entre os vértices v_i e v_j é igual a conexão entre os vértices v_j e v_i. Além disso, vértices não se conectam a si mesmos, e um mesmo par de vértices só é conectado no máximo uma vez. Assim, casos repetidos de coautoria entre dois indivíduos é contabilizado como frequência da relação, não como uma conexão adicional em L. O conjunto das conexões formam um caminho no qual pode ser associado uma distância, e em geral o interesse recaí sobre a *menor* distância, nomeada de geodésica. Por exemplo, na Figura 2 a geodésica entre Ana e Beto é 1, e entre Ana e Drico é 3.

A contabilização do número de conexões que um vértice v realiza indica o seu grau, o que significa o número de coautores distintos com os quais v é coautor. Por exemplo, na Figura 2, Carlos tem grau 2 e Drico tem grau 8. O *grau médio* será a média do número de conexões considerando todos os vértices. No exemplo ilustrativo da Figura 2 o grau médio da rede é 3,23.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

De modo geral, é interessante analisar conjuntos de vértices conectados. Cada máximo subconjunto de vértices conectados por ao menos um caminho recebe o nome de *componente*; consequentemente, cada vértice da rede está associado a somente um componente. Na Figura 1A há 60 componentes, enquanto em 1B há apenas um componente. Os componentes em redes de coautoria podem representar coletivos de pesquisadores que trabalham de forma isolada uns dos outros, por múltiplas razões como distância geográfica, temática de pesquisa, escolas de pensamento, enfim, quando elementos sociais e epistêmicos não se alinham entre os indivíduos.

A *fragmentação* (*F*) indica a proporção de pares de vértices que não estão em um mesmo componente [51]:

$$F = 1 - \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}}{n(n-1)} \quad (2)$$

Sendo r_{ij} os valores na matriz de alcance e n o número de vértices. A matriz de alcance é uma matriz na qual recebe valor 1 na célula (i, j) se o vértice *i* pode alcançar o vértice *j* por qualquer caminho, e valor 0 caso contrário. Em um extremo, quando a fragmentação é 1, todo vértice é um isolado, isto é, um componente de tamanho unitário. Se a fragmentação for 0, então há somente um componente na rede, indicando que todos os vértices estão conectados por pelo menos um caminho.

Uma forma complementar de estudar a estrutura da rede é pela *compacidade* (*C*). A compacidade avalia em que medida os vértices estão próximos uns dos outros considerando o menor caminho entre eles. Para o seu cálculo, utiliza-se do inverso das distâncias geodésicas [51]:

$$C = \frac{\sum_{i \neq j} \left(\frac{1}{d_{ij}} \right)}{n(n-1)} \quad (3)$$

Sendo d_{ij} a distância geodésica entre os vértices *i* e *j*. Desse modo, a compacidade consegue lidar com vértices que estão em componentes distintos, pois nesses casos, o inverso da distância se aproxima de zero e captura a ideia de desconexão. Se todos os vértices estiverem diretamente conectados, então compacidade seria 1.

Tanto fragmentação quanto compacidade fazem referência à rede como um todo. Ou seja, é atribuído um único valor para a rede, e não para cada um dos vértices. Já a *centralidade de intermediação* (C_B) é uma medida a nível do vértice, no sentido que cada vértice apresentará um valor. A centralidade de intermediação de um vértice *i* determina quantas vezes esse vértice aparece nos menores caminhos entre todos os pares de vértices de um mesmo componente:

$$C_B(i) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(i)}{\sigma_{st}} \quad (4)$$

Sendo σ_{st} o número de menores caminhos entre os vértices *s* e *t,* e $\sigma_{st}(i)$ o número de menores caminhos entre *s* e *t* que passam por *i* (excluindo *i* como ponto inicial ou final).

Uma vez determinada a centralidade de intermediação, é possível apontar a *robustez* da rede. A robustez é utilizada para determinar em que medida um componente permanece conectado antes de se dividir. Assim, ela reflete as redundâncias de coautorias entre os indivíduos: quanto mais possibilidades de caminhos entre os indivíduos existir, menor a chance de partição da rede e maior a robustez. Há várias formas de operacionalizar essa medida [51-52]. No presente caso, procedeu-se de três diferentes

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

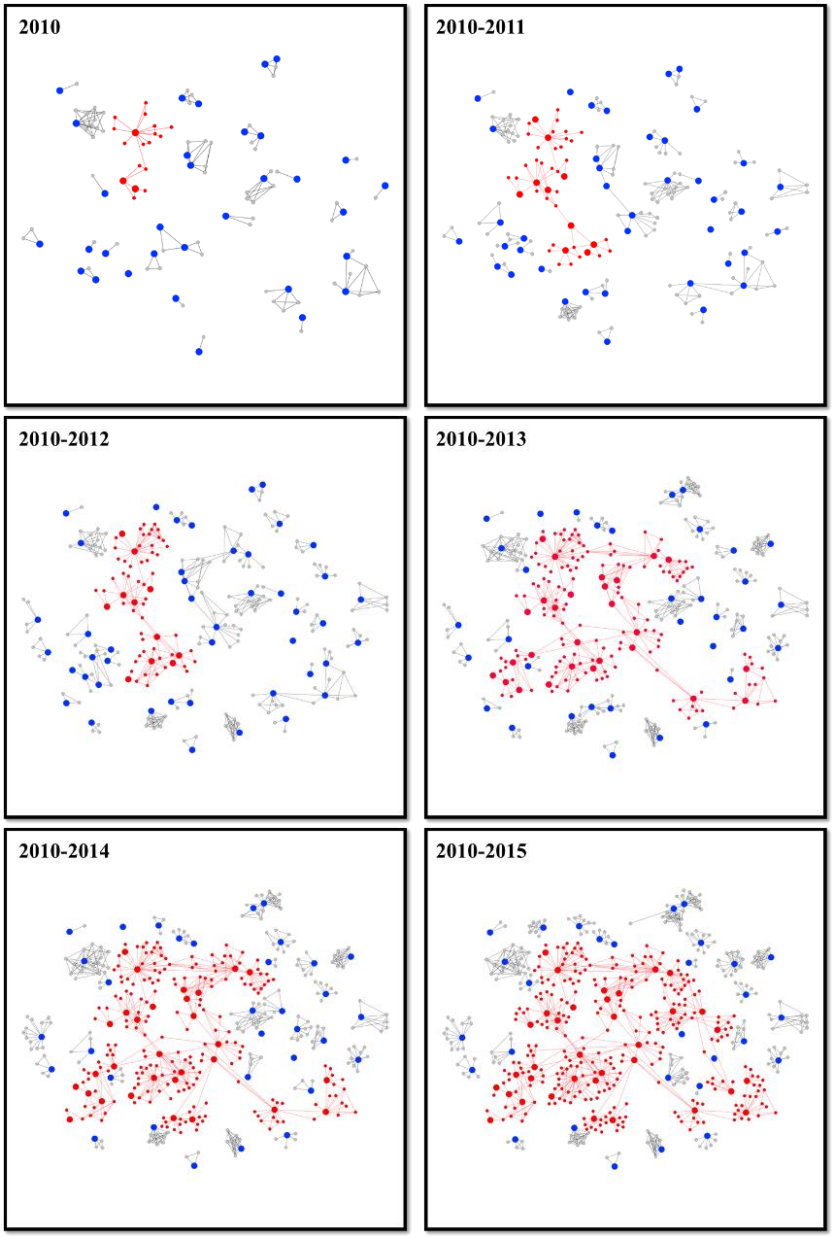
modos: i) retirou-se o indivíduo com a maior centralidade de intermediação, recalculou-se as centralidades de intermediaç no maior componente e verificou-se o tamanho do (novo) maior componente; ii) retirou-se os indivíduos com as maiores centralidade de intermediação calculadas apenas no estado inicial; iii) retirou-se indivíduos aleatoriamente e simulamos esse cenário 1.000 vezes. Os três processos são repetidos até o tamanho do maior componente ser menos da metade do seu tamanho inicial.

A fragmentação e a compacidade foram calculadas em R com o pacote xUCINET [51], o restante foi calculado no software Gephi (versão 0.9.7).

5. Resultados e Discussão

5.1. Evolução da rede de coautoria da constelação de pesquisa em Ensino de Física

A evolução da rede de coautoria da ConstPEF entre 2010 e 2023 está representada pela Figura 4. Ao final do período a rede é formada por 1.374 indivíduos (vértices) e 3.082 coautorias (linhas) conforme apresentado pela Tabela 1.



SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

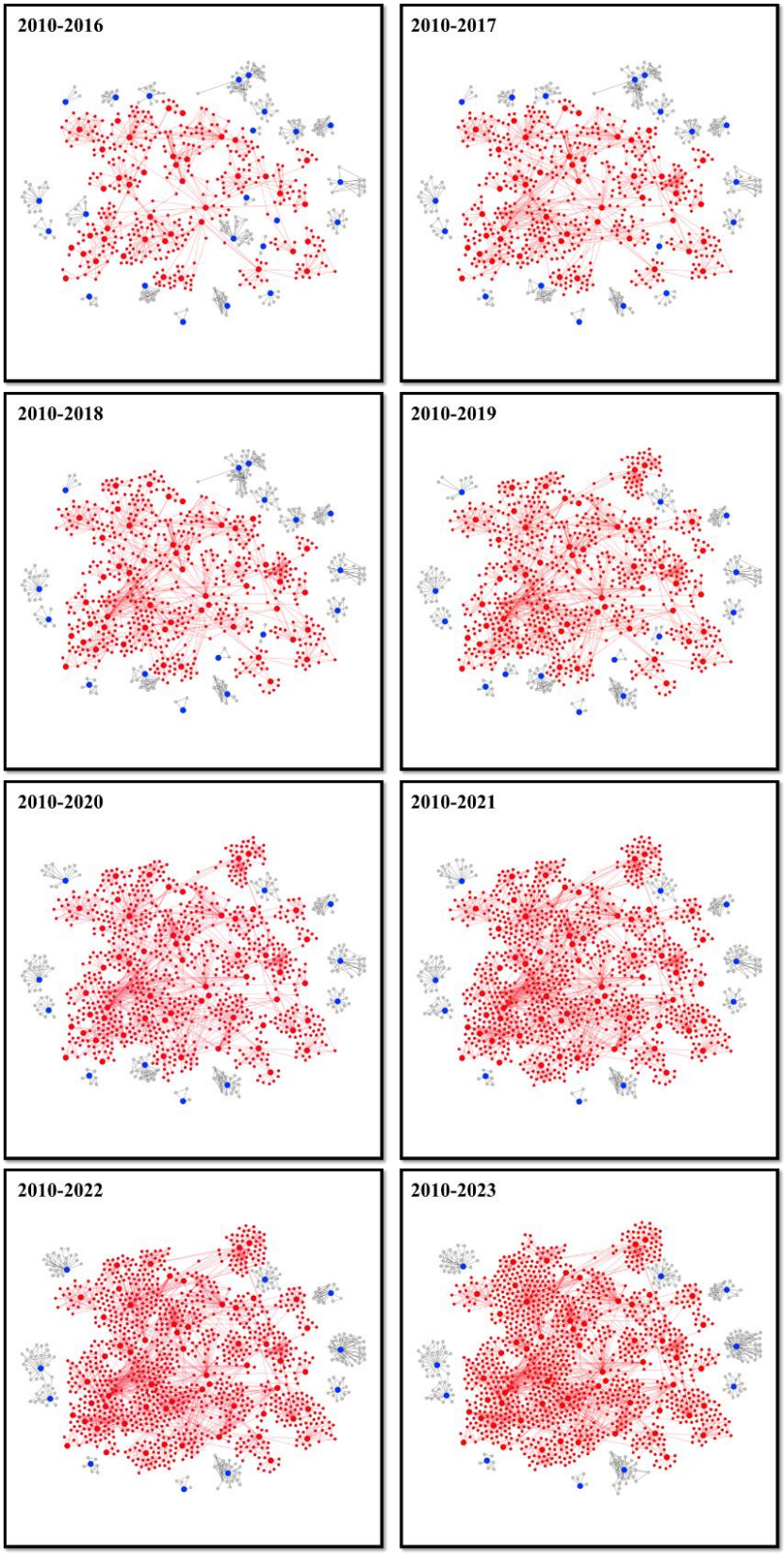


Figura 4: expansão anual cumulativa da rede de coautoria na constelação de pesquisa em Ensino de Física (2010-2023). Legenda: vértices maiores e em azul são os egos, vértices em cinza são seus coautores. Quando um indivíduo passa fazer parte do maior componente ele é destacado em vermelho.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

Anos	Vértices	Linhas	Grau médio	Componentes	Maior componente	*F*	*C*
2010	110	132	2,40	26	16%	0,94	0,04
2011	187	271	2,90	29	23%	0,92	0,04
2012	261	437	3,35	31	25%	0,91	0,04
2013	346	638	3,69	30	47%	0,77	0,05
2014	430	804	3,74	30	52%	0,72	0,06
2015	527	1.005	3,81	27	58%	0,66	0,07
2016	606	1.192	3,93	23	67%	0,55	0,09
2017	722	1.552	4,30	18	73%	0,46	0,11
2018	785	1.691	4,31	16	78%	0,39	0,12
2019	913	2.002	4,39	15	83%	0,31	0,14
2020	1.030	2.280	4,43	12	85%	0,27	0,15
2021	1.169	2.606	4,46	11	88%	0,23	0,16
2022	1.272	2.866	4,51	10	86%	0,25	0,15
2023	1.374	3.082	4,49	10	86%	0,25	0,15

Tabela 1: Medidas cumulativas da rede de coautoria na constelação de pesquisa em Ensino de Física (2010-2023). Legenda: *Maior componente* = quantidade de vértices que compõem o maior dos componentes da rede, *F* = fragmentação, *C* = compacidade.

A Tabela 1 deve ser lida cumulativamente; por exemplo, em 2021 a rede agregada dos egos e alters apresentava 1.169 indivíduos devido aos indivíduos que constavam na rede em 2010 e novos indivíduos incluídos a cada ano. Assim, quando algum indivíduo ou conexão é registrada, ela se mantém até o último ano analisado.

Da Tabela 1, nota-se o aumento contínuo do grau médio devido ao crescimento percentual de coautorias ser superior ao crescimento percentual de indivíduos, com exceção do último ano. Tal aumento indica novas relações de coautoria na ConstPEF tanto com os indivíduos já presentes na rede – mas as quais os egos ainda não haviam publicado em conjunto – quanto com indivíduos que surgem na rede com o passar dos anos.

Independentemente da forma concreta – se novas coautorias com indivíduos já presentes na rede mas até então desconectados entre si, ou com novos indivíduos que chegam à rede – diminui-se a taxa de crescimento do grau médio nos últimos anos. Entendemos que esse elemento aponta na direção de que os egos podem estar próximos de um limite socioepistêmico de quantas novas relações de coautoria podem sustentar a cada ano. Em parte, tal resultado mostra que muitos indivíduos chegam na rede de coautoria da ConstPEF com poucas conexões, em muitos casos por publicarem apenas com seu respectivo ego (e.g., indivíduo que publica artigo fruto de trabalho de pós-graduação no qual a coautoria do artigo é geralmente atribuída ao indivíduo e ao orientador). Em suma, o indicativo é que mesmo com décadas de história, em tempos recentes, a estrutura da ConstPEF continua registrando expansão com a entrada de novos indivíduos em ritmo superior à formação de relações de coautoria com os indivíduos já existentes.

Também se observa que nos primeiros anos da década, a rede de coautoria da ConstPEF é consideravelmente fragmentada ($F > 0{,}90$). De 2012 para 2013 houve uma diminuição da fragmentação devido a duas coautorias – materializadas em dois artigos – entre indivíduos que embora já estivessem presentes na rede estavam desconectados, cada qual em sua respectiva comunidade. Estes coautores não possuíam vínculo de orientação acadêmica e nem compartilhavam da mesma instituição. Ao mesmo tempo, os indivíduos da rede não ficaram significativamente mais próximos uns dos outros (baixa variação de *C*); ou seja, embora o tamanho do maior componente passe de 25% para 47% entre 2012 e 2013, a distância média entre pares de indivíduos continua relativamente elevada. No entanto, com o tempo, nota-se que *C* aumenta lentamente, indicando que indivíduos da

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

ConstPEF têm encurtado suas distâncias socioepistêmicas ao formarem novos laços de coautoria.

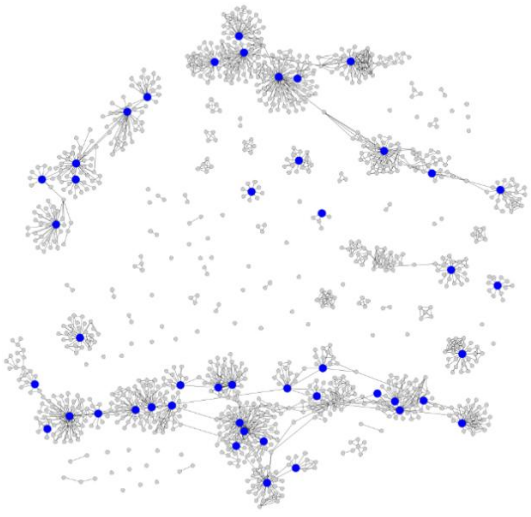
O mais importante a se destacar é a formação gradual de um componente que em 2023 chegou a 86% dos indivíduos e a 89% das coautorias. Perceba que não há outro componente que agregue várias comunidades. Dito de outro modo: poderia ser o caso de a ConstPEF ter dois componentes: um que englobasse 86% dos indivíduos e outro que englobasse os 14% restantes, mas este não foi o caso. Ou os egos e seus alters fazem parte do único grande conglomerado de comunidades ou estão isolados em suas próprias comunidades, com exceção de dois egos que estão conectados entre si, mas desconectados do grande componente (última imagem da Figura 4 à esquerda).

5.2. Uma vez formado, não é trivial dividir

O resultado anterior destacou a formação de um grande componente na rede de coautoria da ConstPEF. Agora testou-se a sua resistência à fragmentação com exame da robustez. A Tabela 2 e a Figura 5 apresentam o resultado do primeiro e mais severo teste com a retirada de indivíduos de maior centralidade de intermediação recalculada para cada novo estado do maior componente, conforme discutido na seção de métodos.

Indivíduos retirados	Número de componentes	Tamanho do maior componente
Nenhum (estado inicial)	1	1.187 (100%)
1º	2	1.174 (98,9%)
2º	4	1.170 (98,6%)
3º	8	1.162 (97,9%)
4º	8	1.161 (97,8%)
5º	17	1.119 (94,3%)
6º	17	1.118 (94,2%)
7º	36	1.081 (91,1%)
8º	46	750 (63,2%)*
9º	50	672 (56,6%)
10º	60	657 (55,3%)
11º	66	639 (53,8%)
12º	74	630 (53,1%)
13º	82	608 (51,2%)
14º	85	601 (50,6%)
15º	93	455 (38,3%)**

Tabela 2. Resultado da fragmentação do maior componente da rede de coautoria da constelação de pesquisa em Ensino de Física (2010-2023) após sucessivas retiradas de indivíduos com maior centralidade de intermediação. Legenda: *Primeira grande divisão **Segunda grande divisão.



SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

Figura 5: rede de coautoria na constelação de pesquisa em Ensino de Física (2010-2023) após a retirada dos 15 indivíduos com maior centralidade de intermediação. Legenda: vértices maiores e em azul são egos, vértices em cinza são alters.

No teste i) o primeiro ponto de grande divisão ocorreu na oitava remoção quando o maior componente passou a representar 63,2% do tamanho original. Isso permite a interpretação de que as intermediações mais altas não são estruturalmente essenciais para manter a rede conectada, porque os indivíduos atuam mais como "otimizadores de caminhos" do que vértices críticos para evitar a fragmentação. Após esse momento, foi necessário a retirada de mais seis indivíduos até chegar à segunda grande divisão. Com a retirada do 15º indivíduo, o maior componente passou a representar apenas 38% dos indivíduos, tornando a rede ainda mais fragmentada conforme ilustrado pela Figura 6.

No teste ii), com retirada de indivíduos com maior intermediação conforme determinada no estado inicial da rede, foi necessário remover 14 vértices para reduzir o maior componente conectado a aproximadamente 63% do seu tamanho original. Ou seja, seria necessário remover o dobro de indivíduos para chegar à mesma grande divisão conforme reportado na Tabela 2. Depois, com a retirada do 17º indivíduo o maior componente passa a representar 34,8% dos indivíduos, passando a ser menos da metade do tamanho original.

No teste iii), no qual foi simulado 1.000 remoções aleatórias, foram necessárias 377 remoções em média (desvio-padrão = 42, mínimo = 212, máximo = 485) para que o maior componente apresentasse menos da metade do tamanho original. Assim, pode-se dizer que o maior componente da rede de coautoria da ConstPEF é robusto contra retiradas aleatórias de indivíduos, o que reflete mortes e mudanças de profissão.

O conjunto desses testes indica que embora haja pesquisadores com relativa elevada centralidade de intermediação, isso não implica necessariamente coautorias com múltiplos indivíduos. O maior componente da rede, ao passar por duas grandes divisões que ocorrem após intervalos de remoção, é um indício de que grandes (sub)componentes também se formam com agregados de caminhos redundantes. Ou seja, não parece haver um indivíduo claramente identificável como intermediador-chave para manter a coesão também nos grandes subcomponentes. Pela lente das comunidades de prática, apontamos que indivíduos com elevadas intermediações podem ser centrais em suas respectivas comunidades, mas não necessariamente mantêm a relevância entre comunidades.

5.3. Laços entre nós

Retomamos o contexto de que a ConstPEF é formada por uma diversidade de referenciais teóricos, metodológicos e especialização do conhecimento, sendo desenvolvida em múltiplos programas de pós-graduação acadêmicos e profissionais em diferentes localidades do país, e permeada por disputas de capital e autonomia no jogo científico. O perfil dos egos empiricamente utilizados para representar a ConstPEF também é diverso e parece representativo: atuam em 15 unidades federativas e em 34 instituições, são de diferentes gerações acadêmicas com diferentes décadas de conclusão do doutorado, pesquisam diferentes linhas temáticas com diferentes aportes conceituais e procedimentais e chegam a ConstPEF por diferentes trajetórias profissionais (e.g., doutorado em Educação ou Ensino de Ciências; doutorado em Física).

Soma-se a essas características os múltiplos elementos que podem dificultar a colaboração científica e a coautoria entre indivíduos, como distância geográfica [46], competição [53], e características da própria pesquisa como a temática do artigo e os métodos empregados [54-56]. Portanto, há motivos razoáveis para crer que a ConstPEF se materializaria como um conjunto disperso em torno de seus egos, isto é, de

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

comunidades conectadas localmente, mas desconectadas do restante da constelação, algo mais próximo ao cenário A na Figura 1.

Contudo, o conjunto dos resultados apresentados aponta em outra direção: a existência de um componente que foi gradativamente se formando até eventualmente agregar 86% dos indivíduos em 2023. Lembramos que as conexões que formam a estrutura da rede é a coautoria em artigos de periódicos, relação que não ocorre por acaso[2].

O mais importante é que ao longo da história recente da ConstPEF, alguns indivíduos conseguiram efetivamente transitar entre comunidades a ponto de que suas coautorias com outros egos fizeram com que diminuísse a fragmentação e aumentasse a compacidade, indicando que, em média, indivíduos na ConstPEF estão se aproximando socioepistemicamente. Essas relações que metaforicamente cruzam fronteiras entre as comunidades da constelação estão destacadas na Figura 6.

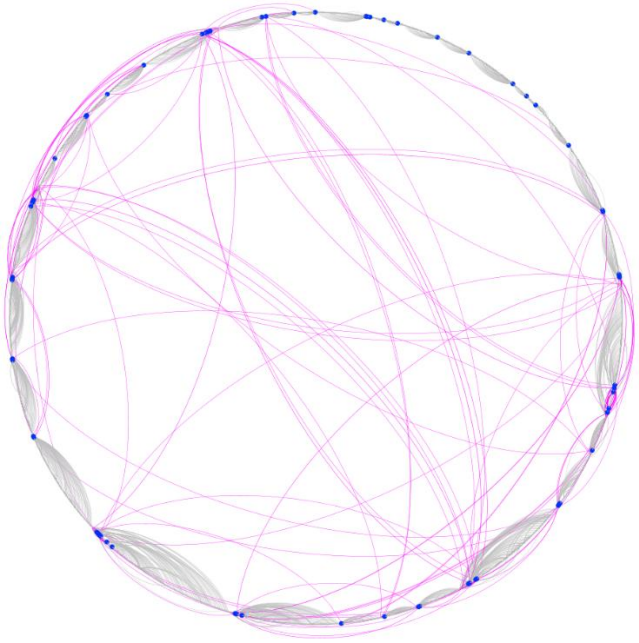


Figura 6: Rede de coautoria na constelação de pesquisa em Ensino de Física (2010-2023). Legenda: vértices azuis são egos, linhas cinzas ocorrem localmente nas comunidades, linhas rosas cruzam fronteiras das comunidades.

A Figura 6 representa os mesmos 1.374 indivíduos e 3.082 coautorias da última imagem da Figura 4, mas agora vértices e conexões foram reorganizados para destacar as coautorias *entre* comunidades. Nela, estão destacados os 67 egos e as 222 coautorias (aproximadamente 7%) que ocorrem entre comunidades ao conectarem diferentes egos e então darem forma ao maior dos componentes. Observe que a densidade de coautorias é maior localmente conectando pontos próximos na circunferência. As linhas rosas ocorrem entre egos diretamente ou por intermédio de um alter (volte no exemplo didático da Figura 2).

Por fim, ao longo desta pesquisa, pudemos conversar com alguns pesquisadores e pesquisadoras de tal modo que foi possível agregar ao menos três grandes razões pelas quais a malha da rede da ConstPEF é traçada até eventualmente surgirem coautorias que formam pontes entre suas comunidades.

---

[2] Em certas constelações de pesquisa nas grandes áreas das Ciências da Natureza, o sentido da coautoria pode ser muito diferente do atribuído nas constelações das grandes áreas das Ciências Sociais e Humanas, na qual a constelação de pesquisa em Ensino de Física se encontra. Discute-se e exemplifica-se essa diferenciação em [1].

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

Primeiro, indivíduos que se conheceram por participarem de um mesmo evento científico, e durante as apresentações, conheceram as pesquisas – e os(as) pesquisadores(as) – que até então conheciam apenas pelo nome. Esse encontro físico no ambiente cultural do evento promoveu a colaboração, e em alguns casos, se a coautoria em artigos. Segundo, indivíduos que se organizam em torno de um grande projeto de pesquisa, com financiamento específico, que acaba por "forçar" colaboração e eventual posterior coautoria. Terceiro, indivíduos que passam a atuar em grupo de pesquisa distinto daquele no qual faziam parte, seja por convites ou por mudança de instituição. Esse cenário reflete o resultado de Shigunov Neto e Strieder [57]. Os autores mostraram que nos primeiros 40 anos da ConstPEF, mestres e doutores em Ensino de Física realizaram a pós-graduação sob diferentes orientadores em 60% dos casos. Consideramos razoável supor que tal mobilidade de pesquisadores entre instituições ao longo da formação acadêmica persista até os dias atuais.

Em suma, não apenas os indivíduos particulares se beneficiam de uma rede maior de contatos, mas a ConstPEF como um todo também. Este benefício é entendido como uma maior circulação de práticas, ideias e artefatos entre as comunidades, o que areja e complexifica a ConstPEF. Se por um lado as conexões em grupos de pesquisa são importantes pois promovem empreendimento comum entre seus membros, prolongadas e aprofundadas discussões; por outro lado, grupos de pesquisa tendem a confinar práticas e instrumentos. A existência de múltiplas pontes entre essas comunidades contribui para a disseminação de ideias, a recombinação de conhecimentos, a conexão com outros especialistas e avanços teóricos [21,58]; enfim, contribuem para formação de uma constelação de pesquisa rica e madura em múltiplos sentidos.

7. Limitações

Neste estudo adotou-se o referencial das comunidades de prática articulado às redes científicas como fundamentação teórica para estudar (parte) da estrutura socioepistêmica da constelação de pesquisa em Ensino de Física. Pesquisas futuras podem recorrer a outros referenciais para sustentar diferentes formas de conceitualizar a constelação, caracterizar suas comunidades e as relações interpessoais entre os indivíduos a fim de comparar com os resultados encontrados. Também ressaltamos que os artigos que formam as redes egocêntricas evolvem apenas os egos e seus coautores. Logo, é possível que a ausência de conexão entre alters de diferentes egos seja apenas do ponto de vista dos egos. Se alters que aparecem em diferentes componentes forem de fato coautores entre si, isso diminuiria ainda mais a fragmentação. Por fim, embora a coautoria em artigos de periódicos seja considerada a mais exigente e explícita materialização da colaboração científica, há diversas formas de colaboração entre os indivíduos. Futuros trabalhos podem analisar em que medida a estrutura da rede de coautoria se assemelha a outras redes de colaboração científica na constelação de pesquisa em Ensino de Física.

8. Conclusão

Nesta pesquisa constatamos que a constelação de pesquisa em Ensino de Física (ConstPEF), mesmo com expansão institucional, geográfica e epistemológica, sustenta colaborações científicas que se materializam em coautorias para além de comunidades locais. Isto é, ao mesmo tempo em que relações interpessoais de colaboração que culminam em coautorias aconteciam dentro dos grupos e comunidades de pesquisa, também ocorreram coautorias que cruzaram fronteiras entre as comunidades. Retomando a pergunta: *em que medida a expansão da constelação de pesquisa em Ensino de Física está associada a uma fragmentação socioepistêmica?* Temos que a expansão da

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

ConstPEF resultou em pouca fragmentação, visto a presença de um componente que integra cerca de 86% dos milhares de indivíduos considerados.

A constatação que a grande maioria dos indivíduos integra um mesmo componente é consequência dos cruzamentos de fronteiras que conectam coletivos de pesquisadores, diminuindo a fragmentação e aproximando uns aos outros. Uma vez constatado essa dinâmica de colaboração que impacta diretamente na estrutura da rede, é importante que a ConstPEF continue com as suas práticas (ofertas de cursos, palestras, oficinas, escolas de formação, eventos etc.) que conectam os indivíduos, grupos e instituições, ampliam a circulação de ideias e a recombinação de conhecimentos.

Em suma, sugerimos que a ConstPEF seja mais do que uma metáfora que une pesquisadores e pesquisadoras por compartilharem raízes históricas, terem empreendimentos conjuntos e apresentarem discursos sobrepostos. Ela é uma constelação colaborativa e interligada, por meio de diferentes reificações e práticas. Essa visão de mundo contribui com mais uma peça para o mosaico do nosso entendimento acerca da constituição da pesquisa em Ensino de Física no país.

Declaração de disponibilidade de dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo está disponível mediante solicitação ao autor correspondente.

Contribuição de autoria

Daniel Trugillo Martins Fontes – Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Obtenção de financiamento, Investigação, Metodologia, Validação, Visualização, Escrita.

André Machado Rodrigues – Conceituação, Metodologia, Supervisão, Escrita.

Conflito de interesses

Os autores declaram que não há conflito de interesse

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2025/06263-0.

Referências

[1] D.T.M. Fontes, Redes socioepistêmicas e comunidades de práticas: uma tese sobre fragmentação e conectividade da constelação de pesquisa em Ensino de Física. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo (2025).

[2] A. Villani, Rev. Ens. Fis. **3**, 68 (1981).

[3] M.A. Moreira, Rev. Bras. Pesqui. Educ. Ciênc. **2**, 36 (2002).

[4] R. Nardi, A área de ensino de ciências no Brasil: fatores que determinaram sua constituição e suas características segundo pesquisadores brasileiros. Tese de Livre-Docência, Universidade Estadual Paulista, Bauru (2005).

[5] S. Salem, Perfil, evolução e perspectivas da pesquisa em ensino de física no Brasil. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo (2012).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

[6] C.B. Vidor, A constituição performativa de identidades na pesquisa em ensino de física: uma perspectiva pós-estruturalista a partir da filosofia política feminista de Judith Butler. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (2021).

[7] M. Ferreira, H. Sacerdote, N. Studart e O. L. Silva Filho, Rev. Bras. Ens. Fis. **43**, e20210322 (2021).

[8] A.D. Queiroz e C.C Silva, em: Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (Curitiba, 2008).

[9] E. Ghuron e A.M. Rodrigues, em: XII Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias (Valência, 2025).

[10] J. Megid Neto, em: VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (Florianópolis, 2000).

[11] M. Ferreira, R.V.L. Couto, F.G. Maciel, O.L. Silva Filho e M.C. Batista, Rev. Enseñ. Fis. **35**, 117 (2023).

[12] R.A. Ribeiro e M.R. Kawamura, Rev. Bras. Ens. Fis. **47**, e20240432 (2025).

[13] G.G. Feres, A pós-graduação em Ensino de Ciências no Brasil: uma leitura a partir da teoria de Bourdieu. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Bauru (2010).

[14] E.B. Ferreira e F.A. Toti, Sci & Educ. **31**, 1027 (2022).

[15] C. Leite, M.S.P. Rodrigues, Y. Hosoume e A.G. Dickman, Rev. Bras. Ens. Fis. **47**, e20240430 (2025).

[16] M.M. Nascimento, Cad. Bras. Ens. Fis. **40**, 1. (2023).

[17] G. Agostini, Socioanálise da área de Ensino (46) da CAPES: disputas no campo acadêmico-científico. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Bauru (2023).

[18] T.V. Ribeiro, O subcampo brasileiro de pesquisa em educação CTS (ciência-tecnologia-sociedade): estruturas, hierarquias e a autoridade científica na pesquisa em educação em ciências. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia (2023).

[19] D. Crane, Invisible colleges: Diffusion of knowledge in scientific communities (University of Chicago Press, Chicago, 1972).

[20] D.E. Chubin, Sociol. Quart. **17**, 448 (1976).

[21] J. Vlegels e J. Huisman, High Educ. **81**, 1079 (2021).

[22] A. Espinosa-Rada, A network approach for the sociological study of science and knowledge: modelling a dynamic multilevel network. Doctoral Thesis, Univerity of Manchester, United Kingdom (2021).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

[23] E. Wenger, Communities of practice, learning, meaning and identity (Cambridge University Press, Cambridge, 1998).

[24] J. Scott, What is social network analysis? (Bloomsbury Academic, London, 2012).

[25] S. Wasserman e K. Faust, Social network analysis: methods and applications (Cambridge University Press, Cambridge, 1994).

[26] L. Degn, T. Franssen, M.P. Sosenssen e S. Rijcke, High Educ. **76**, 231 (2018).

[27] R. Engelman, D. Schreiber, M.C. Bohnenberger e V.G. Bessi, Contextus. **15**, 34 (2017).

[28] A. Feldman, K.A. Divoli e A. Rogan-Klyne, Sci Educ. **97**, 218 (2013).

[29] J. Mainardes, Cad. Pesqui, **52**, e08532 (2022).

[30] L. Massi, G. Agostini e M.M. Nascimento, Rev. Bras. Pesq. Educ. Ciênc. 21, e24691 (2021).

[31] R.S. Valois e L.H. Sasseron, Investig. Ensino Ciênci. **26**, 181 (2021).

[32] S.L. Star, em: Boundary objects and heterogeneous distributed problem solving, editado por L. Gasser e M.N. Huhns (Morgan Kaufmann, 1989).

[33] E. Bellotti, Qualitative networks: mixed methods in sociological research (Routledge, London, 2014).

[34] E. Wenger, em: Social Learning Systems and Communities of Practice, editado por C. Blackmore (Springer, London, 2010).

[35] S.P. Borgatti e V. Lopez-Kidwell, em: The SAGE Handbook of Social Network Analysis, editado por J. Scott e P.J. Carrington (SAGE Publications, 2011).

[36] J. Fuhse, em: The Oxford Handbook of Social Networks, editado por R. Light e J. Moody (Oxford University Press, 2020).

[37] E. Bellotti e A. Espinosa-Rada, em: Handbook of Culture and Social Networks, editado por N. Crossley (Edward Elgar Publishing, 2025).

[38] M.A. Rodriguez e A. Pepe, J. Informetr. **2**, 195 (2008).

[39] A.S. Bordin, A.L. Gonçalves, J.A. Souza, M.A. Borges e D.O. Inomata, Perspect. Gest. Conhecimento. **5**, 109 (2015).

[40] M.C.P.I. Hayashi, C.R.M. Hayashi e M.Y. Lima, Liinc rev. **4**, 84 (2008).

[41] C.R.M. Hayashi, M.C.P.I. Hayashi, J.F. Marcelo e S.F. Bello, Rev. Interam. Bibliot. **35**, 285 (2012).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15850

[42] A.S. Bordin, A.L. Gonçalves e J.L. Todesco, Perspect. Cienc. Inf. **9**, 37 (2014).

[43] J.B. Brandão, J.D. Bouzon, T.C. Santos e A. Chrispino, Educ. Quím. **35**, 40 (2024).

[44] L. Reyes-Gonzales, C.N. Gonzales-Brambila e F. Veloso, Scientometrics. **108**, 1171 (2016).

[45] P. Mählck e O. Persson, Scientometrics. **49**, 81 (2000).

[46] O.J.G. Sidone, E.A. Haddad e J. Mena-Chalco, em: XLI Encontro Nacional de Economia (Foz do Iguaçu, 2013).

[47] D.T.M. Fontes, E. Viggiano, A.M. Rodrigues e C. Mattos, Rev. e-Curriculum. **22**, e61618 (2024).

[48] B. Ponomariov e C. Boardman, Scientometrics. **109**, 1939 (2016).

[49] D.T.M. Fontes e A.M. Rodrigues, Sci & Educ. **34**, 609 (2025).

[50] V. Batagelj e M. Cerinsek, Scientometrics. **96**, 845 (2013).

[51] S.P. Borgatti, F. Agneessens, J.C. Johnson, M.G. Everett, Analyzing social networks using R (SAGE, London, 2022).

[52] S. Iyer, T. Killingback, B. Sundaram, Z. Wang. PLoS ONE. **8**, e59613 (2013).

[53] R. Hill e C. Stein, Q. J. Econ. **140**, 1111 (2025).

[54] J. Moody, Am. Sociol. Rev. **69**, 213 (2004).

[55] E. Yan, Y. Ding e E.K Jacob, Scientometrics. **90**, 499 (2012).

[56] D. Henriksen, Research collaboration and co-authorship in the Social Sciences. Tese de Doutorado, Aarhus University, Aarhus, Dinamarca (2018).

[57] A. Shigunov Neto e D.M. Strieder, Pesquiseduca. **16**, 68 (2024).

[58] D.M. Hatmaker, A.E. Smith, S.K. Pandey e S. Subedi, Rev. Public. Personnel Adm. **37**, 295 (2017).

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença Creative Commons CC-BY.
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.